

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA  
REGENERACIÓN DE AMINAS MEDIANTE  
COLUMNA DE RELLENO

Autora: Macarena VARGAS MARÍN

Fecha: Septiembre 2007







FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 1

# ÍNDICE GENERAL

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## **RELACIÓN DE DOCUMENTOS QUE FORMAN EL PROYECTO**

- 1 ÍNDICE GENERAL
- 2 MEMORIA DESCRIPTIVA
- 3 ANEXO: MEMORIA DE CÁLCULO
- 4 PLANOS
- 5 PLIEGO DE CONDICIONES
- 6 ESTADO DE MEDICIONES
- 7 PRESUPUESTO
- 8 ESTUDIO BASICO DE SEGURIDAD Y SALUD (Estudio con entidad propia)
- 9 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

## **1. INDICE GENERAL**

## **2. MEMORIA DESCRIPTIVA**

### 2.0. Índice del documento memoria descriptiva

#### 2.1. Introducción

- 2.1.1. Objeto
- 2.1.2. Alcance
- 2.1.3. Antecedentes
- 2.1.4. Situación de la instalación
- 2.1.5. Normativa legal de aplicación
- 2.1.6. Definiciones y abreviaturas
- 2.1.7. Planificación

- 2.1.7.1. Diagrama Pert

- 2.1.7.2. Diagrama de Gantt

#### 2.2. Introducción teórica sobre las aminas

- 2.2.1. Química básica en el tratamiento de gases con alcalonaminas
- 2.2.2. Aminas de uso común
- 2.2.3. Elección del disolvente
- 2.2.4. Datos de equilibrio

#### 2.3. Requisitos de diseño

- 2.3.1. Capacidad de la unidad
- 2.3.2. Características de la alimentación
- 2.3.3. Características de los productos
- 2.3.4. Características de los Servicios Auxiliares

#### 2.4. Descripción del proceso

- 2.4.1. Diagrama del proceso
- 2.4.2. Descripción
- 2.4.3. Simulación de la unidad con HYSYS
- 2.4.4. Balance de Materia del proceso

#### 2.5. Descripción de la columna de regeneración

##### 2.5.1. Columna de regeneración

- 2.5.1.1. Datos del proceso de regeneración
  - 2.5.1.2. Requerimientos del equipo
  - 2.5.1.3. Condiciones generales de cálculo para diseñar una columna regeneradora
  - 2.5.1.4. Materiales
  - 2.5.1.5. Descripción detallada de la torre

##### 2.5.2. Diseño hidráulico

- 2.5.2.1. Elección de relleno frente a platos
  - 2.5.2.2. Selección del relleno
  - 2.5.2.3. Descripción del relleno
  - 2.5.2.4. Dimensionado del relleno
  - 2.5.2.5. Corrientes de entrada y salida
  - 2.5.2.6. Dispositivos interiores

##### 2.5.3. Diseño mecánico

- 2.5.3.1. Envolverte y fondos
  - 2.5.3.2. Construcción
  - 2.5.3.3. Soportes

- 2.5.3.4. Bocas de hombre y de inspección
- 2.5.3.5. Conexiones
- 2.5.3.6. Pruebas
- 2.6. Intercambiadores de calor
  - 2.6.1. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos
    - 2.6.1.1. Generalidades
    - 2.6.1.2. Introducción
    - 2.6.1.3. Selección de la trayectoria del flujo
    - 2.6.1.4. Tubos
    - 2.6.1.5. Carcasa
    - 2.6.1.6. Deflectores
    - 2.6.1.7. Soportes
    - 2.6.1.8. Pruebas
    - 2.6.1.9. Método de cálculo
  - 2.6.2. Precalentador de la alimentación
    - 2.6.2.1. Requerimientos del equipo
    - 2.6.2.2. Especificaciones del equipo
    - 2.6.2.3. Condiciones de operación
    - 2.6.2.4. Datos de diseño
    - 2.6.2.5. Observaciones
  - 2.6.3. Calderín o Reboiler
    - 2.6.3.1. Requerimientos del equipo
    - 2.6.3.2. Especificaciones del equipo
    - 2.6.3.3. Condiciones de operación
    - 2.6.3.4. Datos de diseño
    - 2.6.3.5. Observaciones
  - 2.6.4. Condensador de cabeza de la columna regeneradora
    - 2.6.4.1. Requerimientos del equipo
    - 2.6.4.2. Especificaciones del equipo
    - 2.6.4.3. Condiciones de operación
    - 2.6.4.4. Datos de diseño
    - 2.6.4.5. Observaciones
  - 2.6.5. Enfriador de amina pobre
    - 2.6.5.1. Requerimientos del equipo
    - 2.6.5.2. Especificaciones del equipo
    - 2.6.5.3. Condiciones de operación
    - 2.6.5.4. Datos de diseño
    - 2.6.5.5. Observaciones
- 2.7. Depósitos de almacenamiento
  - 2.7.1. Botellón de reflujo
    - 2.7.1.1. Requerimientos del equipo
    - 2.7.1.2. Especificaciones del equipo
    - 2.7.1.3. Diseño hidráulico
    - 2.7.1.4. Diseño mecánico
    - 2.7.1.5. Envolvente y fondos
    - 2.7.1.6. Soportes
    - 2.7.1.7. Pruebas
  - 2.7.2. Separador de hidrocarburo
    - 2.7.2.1. Requerimientos del equipo

- 2.7.2.2. Especificaciones del equipo
- 2.7.2.3. Diseño hidráulico
- 2.7.2.4. Diseño mecánico
- 2.7.2.5. Envolvente y fondos
- 2.7.2.6. Soportes
- 2.7.2.7. Pruebas
- 2.8. Sistema de tuberías
  - 2.8.1. Tuberías principales de la unidad
    - 2.8.1.1. Materiales
    - 2.8.1.2. Diámetros
    - 2.8.1.3. Espesores
    - 2.8.1.4. Aislamiento térmico de las tuberías
    - 2.8.1.5. Condiciones de operación
    - 2.8.1.6. Pérdidas de presión en las tuberías
- 2.9. Sistema de impulsión de líquidos
  - 2.9.1. Generalidades
  - 2.9.2. Criterios de selección de bombas
  - 2.9.3. Características de bombas
  - 2.9.4. Componentes de las bombas
  - 2.9.5. Datos de las bombas
- 2.10. Filtros
  - 2.10.1. Generalidades
  - 2.10.2. Filtro de solución de amina rica
    - 2.10.2.1. Requerimientos del equipo
    - 2.10.2.2. Especificaciones del equipo
    - 2.10.2.3. Condiciones de operación
    - 2.10.2.4. Datos de diseño
    - 2.10.2.5. Observaciones
  - 2.10.3. Filtro de carbono
    - 2.10.3.1. Requerimientos del equipo
    - 2.10.3.2. Especificaciones del equipo
    - 2.10.3.3. Condiciones de operación
    - 2.10.3.4. Datos de diseño
    - 2.10.3.5. Observaciones
- 2.11. Control del proceso de la unidad de aminas
  - 2.11.1. Introducción
  - 2.11.2. Objetivos del control en la regeneración
  - 2.11.3. Listado de instrumentos
    - 2.11.3.1. Caudal
    - 2.11.3.2. Nivel
    - 2.11.3.3. Presión
    - 2.11.3.4. Temperatura
    - 2.11.3.5. Otros instrumentos
  - 2.11.4. Principales lazos de control
  - 2.11.5. Válvulas de control
  - 2.11.6. Tipos de control
  - 2.11.7. Toma de muestras
  - 2.11.8. Control de la calidad de la amina
- 2.12. Cuestiones operacionales en la regeneración de amina

- 2.12.1. Fallos al alcanzar las especificaciones del producto
- 2.12.2. Corrosión
- 2.12.3. Formación de espumas
- 2.12.4. Pérdidas excesivas de disolución
- 2.12.5. Sales térmicamente estables (HSS)
- 2.13. Bibliografía

### **3. ANEXO: MEMORIA DE CÁLCULO**

- 3.0. Índice memoria de cálculo
- 3.1. Cálculos hidráulicos columna regeneradora
  - 3.1.1. Cálculo del diámetro de la columna
  - 3.1.2. Cálculo de la altura de relleno
  - 3.1.3. Cálculo del número de lechos
- 3.2. Cálculos mecánicos columna regeneradora
  - 3.2.1. Cálculo de la presión de diseño
  - 3.2.2. Cálculo de la temperatura de diseño
  - 3.2.3. Cálculo de la presión de viento
  - 3.2.4. Materiales y pesos
  - 3.2.5. Cálculo de espesor mínimo de pared
  - 3.2.6. Cálculo de espesores debidos a la presión interna
  - 3.2.7. Cálculos de viento/sismo debido a presión externa
  - 3.2.8. Cálculo de momentos de viento
  - 3.2.9. Cálculo de esfuerzos admisibles (a tracción y compresión)
  - 3.2.10. Cálculo de esfuerzos combinados
  - 3.2.11. Cálculo del anillo de la base
  - 3.2.12. Comprobación de los pernos de anclaje
  - 3.2.13. Comprobación del equipo en la prueba hidráulica a nivel de línea de tangencia
  - 3.2.14. Comprobación del faldón en la prueba hidrostática
- 3.3. Cálculo térmico del cambiador E-01: Precalentador de la alimentación
- 3.4. Cálculo térmico del cambiador E-02: Calderín de la regeneradora
- 3.5. Cálculo térmico del cambiador E-03: Condensador de cabeza de la regeneradora
- 3.6. Cálculo térmico del cambiador E-04: Enfriador de amina pobre
- 3.7. Cálculo hidráulico botellón V-01: Separador de hidrocarburo
- 3.8. Cálculos mecánicos botellón V-01
  - 3.8.1. Cálculo de presión de diseño
  - 3.8.2. Cálculo de temperatura de diseño
  - 3.8.3. Cálculo del espesor debido a la presión interna
- 3.9. Cálculo hidráulico de botellón V-02: Botellón de reflujo
- 3.10. Cálculo mecánico del botellón V-02
  - 3.10.1. Cálculo presión de diseño
  - 3.10.2. Cálculo temperatura de diseño
  - 3.10.3. Cálculo de espesor debido a presión interna
- 3.11. Cálculo de tuberías
  - 3.11.1. Cálculo de la pérdida de carga en las tuberías
  - 3.11.2. Dimensionado de las tuberías

## **4. PLANOS**

- 4.0. Índice planos
- 4.1. Plano de situación
- 4.2. Diagrama de proceso
- 4.3. Plano de implantación
- 4.4. Plano de diseño de columna regeneradora de amina C-01
- 4.5. Plano de diseño de intercambiador de amina rica/pobre E-01
- 4.6. Plano de diseño de hervidor de la regeneradora E-02
- 4.7. Plano de diseño de condensador de cabeza de la regeneradora E-03
- 4.8. Plano de diseño de enfriador de amina pobre E-04
- 4.9. Plano de diseño de separador de hidrocarburo V-01
- 4.10. Plano de diseño de botellón de reflujo V-02
- 4.11. Plano de diseño de filtro de amina rica F-01
- 4.12. Plano de diseño de filtro de carbón activo F-02

## **5. PLIEGO DE CONDICIONES**

- 5.0. Índice pliego de condiciones
- 5.1. Especificaciones de los materiales y de los elementos constructivos
  - 5.1.1. Especificaciones de los materiales
    - 5.1.1.1. Origen de los materiales
    - 5.1.1.2. Control de calidad
    - 5.1.1.3. Equipos de medida
    - 5.1.1.4. Materiales a emplear
  - 5.1.2. Prescripciones de la ejecución
    - 5.1.2.1. Prefabricación
    - 5.1.2.2. Soldadura
    - 5.1.2.3. Fabricación
    - 5.1.2.4. Uniones atornilladas
    - 5.1.2.5. Montaje en obra
    - 5.1.2.6. Protección
- 5.2. Reglamentación y normativa aplicable
- 5.3. Inspección, control y tolerancias
  - 5.3.1. Inspección
    - 5.3.1.1. Taladros para tornillos
    - 5.3.1.2. Uniones soldadas
  - 5.3.2. Control
    - 5.3.2.1. Aceptación de las uniones soldadas
    - 5.3.2.2. Aceptación de las uniones atornilladas
    - 5.3.2.3. Pruebas finales
  - 5.3.3. Tolerancias
- 5.4. Criterios de medición y abono
  - 5.4.1. Definiciones
  - 5.4.2. Criterios de medición
  - 5.4.3. Criterios de abono
- 5.5. Organización del trabajo

- 5.6. Documentación base para la contratación
  - 5.6.1. Documentación técnica
  - 5.6.2. Planos

## **6. ESTADO DE MEDICIONES**

- 6.0. Índice estado de mediciones
- 6.1. Suministro tuberías
- 6.2. Suministro accesorios
- 6.3. Suministro de equipos
- 6.4. Prefabricación tuberías
- 6.5. Montaje de equipos y tuberías
- 6.6. Pintura
- 6.7. Implantación del plan de seguridad y salud

## **7. PRESUPUESTO**

- 7.0. Índice del presupuesto
- 7.1. Precios unitarios
  - 7.1.1. Suministros
  - 7.1.2. Prefabricación tuberías
  - 7.1.3. Montaje
  - 7.1.4. Pintura
  - 7.1.5. Implantación del plan de seguridad y salud
- 7.2. Presupuestos parciales
- 7.3. Presupuesto general de ejecución de material
- 7.4. Presupuesto general de ejecución por contrata
- 7.5. Resumen general del presupuesto

## **8. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD (Estudio con entidad propia)**

- 8.0. Índice del estudio básico de seguridad y salud
- 8.1. Objeto del presente estudio
  - 8.1.1. Objeto del presente estudio de seguridad y salud
  - 8.1.2. Establecimiento posterior de un Plan de Seguridad y Salud en la obra
- 8.2. Identificación de la obra
  - 8.2.1. Tipo de obra
  - 8.2.2. Situación del terreno
  - 8.2.3. Servicios y redes de distribución afectados por la obra
- 8.3. Estudio de seguridad y salud
  - 8.3.1. Autor del Estudio de Seguridad y Salud
  - 8.3.2. Coordinador de Seguridad y Salud en fase de elaboración de proyecto
  - 8.3.3. Número de trabajadores
  - 8.3.4. Relación resumida de los trabajos a realizar
- 8.4. Fases de obra a desarrollar con identificación de riesgos
- 8.5. Relación de medios previstos con identificación de riesgos
  - 8.5.1. Maquinaria

- 8.5.2. Medios de transporte
- 8.5.3. Medios Auxiliares
- 8.5.4. Herramientas (manuales, eléctricas, neumáticas, etc.)
- 8.5.5. Tipos de energía a utilizar
- 8.5.6. Materiales
- 8.6. Medidas de prevención de los riesgos
  - 8.6.1. Protecciones colectivas
  - 8.6.2. Equipos de protección individual (EPIS)
  - 8.6.3. Protecciones especiales en relación con las diferentes fases de obra
  - 8.6.4. Normativa a aplicar en las fases del estudio
  - 8.6.5. Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras
  - 8.6.6. Obligaciones del empresario en materia formativa antes de iniciar los trabajos
  - 8.6.7. Mantenimiento preventivo
  - 8.6.8. Instalaciones generales de higiene
  - 8.6.9. Vigilancia de la Salud y Primeros Auxilios
  - 8.6.10. Directrices generales para la prevención de riesgos dorsolumbares
- 8.7. Legislación afectada
  - 8.7.1. Legislación
  - 8.7.2. Normativas
  - 8.7.3. Convenios
- 8.8. Pliegos de condiciones
  - 8.8.1. Condiciones de naturaleza facultativa
  - 8.8.2. Condiciones de naturaleza técnica
  - 8.8.3. Condiciones de naturaleza legal
  - 8.8.4. Condiciones de naturaleza económica
- 8.9. Mediciones y presupuesto del proyecto de seguridad y salud
- 8.10. Planos

## **9. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES**

- 9.0. Índice consideraciones ambientales
- 9.1. Justificación de la Ley 7/1994, de la Comunidad Autónoma Andaluza
- 9.2. Trámites administrativos de la Evaluación de Impacto Ambiental
- 9.3. Emisiones atmosféricas
- 9.4. Vertidos líquidos
- 9.5. Residuos sólidos
- 9.6. Emisión de ruido
- 9.7. Olores
- 9.8. Impacto visual



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 2

**MEMORIA DESCRIPTIVA**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## 2.0. INDICE DEL DOCUMENTO MEMORIA DESCRIPTIVA

	<u>Página</u>
<b>2.0. Índice del documento memoria descriptiva</b>	<b>1</b>
<b>2.1. Introducción</b>	<b>7</b>
2.1.1. Objeto	7
2.1.2. Alcance	8
2.1.3. Antecedentes	9
2.1.4. Situación de la instalación	10
2.1.5. Normativa legal de aplicación	10
2.1.6. Definiciones y abreviaturas	11
2.1.7. Planificación	12
2.1.7.1. Diagrama Pert	13
2.1.7.2. Diagrama de Gantt	14
<b>2.2. Introducción teórica sobre las aminas</b>	<b>15</b>
2.2.1. Química básica en el tratamiento de gases con alcalonaminas	15
2.2.2. Aminas de uso común	18
2.2.3. Elección del disolvente	21
2.2.4. Datos de equilibrio	22
<b>2.3. Requisitos de diseño</b>	<b>23</b>
2.3.1. Capacidad de la unidad	23
2.3.2. Características de la alimentación	24
2.3.3. Características de los productos	24
2.3.4. Características de los Servicios Auxiliares	25
<b>2.4. Descripción del proceso</b>	<b>27</b>
2.4.1. Diagrama del proceso	27
2.4.2. Descripción	27
2.4.3. Simulación de la unidad con HYSYS	29
2.4.4. Balance de Materia del proceso	29

	<b><u>Página</u></b>
<b>2.5. Descripción de la columna de regeneración</b>	<b>31</b>
2.5.1. Columna de regeneración	<b>31</b>
2.5.1.1. Datos del proceso de regeneración	<b>31</b>
2.5.1.2. Requerimientos del equipo	<b>32</b>
2.5.1.3. Condiciones generales de cálculo para diseñar una columna regeneradora	<b>33</b>
2.5.1.4. Materiales	<b>35</b>
2.5.1.5. Descripción detallada de la torre	<b>39</b>
2.5.2. Diseño hidráulico	<b>40</b>
2.5.2.1. Elección de relleno frente a platos	<b>41</b>
2.5.2.2. Selección del relleno	<b>43</b>
2.5.2.3. Descripción del relleno	<b>46</b>
2.5.2.4. Dimensionado del relleno	<b>48</b>
2.5.2.5. Corrientes de entrada y salida	<b>49</b>
2.5.2.6. Dispositivos interiores	<b>49</b>
2.5.3. Diseño mecánico	<b>53</b>
2.5.3.1. Envoltente y fondos	<b>53</b>
2.5.3.2. Construcción	<b>54</b>
2.5.3.3. Soportes	<b>55</b>
2.5.3.4. Bocas de hombre y de inspección	<b>55</b>
2.5.3.5. Conexiones	<b>55</b>
2.5.3.6. Pruebas	<b>56</b>
<b>2.6. Intercambiadores de calor</b>	<b>57</b>
2.6.1. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos	<b>58</b>
2.6.1.1. Generalidades	<b>58</b>
2.6.1.2. Introducción	<b>59</b>
2.6.1.3. Selección de la trayectoria del flujo	<b>59</b>
2.6.1.4. Tubos	<b>61</b>
2.6.1.5. Carcasa	<b>61</b>
2.6.1.6. Deflectores	<b>62</b>
2.6.1.7. Soportes	<b>63</b>

	<b><u>Página</u></b>
2.6.1.8. Pruebas	<b>63</b>
2.6.1.9. Método de cálculo	<b>65</b>
2.6.2. Precalentador de la alimentación	<b>66</b>
2.6.2.1. Requerimientos del equipo	<b>67</b>
2.6.2.2. Especificaciones del equipo	<b>69</b>
2.6.2.3. Condiciones de operación	<b>69</b>
2.6.2.4. Datos de diseño	<b>70</b>
2.6.2.5. Observaciones	<b>71</b>
2.6.3. Calderín o Reboiler	<b>71</b>
2.6.3.1. Requerimientos del equipo	<b>72</b>
2.6.3.2. Especificaciones del equipo	<b>73</b>
2.6.3.3. Condiciones de operación	<b>73</b>
2.6.3.4. Datos de diseño	<b>75</b>
2.6.3.5. Observaciones	<b>75</b>
2.6.4. Condensador de cabeza de la columna regeneradora	<b>76</b>
2.6.4.1. Requerimientos del equipo	<b>77</b>
2.6.4.2. Especificaciones del equipo	<b>77</b>
2.6.4.3. Condiciones de operación	<b>78</b>
2.6.4.4. Datos de diseño	<b>78</b>
2.6.4.5. Observaciones	<b>79</b>
2.6.5. Enfriador de amina pobre	<b>79</b>
2.6.5.1. Requerimientos del equipo	<b>80</b>
2.6.5.2. Especificaciones del equipo	<b>80</b>
2.6.5.3. Condiciones de operación	<b>80</b>
2.6.5.4. Datos de diseño	<b>81</b>
2.6.5.5. Observaciones	<b>82</b>

	<u><b>Página</b></u>
<b>2.7. Depósitos de almacenamiento</b>	<b>82</b>
2.7.1. Botellón de reflujo	<b>83</b>
2.7.1.1. Requerimientos del equipo	<b>83</b>
2.7.1.2. Especificaciones del equipo	<b>84</b>
2.7.1.3. Diseño hidráulico	<b>85</b>
2.7.1.4. Diseño mecánico	<b>85</b>
2.7.1.5. Envolverte y fondos	<b>85</b>
2.7.1.6. Soportes	<b>86</b>
2.7.1.7. Pruebas	<b>86</b>
2.7.2. Separador de hidrocarburo	<b>89</b>
2.7.2.1. Requerimientos del equipo	<b>89</b>
2.7.2.2. Especificaciones del equipo	<b>90</b>
2.7.2.3. Diseño hidráulico	<b>92</b>
2.7.2.4. Diseño mecánico	<b>92</b>
2.7.2.5. Envolverte y fondos	<b>92</b>
2.7.2.6. Soportes	<b>93</b>
2.7.2.7. Pruebas	<b>93</b>
<b>2.8. Sistema de tuberías</b>	<b>95</b>
2.8.1. Tuberías principales de la unidad	<b>95</b>
2.8.1.1. Materiales	<b>97</b>
2.8.1.2. Diámetros	<b>99</b>
2.8.1.3. Espesores	<b>99</b>
2.8.1.4. Aislamiento térmico de las tuberías	<b>100</b>
2.8.1.5. Condiciones de operación	<b>102</b>
2.8.1.6. Pérdidas de presión en las tuberías	<b>105</b>
<b>2.9. Sistema de impulsión de líquidos</b>	<b>105</b>
2.9.1. Generalidades	<b>105</b>
2.9.2. Criterios de selección de bombas	<b>107</b>
2.9.3. Características de bombas	<b>108</b>
2.9.4. Componentes de las bombas	<b>110</b>
2.9.5. Datos de las bombas	<b>111</b>

	<b><u>Página</u></b>
<b>2.10. Filtros</b>	<b>118</b>
2.10.1. Generalidades	118
2.10.2. Filtro de solución de amina rica	119
2.10.2.1. Requerimientos del equipo	119
2.10.2.2. Especificaciones del equipo	120
2.10.2.3. Condiciones de operación	120
2.10.2.4. Datos de diseño	121
2.10.2.5. Observaciones	121
2.10.3. Filtro de carbono	121
2.10.3.1. Requerimientos del equipo	122
2.10.3.2. Especificaciones del equipo	124
2.10.3.3. Condiciones de operación	124
2.10.3.4. Datos de diseño	125
2.10.3.5. Observaciones	126
<b>2.11. Control del proceso de la unidad de aminas</b>	<b>126</b>
2.11.1. Introducción	126
2.11.2. Objetivos del control en la regeneración	127
2.11.3. Listado de instrumentos	128
2.11.3.1. Caudal	128
2.11.3.2. Nivel	128
2.11.3.3. Presión	128
2.11.3.4. Temperatura	129
2.11.3.5. Otros instrumentos	129
2.11.4. Principales lazos de control	129
2.11.5. Válvulas de control	132
2.11.6. Tipos de control	135
2.11.7. Toma de muestras	137
2.11.8. Control de la calidad de la amina	140

	<b><u>Página</u></b>
<b>2.12. Cuestiones operacionales en la regeneración de amina</b>	<b>141</b>
2.12.1. Fallos al alcanzar las especificaciones del Producto	<b>142</b>
2.12.2. Corrosión	<b>143</b>
2.12.3. Formación de espumas	<b>144</b>
2.12.4. Pérdidas excesivas de disolución	<b>147</b>
2.12.5. Sales térmicamente estables (HSS)	<b>147</b>
<b>2.13. Bibliografía</b>	<b>149</b>

## 2.1. INTRODUCCION

Una refinería es una planta industrial destinada transformar el petróleo crudo, procedente de yacimientos, en un conjunto de productos que se adapten mejor, técnica y económicamente, que el petróleo a diferentes usos.

El ácido sulfhídrico se produce en las refinерías como consecuencia del intento de eliminación del azufre en las distintas fracciones que se obtienen del petróleo (cuya composición elemental contiene entre el 0 y 4% de azufre), si bien se convierte en su mayor parte en azufre en las plantas Claus, minimizando su emisión en operación normal. En la práctica, las emisiones de este gas se dan acompañadas de otros componentes ácidos o malolientes, como es el caso del CO<sub>2</sub> y los mercaptanos. Estas emisiones se deben minimizar ya que el azufre es corrosivo y provoca la lluvia ácida si es emitido a la atmósfera. Esto causa un gran impacto ambiental, pues la lluvia ácida arruina terrenos y es producida por la condensación, entre otros, del SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) que, con el agua, puede producir H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico, altamente corrosivo).

### 2.1.1. OBJETO

El presente proyecto tiene como objeto la definición y diseño de una columna regeneradora de amina, así como la descripción del resto de equipos importantes para el correcto funcionamiento de una unidad de regeneración de amina.

El proyecto comprende los cálculos justificativos del diseño, la descripción de las características de la columna regeneradora mediante los planos oportunos y los apartados correspondientes de la memoria y el pliego de condiciones; los requisitos que han de cumplirse y el presupuesto económico; así como el resto del conjunto de prescripciones técnicas, legales, económicas, de seguridad y administrativas necesarias para la ejecución de lo aquí redactado.

La unidad de tratamiento de amina está destinada a reducir el ácido sulfhídrico y otros componentes ácidos contenidos en corrientes de gasoil, aminorando tanto las características corrosivas que afectan a varias partes de la unidad, como el mal olor

característico de dicho compuesto ( $\text{SH}_2$ ). La corriente de amina a regenerar proviene de un absorbedor y se regenera mediante un proceso de desorción con el vapor generado en

el calderín de la regeneradora. Una vez que el ácido sulfhídrico es separado por la cabeza del regenerador, es tratado en una unidad de azufre mediante un proceso Claus.

La necesidad de este tipo de unidades está fundamentada desde el punto de vista legal puesto que la legislación medioambiental actual requiere continuamente la reducción del contenido en azufre contaminante en las corrientes de hidrocarburos que se emplearán como combustible, actualmente fijada en 50 ppm.

La operación de un sistema de regeneración de aminas tiene como objetivo maximizar la recuperación del  $\text{SH}_2$  con el mínimo coste económico. Por ello este documento se completa con el estudio económico de la columna regeneradora.

Este proyecto está redactado por encargo de la UCA, Universidad de Cádiz, por Macarena Vargas Marín.

Identificación de la obra:

Promotor:	UCA, Universidad de Cádiz
Domicilio Social:	C/ Ancha, 16
NIF:	Q 1132001G
Código Postal:	28042
Localidad:	CÁDIZ
Provincia:	CÁDIZ
Domicilio de la obra:	REFINERÍA GIBRALTAR C/ FUMÁRICO
Localidad:	SAN ROQUE
Provincia:	CÁDIZ
Código postal:	11.360

**2.1.2. ALCANCE**

Este proyecto básico engloba el diseño y dimensionado de diferentes equipos componentes de la unidad de regeneración de amina, centrándose en su componente

principal que es la columna regeneradora de amina, de la que se incluye el cálculo más detallado.

La alimentación a dicha columna, consistente en una disolución de amina cargada de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y otros compuestos sulfurados tales como mercaptanos y/o sulfuro de carbonilo (amina rica o gastada), pasa a través de intercambiadores que incrementan su temperatura hasta unos 90°C. Dichos cambiadores se diseñarán térmicamente.

Quedarán incluidas en este proyecto las características de las conducciones de entrada a la columna y las bombas que intervienen en su funcionamiento que son principalmente la B-01, bomba de carga de amina rica al regenerador, B-02 o bomba del fondo del regenerador, B-03 o bomba de reflujo.

Los equipos descritos en este proyecto son la columna regeneradora C-01, las bombas anteriormente nombradas, el cambiador de calor E-01, el calderín o hervidor de la columna E-02, el condensador de cabeza E-03 y el enfriador de amina pobre E-04, el botellón de carga V-01, botellón de reflujo V-02, filtro de la solución de amina F-01 y el filtro de carbono F-02.

Resaltar que en el presente proyecto, exceptuando a la columna de regeneración, el estudio, descripción y diseño del resto de equipos se realizará a nivel de ingeniería más básica.

Indicar desde este punto que todas las operaciones relacionadas con obra civil y trabajos de chorreado de los equipos que lo requieran quedan fuera del alcance de este proyecto.

### **2.1.3. ANTECEDENTES**

Como antecedente a la serie de documentos que forman el presente proyecto se tiene a modo de anteproyecto la propuesta de elaboración de proyectos.

Este documento se realizó siguiendo las indicaciones del impreso incluido en el anexo II dentro de la Normativa de la asignatura PFC del título de Ingeniero Químico que fue revisada el 28-07-2006 por la Comisión de Proyecto Fin de Carrera.

#### **2.1.4. SITUACION DE LA INSTALACION**

La unidad regeneradora de amina que se diseña en este proyecto está situada dentro de la Refinería Gibraltar, más exactamente en la zona de Guadarranque, lindando con la calle Fumárico y Maleico. Así su ubicación será muy cercana a la planta de azufre y a la de absorción de amina, unidades interconectadas con el proceso que nos ocupa. En el documento planos de este proyecto se encuentra el plano de ubicación de esta planta.

#### **2.1.5. NORMATIVA LEGAL DE APLICACION**

El presente proyecto se realiza conforme a los siguientes reglamentos, códigos y normativas técnicas:

- Código API-650, Ed. 10ª, Noviembre 1998, Addendum 3, Septiembre 2003.
- Normas ANSI, ASME , API y ASTM para materiales.
- Norma UNE 24042 "Contratación de Obras. Condiciones Generales".
- Reglamento General de Contratación según Decreto 3410/75, de 25 de noviembre.
- Artículo 1.588 y siguientes del Código Civil, en los casos que sea procedente su aplicación al contrato.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos laborales y RD 1627/97 sobre Disposiciones mínimas en materia de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.
- Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos.

- Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. Derogado parcialmente por el Real Decreto 1523/1999.
- Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, aprobado por Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre.
- Reglamentación relativa a Instrucciones Técnicas Complementarias .ITC-MI-IP-01: Refinerías.
- Normas conjuntas para el análisis de las tuberías ANSI/ASME B31.3.

### **2.1.6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**

A continuación se relacionan las abreviaturas que se utilizan a lo largo de los documentos que forman el proyecto y su significado:

- |   |      |  |
|---|------|--|
| - | API  | American Petroleum Institute             |
| - | ANSI | American National Standard Institute     |
| - | ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| - | ASTM | American Society Testing Materials       |
| - | UNE  | Una Norma Española                       |
| - | NBE  | Norma Básica Española                    |
| - | MIE  | Ministerio de Industria y Energía        |
| - | ITC  | Instrucción Técnica Complementaria       |
| - | IP   | Instalaciones Petrolíferas               |
| - | COV  | Compuestos Orgánicos Volátiles           |
| - | PERT | Program Evaluation and Review Technique  |

## 2.1.7. PLANIFICACIÓN

La realización de las actividades necesarias para la realización del proyecto se han planificado para ser realizadas en un periodo de 21 meses desde la decisión del tema a desarrollar a la recepción provisional de la obra.

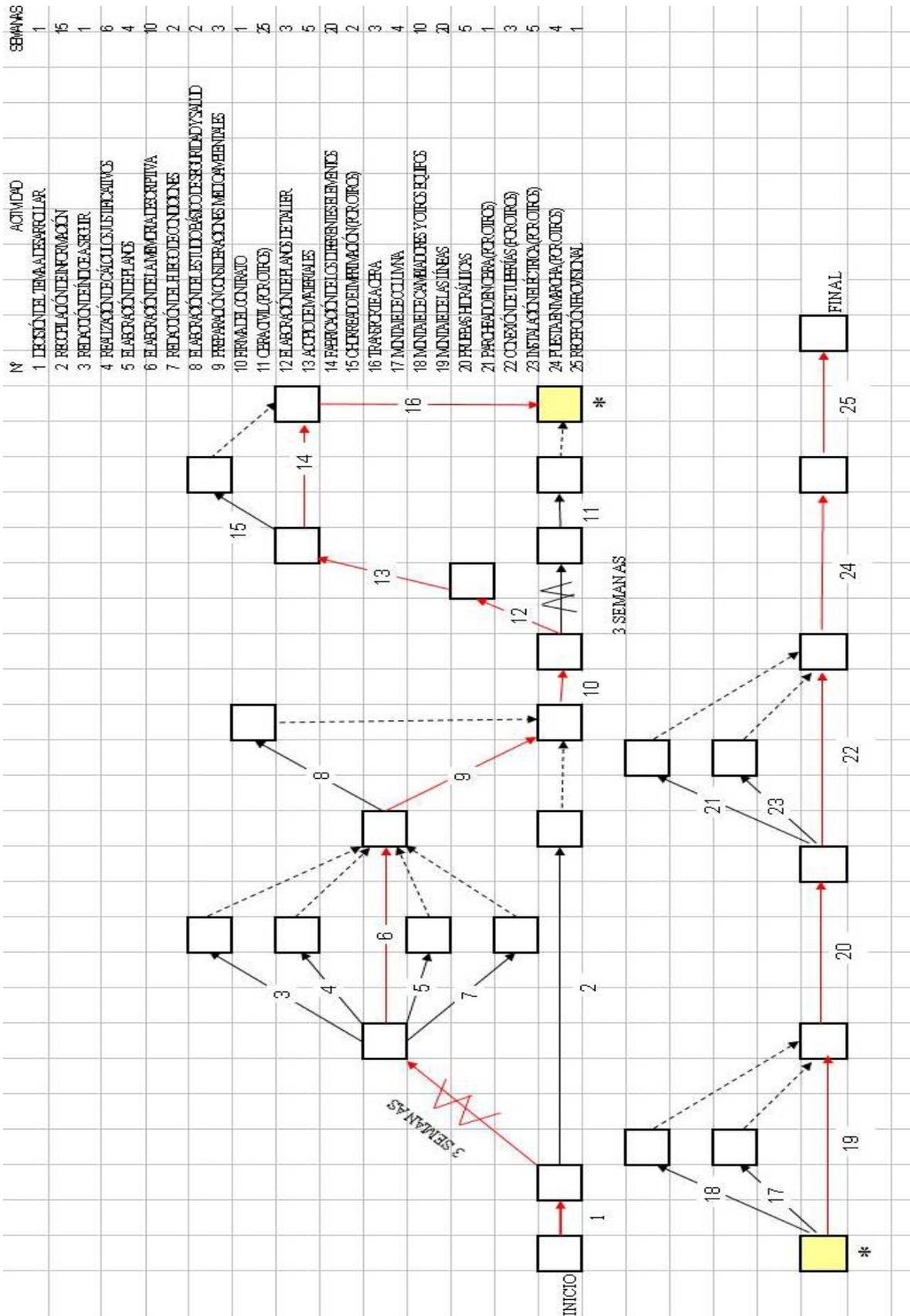
Relación de actividades consideradas:

- 1 Decisión del tema a desarrollar
- 2 Recopilación de información
- 3 Redacción de índice a seguir
- 4 Realización de cálculos justificativos
- 5 Elaboración de planos
- 6 Elaboración de la memoria descriptiva
- 7 Redacción del pliego de condiciones
- 8 Elaboración del estudio de seguridad y salud
- 9 Preparación consideraciones medioambientales
- 10 Firma del contrato
- 11 Obra civil (por otros)
- 12 Elaboración de planos de taller
- 13 Acopio de materiales
- 14 Fabricación de los diferentes elementos
- 15 Chorreado e imprimación (por otros)
- 16 Transporte a obra
- 17 Montaje de la columna
- 18 Montaje de cambiadores y otros equipos
- 19 Montaje de las líneas
- 20 Pruebas hidráulicas
- 21 Parchado en obra (por otros)
- 22 Conexión de tuberías (por otros)
- 23 Instalación eléctrica (por otros)

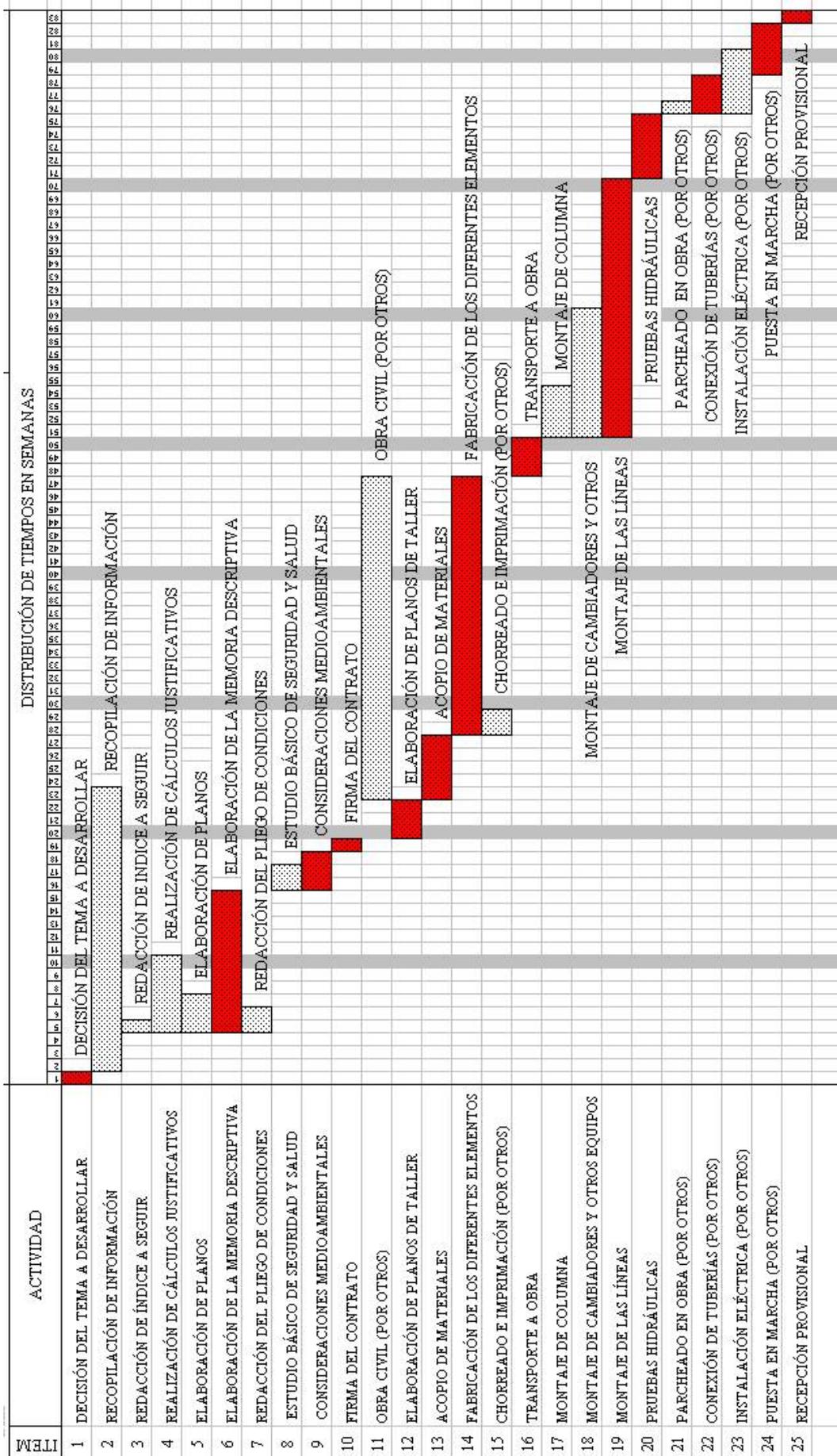
- 24 Puesta en marcha (por otros)
- 25 Recepción provisional

En subsiguientes apartados se incluyen los diagramas PERT Y GANTT.

### 2.1.7.1. DIAGRAMA PERT



### 2.1.7.2. DIAGRAMA DE GANTT



## 2.2. INTRODUCCION TEORICA SOBRE LAS AMINAS

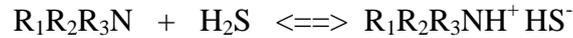
El sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) reciben la denominación de gases ácidos porque en agua o cualquier disolución acuosa se disocian para formar ácidos débiles. Las alcalonaminas son, a su vez, bases orgánicas débiles. Cuando la corriente de gas ácido que contiene  $H_2S$  y/o  $CO_2$  entra en contacto en contracorriente con la disolución acuosa de alcalonamina, el gas ácido y la amina básica reaccionan para formar un complejo ácido-base, una sal. Luego, este complejo se revertirá en el stripper cuando el vapor agote el gas ácido rico en amina, liberándose este gas ácido para su eliminación o su posterior procesado y produciéndose así la regeneración de la disolución de amina para su reutilización.

Las alcalonaminas están clasificadas según el grado de sustitución del nitrógeno central; una única sustitución designa una amina primaria, una doble sustitución, una amina secundaria, y una triple sustitución, una amina terciaria. Cada una de las alcanolaminas tiene al menos un grupo hidroxilo y uno amino. En general, el grupo hidroxilo les sirve para disminuir la presión de vapor e incrementar la solubilidad en agua, mientras que el grupo amino les proporciona la alcalinidad necesaria en disoluciones acuosas como para promover la reacción con gases ácidos. Es fácilmente apreciable observando las estructuras moleculares el que las aminas no totalmente sustituidas tienen átomos de hidrógeno en los lugares de valencia no sustituidos del nitrógeno central, mientras que en las aminas terciarias lo tienen totalmente sustituido. Esta característica estructural juega un papel muy importante en cuanto a la capacidad de extracción de gas ácido por parte de los diferentes disolventes de tratamiento.

### 2.2.1. QUIMICA BASICA EN EL TRATAMIENTO DE GASES CON ALCALONAMINAS

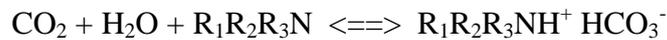
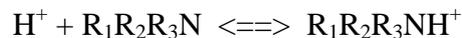
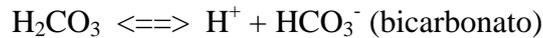
En disolución acuosa, el  $H_2S$  y  $CO_2$  se disocian para dar lugar a una disolución débilmente ácida. Cuando la corriente gaseosa contenedora de  $H_2S$  y/o  $CO_2$  entra en contacto con la disolución acuosa de amina, los gases ácidos reaccionan con la amina para formar un complejo ácido-base soluble, una sal, en la disolución tratada. La reacción entre ambos,  $H_2S$  y  $CO_2$ , es exotérmica y una cantidad considerable de calor se libera. Independientemente de la estructura de la amina, el  $H_2S$  reacciona

instantáneamente con las aminas primarias, secundarias o terciarias, mediante una reacción de transferencia de protones como se muestra en la siguiente ecuación para formar el hidrosulfato de amina.



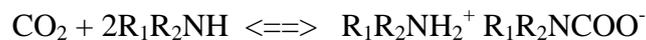
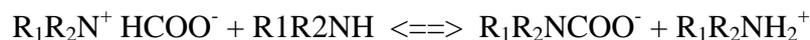
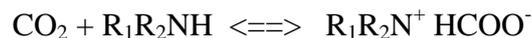
Es el carácter reversible de la reacción lo que permite la regeneración del disolvente y continuar eliminando H<sub>2</sub>S por tratamiento con amina.

La reacción entre la amina y el CO<sub>2</sub> es un poco más compleja debido a que la absorción de éste puede producirse por dos mecanismos de reacción diferentes. Cuando el CO<sub>2</sub> se disuelve en agua se hidroliza para formar ácido carbónico, que se disocia a su vez y de una forma lenta, en bicarbonato. El bicarbonato reacciona con la amina para dar lugar al conjunto de reacciones siguientes:



Estas reacciones ácido-base pueden tener lugar con cualquier amina independientemente de su estructura pero es cinéticamente lenta porque la etapa de disociación del ácido carbónico es relativamente lenta.

Un segundo mecanismo de reacción del CO<sub>2</sub> es el que a continuación se muestra y en él se requiere la presencia de un hidrógeno enlazante en la estructura molecular de la amina:

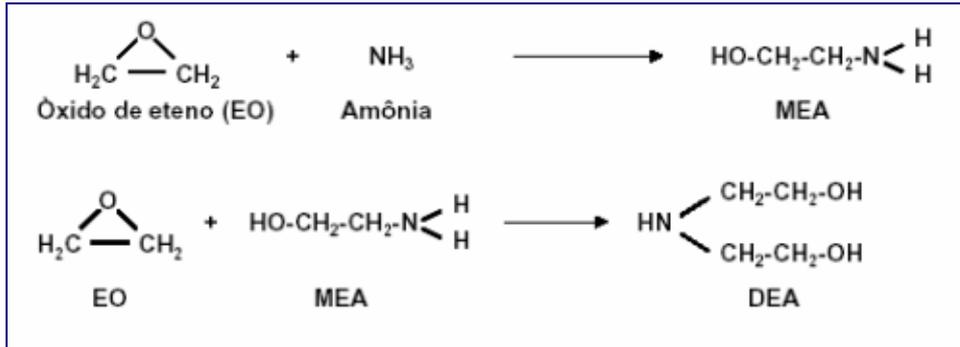


Este segundo mecanismo de reacción para el  $\text{CO}_2$ , que resulta con la formación de una sal de amina por una sustitución carbámica del ácido, se denomina reacción de formación de carbamato y sólo es posible con aminas primarias y secundarias. El  $\text{CO}_2$  reacciona con una molécula de amina primaria o secundaria para formar el carbamato intermedio que a su vez reacciona con una molécula de amina secundaria para formar la sal de amina. La velocidad de absorción del  $\text{CO}_2$  mediante la reacción carbámica es elevada, mucho más alta que la de la reacción de hidrólisis del  $\text{CO}_2$ , pero un poco más lenta que la reacción de absorción de  $\text{H}_2\text{S}$ . La estequiometría de la reacción carbámica indica que la capacidad de la disolución de amina para el  $\text{CO}_2$  está limitada por 0.5 moles de  $\text{CO}_2$  por mol de amina si ésta es la única reacción que se produce. Pero, por otro lado, el carbamato puede experimentar una hidrólisis parcial para formar bicarbonato, regenerando la amina libre. Por consiguiente, son posibles las cargas de  $\text{CO}_2$  mayores de 0.5 mediante la hidrólisis del intermedio carbamato a bicarbonato.

El hecho de que la absorción del  $\text{CO}_2$  pueda tener lugar mediante dos mecanismos de reacción con diferentes características cinéticas tiene un gran impacto sobre las velocidades relativas de absorción del  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  entre las diferentes alcalonaminas. Para las aminas primarias y secundarias, existe muy poca diferencia entre las velocidades de reacción del  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . Esta igualdad de velocidades es debida a la accesibilidad de la rápida reacción de formación del carbamato para la absorción de  $\text{CO}_2$ . Por ello, las aminas primarias y secundarias alcanzan la eliminación casi completa de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . En cambio, debido a que las aminas terciarias están totalmente sustituidas, no pueden formar carbamatos, por esto se descartan este tipo de aminas. Para la DEA, teniendo en cuenta que la reacción del  $\text{CO}_2$  con el agua para dar bicarbonato es lenta y que la reacción del  $\text{H}_2\text{S}$  es rápida, se acepta de forma general que la reacción del  $\text{H}_2\text{S}$  está limitada por la fase gas mientras que la del  $\text{CO}_2$  lo está por la fase líquida. Cuando sólo esté disponible la reacción lenta para la absorción de  $\text{CO}_2$ , los diferentes disolventes tendrán una selectividad importante hacia el  $\text{H}_2\text{S}$  frente al  $\text{CO}_2$ .

### 2.2.2. AMINAS DE USO COMÚN

La monoetanolamina (MEA) es la más sencilla de las etanolaminas y se produce por la reacción de amoníaco con óxido de etileno. Reaccionando la MEA con óxido de etileno se produce la dietanolamina (DEA). El esquema de las reacciones de obtención de estos compuestos y su estructura molecular se muestran en el siguiente cuadro:



Monoetanolamina y dietanolamina son productos poco volátiles a la temperatura ambiente, higroscópicos, de olor amoniacal, pudiendo presentarse en la forma sólida o líquida dependiendo de la temperatura y del grado de pureza.

Algunas características de estos dos disolventes se exponen a continuación a modo comparativo:

	MEA	DEA
<b>Estado a 25 °C</b>	Líquido	Sólido
<b>Peso molecular (g/mol)</b>	61.08	105.14
<b>Punto de ebullición (°C)</b>		
<b>a 760 mmHg</b>	170.5	269
<b>a 10 mmHg</b>	69	150
<b>Densidad (30/20 °C) ó 20/20 °C (g/cm<sup>3</sup>)</b>		
<b>mín.</b>	1.017	1.090
<b>máx.</b>	1.021	1.095
<b>Presión de vapor a 20 °C (hPa)</b>	0.4	< 0.01
<b>Punto de congelación (°C)</b>	10.5	28
<b>Peso equivalente</b>		
<b>mín.</b>	61.0	104.0
<b>máx.</b>	62.5	106.0
<b>Calor latente de vaporización a 760 mmHg (cal/g)</b>	197.2	157.8

El uso de MEA (monoetanolamina) en aplicaciones de tratamiento de gases está bien establecida y es objeto de una cantidad enorme de literatura. Sin embargo, la MEA no es el gas predominante en el tratamiento con aminas, ya que su uso ha decaído en los últimos años.

Las principales ventajas de la MEA son:

- Ser un disolvente barato.
- Tener buena estabilidad térmica.
- Eliminación parcial de los COS y CS<sub>2</sub>, que requieren de un recuperador.
- Elevada reactividad debida a su característica de amina primaria, las especificaciones requeridas reducir el contenido en gases ácidos hasta las 100 ppm pueden alcanzarse con una presión de operación de baja a moderada.

Algunas desventajas de este disolvente son:

- Es un disolvente que tiene una elevada presión de vapor que da lugar a mayores pérdidas de disolvente que en las demás alcanolaminas.
- Mayor potencial de corrosión que el resto de alcalonaminas.
- Elevado requerimiento de energía debido al elevado calor de reacción con CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.
- No produce una eliminación selectiva cuando se tratan sistemas de mezclas de gases.
- Generación de productos irreversibles de degradación con CO<sub>2</sub>, COS y CS<sub>2</sub>, lo que requiere una recuperación continua. La reacción de degradación MEA-CO<sub>2</sub> produce los compuestos siguientes: 1- (2- hidroxietil) amidazolidona-2, N- (2- hidroxietil)etilendiamina (HEED), y poliaminas mayores que aceleran la corrosión además de representar una pérdida de MEA.

En aplicaciones en las que el gas a tratar se encuentra a bajas presiones y se requiere una eliminación máxima de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , o aquellas en las que se hay inexistencia de contaminantes como  $\text{COS}$  y  $\text{CS}_2$ , MEA puede ser todavía una buena opción. Sin embargo, otros disolventes más eficientes, en particular para casos de tratamientos a elevada presión, están reemplazando rápidamente a la MEA.

Probablemente el disolvente más ampliamente utilizado en tratamiento de gases sea la DEA (dietanolamina), que al ser una amina secundaria es menos reactiva que la MEA. Las aplicaciones con cantidades apreciables de  $\text{COS}$  y  $\text{CS}_2$ , además del  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , como son las corrientes gaseosas de una refinería, son tratadas con DEA con éxito.

Las ventajas de la DEA son:

- Resistencia ante la degradación de  $\text{COS}$  y  $\text{CS}_2$ .
- Baja presión de vapor del disolvente que da como resultado bajas pérdidas potenciales de disolvente.
- Naturaleza corrosiva reducida en comparación con la MEA.
- Es un disolvente de bajo coste.

Entre las desventajas de este disolvente se encuentran:

- Baja reactividad en comparación con MEA.
- Fundamentalmente produce una eliminación no selectiva en sistemas de mezcla de gases debido a su incapacidad para tratar una cantidad apreciable de  $\text{CO}_2$ .
- Elevadas exigencias para su circulación.
- No es recuperable mediante técnicas convencionales de recuperación. Los productos de degradación resultantes de la reacción de la DEA con el  $\text{CO}_2$  a elevadas temperaturas son: hidroxietiloxazolidona-1, dihidroxietilpiperazina, 3-(2-hidroxietil) oxazolidona-2 (HEOD), N,N'bis(2- hidroxietil) piperazina (BHEP) y N,N,N'-tris(2-hidroxietil)etilenodiamina (THEED).

Una explicación para el amplio uso alcanzado por la DEA en el ámbito de la industria de tratamiento de gases está en que la DEA tiene la habilidad de reunir los tres puntos clave en todo proceso de tratamiento de gases:

- a) Su reactividad, es decir, su capacidad de conseguir productos bajo especificación.
- b) Produce una corrosión menor que la MEA.
- c) La utilización de la energía permite un amplio conjunto de aplicaciones para este disolvente en tratamiento de gases.

### **2.2.3. ELECCION DEL DISOLVENTE**

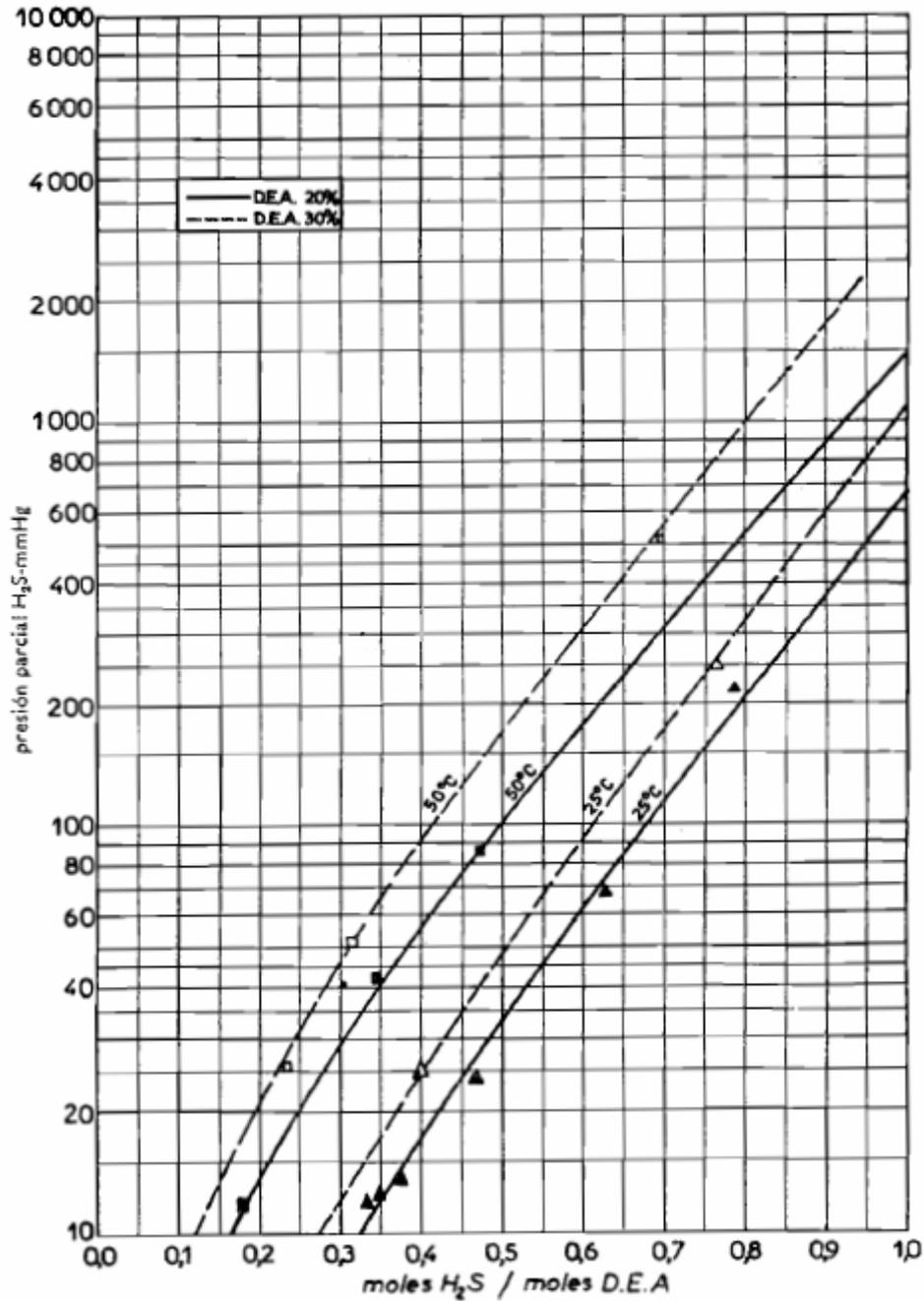
La elección del disolvente es del diseñador de la unidad regeneradora de amina, y siempre basa su estudio, teniendo en consideración lo expuesto en el apartado anterior, en los siguientes factores:

- A.** Presencia de sulfuros de carbonilo (COS): Si la corriente a tratar contiene concentraciones apreciables de sulfuros de carbonilo, la DEA será el disolvente más adecuado. Este hecho está fundamentado en que, aunque la DEA y la MEA eliminan casi en su totalidad estos sulfuros, la MEA tiene el inconveniente de que reacciona con estos para formar compuestos que son estables térmicamente y que nunca se pueden volver a recuperar. La DEA también reacciona con los sulfuros de carbonilo pero en todo caso forma compuestos recuperables en la regeneración.
- B.** Solubilidad en hidrocarburos líquidos: Con el uso de DEA se producen menores pérdidas potenciales de disolvente que con MEA, y esto es debido a que la primera es menos soluble en los hidrocarburos líquidos.
- C.** Capacidad de absorción de gas ácido: En este caso es la MEA la que tiene mayor capacidad para los gases ácidos en base al peso por volumen unitario. Será necesaria, por tanto, una menor cantidad de MEA en circulación en comparación con la de DEA, lo cual se traduce en tamaños de equipos menores y en un menor coste energético.

- D.** Capacidad de recuperación: Las corrientes que se procesan en la unidad pueden venir cargadas de fuertes contaminantes ácidos que habrán reaccionado previamente con la amina en el absorbedor para formar sus respectivas sales de amina. Cuando se utiliza la MEA, las sales estables al calor disueltas pueden ser tratadas con carbonato de sodio, una base fuerte, en un recuperador para liberar la base más débil, MEA, que puede ser así destilada y recuperada. La DEA, por el contrario, se vuelve térmicamente inestable antes de alcanzar su punto de ebullición a la presión atmosférica y se descompone. La recuperación de DEA sólo puede llevarse a cabo en el vacío o por otras técnicas. Por todo ello, si existen contaminantes ácidos, es preferible elegir la MEA.
- E.** Volatilidad: El disolvente es preferible que tenga una baja presión de vapor para evitar las pérdidas en su manejo y durante la operación. En esta ocasión es más adecuada la DEA, pues tiene menor presión de vapor que la MEA dando lugar a menores pérdidas de vapor.

#### **2.2.4. DATOS DE EQUILIBRIO**

Los datos de equilibrio para la amina cargada en el rango de concentración y temperatura en el que se trabaja en esta unidad se recogen en el siguiente gráfico:



## 2.3. REQUISITOS DE DISEÑO

### 2.3.1. CAPACIDAD DE LA UNIDAD

La capacidad diseñada o tasa de producción que se quiere tener en la planta en condiciones normales es de 9500 Kmol/h.

La capacidad máxima es la tasa de producción más alta que puede obtenerse cuando se emplean de manera óptima los recursos productivos. Sin embargo, la utilización de recursos puede ser deficiente en este máximo (por ejemplo, incrementos en el costo de la energía, horas de trabajo extraordinarias, mayores costos de mantenimiento, etcétera).

### 2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACION

La corriente de alimentación, consistente en la amina rica procedente de la columna de absorción, estará compuesta por los siguientes componentes en las siguientes cantidades:

<b>ALIMENTACIÓN</b>				
	Kmol/h	Kg/h	% molar	% peso
<b>H<sub>2</sub>S</b>	129,626271	4407,29322	0,01364487	0,02123636
<b>CO<sub>2</sub></b>	17,3749586	764,498179	0,00182894	0,0036837
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,54296746	8,6874793	5,7154E-05	4,186E-05
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	0,10859349	3,04061776	1,1431E-05	1,4651E-05
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	0,21718698	6,51560948	2,2862E-05	3,1395E-05
<b>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub></b>	0,05429675	2,28046332	5,7154E-06	1,0988E-05
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	0,01085935	0,47781136	1,1431E-06	2,3023E-06
<b>Amina</b>	390,865786	41040,9075	0,04114377	0,19775388
<b>H<sub>2</sub>O</b>	8961,19908	161301,583	0,94328411	0,77722487
	9500	207535,284	1	1

Lo que supone una alimentación en la cual la disolución de amina gastada, o disolución a regenerar, tiene una concentración del 20,3 % en peso. Asimismo, la relación molar entre el gas ácido y la amina tiene un valor de 0.3761, cantidad que es recomendable que esté por debajo de 0.4 puesto que, de no ser así, la disolución de amina se hace cada vez más corrosiva en tuberías de acero al carbono, particularmente a temperaturas elevadas.

### 2.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS

Los productos de la columna regeneradora son dos principalmente, el ácido sulfhídrico y la dietanolamina, de los cuales a continuación se exponen sus principales características.

PROPIEDAD	AC. SULFHIDRICO	DIETANOLAMINA
<b>Fórmula molecular</b>	SH <sub>2</sub>	(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub> NH
<b>Masa molecular (g/mol)</b>	34.1	105.2
<b>Estado físico; Aspecto</b>	Gas licuado comprimido, de olor característico a huevos podridos	Líquido higroscópico incoloro o lantejas, con olor acre.
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	- 60	269
<b>Punto de fusión (°C)</b>	- 85	27
<b>Densidad relativa (agua = 1)</b>	0.5	1.09
<b>Densidad relativa de vapor (aire = 1)</b>	1.19	3.65
<b>Solubilidad en agua</b>	g/100ml a 20°C: 0.5	Soluble
<b>Punto de inflamación (o.c.)</b>	Gas inflamable	137 °C
<b>Temperatura de autoignición (°C)</b>	260	660

### 2.3.4. CARACTERISTICAS DE LOS SERVICIOS AUXILIARES

#### Corriente de vapor

El requerimiento de vapor estará en el rango de 120-140 Kg. de vapor por m<sup>3</sup> de amina circulada. En este caso el vapor necesario se tomará de la red y será vapor de baja que está a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>g de presión y a la temperatura de saturación (147 °C).

#### Corrientes de aire

El aire necesario para toda la instrumentación y control de la planta será tomado de la red, que estará a 4.0 Kg/cm<sup>2</sup>g, temperatura ambiente (unos 20 °C) y tendrá un punto de

rocío de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , siendo destacable el hecho de que si la presión baja de  $2.5\text{ Kg/cm}^2\text{g}$  deberá aportarse desde otro origen o conectar el nitrógeno al aire de instrumentos en varias estaciones de servicio de la planta. En esta unidad este aire se necesitará en válvulas de control.

El aire de planta estará a  $6.0\text{ Kg/cm}^2\text{g}$  y a temperatura ambiente (alrededor de los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### Condensado

El condensado de baja presión, resultante de la condensación del vapor de baja presión en el calderín, se exportará desde la planta a la red de recuperación de condensado del complejo a la temperatura de saturación y a una presión de  $1.0\text{ Kg/cm}^2\text{g}$ . También se utilizará, previamente enfriado, como aportación de agua al proceso.

### Nitrógeno

El nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) es utilizado en los diferentes equipos como gas de blanketing, es decir, para mantener una sobrepresión y así evitar la degradación de la disolución de amina causada por el contacto con el oxígeno ( $\text{O}_2$ ). También es útil para vaporizar o purgar los recipientes y tuberías en operaciones en las que se necesite eliminar el aire, en especial el oxígeno, operación que también es posible realizar con vapor.

El nitrógeno estará a una presión de  $7\text{ Kg/cm}^2\text{g}$  normalmente y como máximo a  $15\text{ Kg/cm}^2\text{g}$  y temperatura ambiente y también será tomado de la red general. Se requerirá un aporte de nitrógeno en el botellón de carga si éste no cuenta con respiraderos continuos de hidrocarburos.

### Electricidad

Se estima que el consumo eléctrico en la planta es de unos  $3.5\text{ MW/h}$ , repartidos entre motores, controladores y alumbrado. Los motores necesitarán una potencia que oscilará abarcando valores que podrán superar los  $200\text{ CV}$ , con un voltaje de  $220$  a  $6300$  voltios dependiendo de si trabajan en una o tres fases. Los controladores utilizarán un voltaje de  $110$  voltios (siempre en monofásico) y la luz una tensión de  $110$  voltios.

## 2.4. DESCRIPCION DEL PROCESO

### 2.4.1. DIAGRAMA DEL PROCESO

Véase el diagrama del proceso que lleva a cabo la regeneración de la DEA en el documento Planos, Plano nº 2.

### 2.4.2. DESCRIPCION

La disolución de amina gastada (rica en  $H_2S$ ) que entra en los límites de batería procedente de la unidad de recuperación de gas, proviene del absorbedor, y cuando se recibe es separada (por disminución de la presión) en el botellón de carga. El botellón de carga está diseñado para separar todos los hidrocarburos pesados y constituir con ellos una fase líquida diferenciable y enviarlo al sistema de aceites mediante la línea R-01.

La amina separada es bombeada por la bomba de carga de amina gastada B-01 a través del filtro F-01 (filtro de solución de amina). Luego es precalentada por intercambio de calor con la corriente de amina regenerada procedente del calderín del regenerador y enviada hacia el regenerador de amina. Una vez en el regenerador, el sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y algunos hidrocarburos son separados de la disolución de DEA, separación que se logra al llegar a la ebullición en el fondo del regenerador en el calderín de vapor allí situado. Los vapores de cabeza consistentes en sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, hidrocarburos ligeros y vapor condensan parcialmente en el condensador de cabeza, donde la corriente se refrigera con agua.

La mezcla se dirige después al botellón de reflujo V-02, diseñado para separar la mezcla de líquido y vapor, desde donde los vapores ácidos se envían a las plantas de azufre y hacia antorcha y el líquido es bombeado de vuelta al regenerador como un reflujo mediante la bomba B-03 o bomba de reflujo. Esta corriente tiene la finalidad de reponer las pérdidas de agua que se produzcan en el sistema de las corrientes de gas ácido y fuel gas.

La disolución de amina regenerada (pobre en  $H_2S$ ) producida en el regenerador se bombea con la bomba B-02 o bomba de fondo. A continuación es enfriada por la DEA gastada que es la alimentación de la torre y es bombeada con la presión necesaria para la recirculación a través del cambiador refrigerado por agua de amina regenerada.

La balsa de preparación de la amina está considerada como parte del sistema de producción de amina. La amina concentrada se suministra a los botellones y se diluye con el condensado y después se bombea a la línea de succión de la bomba de amina pobre o al tanque de amina pura. Los recipientes y tuberías pueden vaciarse de DEA mediante drenajes subterráneos hacia la balsa de aminas y luego bombearse hacia el tanque de almacenamiento de amina. El tanque de almacenamiento (fuera del alcance de este proyecto) está diseñado para contener el inventario del sistema cuando la unidad está parada. Se debe mantener un nivel mínimo en el tanque durante la operación normal de la unidad.

El filtro de carbón F-02 está situado en una derivación de la línea de descarga de la bomba impulsora de disolución pobre, para el filtrado del 20% del total de la amina circulante. El filtro retiene los sulfuros de hierro y otros sólidos contaminantes de la disolución. Además de obstruir los cambiadores y las líneas de instrumentos, estos sólidos aumentan la tendencia de la disolución a espumar, causando problemas en la torre.

Se cuenta con un enfriador para el vapor que va hacia el calderín del regenerador para saturar el vapor sobrecalentado. Esto reduce la corrosión en el lado de la amina del calderín y también aminora la posible descomposición térmica de la misma.

Los posibles hidrocarburos que entran en el sistema regenerador de amina se acumulan en el botellón de reflujo del regenerador y se drenan al sumidero de aceites ácidos. Cuando el aceite en este punto alcanza un determinado nivel, puede cerrarse una válvula manual situada en la línea proveniente del botellón de reflujo para darle presión al gas utilizado para obligar al aceite a ser evacuado fuera de la unidad para su posterior reutilización.

### 2.4.3. SIMULACION DE LA UNIDAD CON HYSYS

La unidad descrita y diseñada en el presente proyecto se ha simulado con el programa de simulación de plantas de proceso HYSYS para poder obtener de su base de datos cualquier tipo de información relacionada que se ha necesitado a lo largo de los cálculos realizados.

Se ha elegido precisamente este programa al ser el que más se utiliza en la refinería CEPESA Gibraltar y porque brinda la posibilidad de utilizar para esta aplicación el paquete de aminas con el que se ha llevado a cabo la simulación.

### 2.4.4. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO

Conforme a las etiquetas que se sitúan en el plano nº 2 (diagrama del proceso), las características más significativas de las corrientes principales que circulan en el sistema son las siguientes:

Número	1	2	3	4	5	6
Nombre	DEA rica de absorbedores	DEA rica sale de botellón carga	DEA rica entra intercambiador DEA rica/pobre	DEA rica entra en regeneradora	DEA gastada entra intercambiador DEA rica/pobre	Cabeza de regeneradora
Temperatura (°C)	43	43	43.066	90	115.84	89.603
Presión (bar A)	1.5	1.5	3.5	3.0	12.0	1.7
Caudal (Kg/h)	207,730	207,720	207,720	207,720	203,040	6,115.4
Estado	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Vapor
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.48	1,056.6	1,056.5	1,025.5	971.66	1.6055
Viscosidad (cp)	-----	1.0638	1.0622	0.44389	0.30193	0.015

Número	7	8	9	10	11
Nombre	Reflujo hacia regeneradora	Gas ácido a planta azufre	Vapor del hervidor	DEA gastada sale de cambiador DEA rica/pobre	DEA pobre hacia almacenamiento
Temperatura (°C)	46.037	46.088	115.15	70.136	40
Presión (bar A)	1.5	1.5	1.7	11.5	11.0
Caudal (Kg/h)	1,437.6	4,678.6	14,401	203,040	203,040
Estado	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Líquido
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	989.58	1.9468	0.9788	1,005.3	1,021.2
Viscosidad (cp)	0.57654	0.01393	-----	0.59302	1.1026

Las fracciones molares de dichas corrientes son las siguientes:

Número	1	2	3	4	5	6
% H <sub>2</sub> S	1.3643	1.3643	1.3643	1.3643	0.1942	51.4401
% CO <sub>2</sub>	0.1829	0.1829	0.1829	0.1829	0.0143	7.3962
% CH <sub>4</sub>	0.0057	0.0017	0.0017	0.0017	0	0.0734
% C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.0011	0.0006	0.0006	0.0006	0	0.0282
% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.0022	0.0007	0.0007	0.0007	0	0.0311
% C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0	0.0171
% C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.0001	0	0	0	0	0.0014
% H <sub>2</sub> O	94.3284	94.3347	94.3347	94.3347	95.6165	41.0126
% DEA	4.114	4.114	4.114	4.114	4.175	0
Número	7	8	9	10	11	
% H <sub>2</sub> S	0.1489	81.2544	1.6123	0.1942	0.1942	
% CO <sub>2</sub>	0.0067	11.6908	0.2487	0.0143	0.0143	
% CH <sub>4</sub>	0	0.1160	0	0	0	
% C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	0.0446	0	0	0	
% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0.04916	0	0	0	
% C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	0.0270	0	0	0	
% C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0	0.00215	0	0	0	
% H <sub>2</sub> O	99.8444	6.8159	98.1344	95.6165	95.6165	
% DEA	0	0	0.0045	4.1749	4.1749	

## 2.5. DESCRIPCION DE LA COLUMNA REGENERADORA

### 2.5.1. COLUMNA REGENERADORA

La definición del código ASME para recipiente a presión es aquél que está constituido por una envolvente, normalmente metálica, capaz de contener un fluido, líquido o gaseoso, cuyas condiciones de temperatura y presión son distintas a las del medioambiente.

La columna regeneradora se encuentra clasificada dentro de los recipientes a presión de procesos como vertical con cabezas formadas ya que la presión de vapor del líquido (disolución de DEA) determina un diseño más resistente. Las cabezas que cierran los extremos de este recipiente cilíndrico son de tipo toriesférico.

#### 2.5.1.1. DATOS DEL PROCESO DE REGENERACION

Los datos necesarios para el correcto diseño de la columna regeneradora, son los siguientes, y su fundamento se explica a lo largo de los siguientes apartados:

<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>	
Diámetro (m)	1.83
Altura entre líneas de tangencia (m)	11.12
Altura soporte (m)	2.5
Altura lechos (m)	3.81
Número de lechos	2
Fluido contenido	DEA, H <sub>2</sub> S Y VAPOR
Presión de cálculo (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.75
Temperatura de cálculo (°C)	136
Presión de operación (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.75
Temperatura de operación (°C)	115
<b>EFICIENCIA DE SOLDADURA</b>	
Eficiencia de junta (%)	100
Radiografiado	Total
Sobreespesor de corrosión (mm)	6.0

<b>MATERIALES</b>	
Cuerpo	A-516-60
Fondos	A-516-60
Faldón	A-516-60
Bridas	A-105
Pernos	A-193-B7
<b>PESOS</b>	
Vacío	11400 Kg
Bandejas, relleno y distribuidores	14500 Kg
Líquido de operación	10700 Kg
Plataformas, tuberías y varios	3300 Kg
Aislamiento y cemento antifuego base	4100 Kg
Prueba hidrostática	30200 Kg
Peso en operación	44000 Kg

### 2.5.1.2. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO

Los requerimientos o requisitos principales que deben contemplarse para el diseño y buen funcionamiento de la columna regeneradora son:

- ❖ La carga de gas ácido en la amina debe ser menor de 0.05 moles de gas ácido por mol de amina.
- ❖ El vapor enviado al calderín se des-sobrecalentará y alcanzar una temperatura de menos de 140 °C.
- ❖ La cantidad de vapor estará entre 100 y 150 Kg de vapor por tonelada de DEA en circulación, con el fin de mantener una carga de menos de 0.05 moles de gas ácido por mol de DEA en la amina regenerada.
- ❖ El punto de medida de la temperatura del vapor se localizará en la línea de entrada de vapor (y no en la de salida de condensado), con la finalidad de prevenir operar con los tubos del intercambiador parcialmente inundados.
- ❖ La presión de cabeza del regenerador será de 1.7 bar (presión en el fondo menor que la caída de presión).

### **2.5.1.3. CONDICIONES GENERALES DE CÁLCULO PARA DISEÑAR UNA COLUMNA REGENERADORA**

El diseño y cálculo mecánico de los elementos que forman parte de un recipiente consiste, básicamente en la determinación de sus espesores, tomando como datos de partida: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión y temperatura, las cargas debidas al viento y terremoto, peso específico del fluido y la reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente.

La columna regeneradora debe construirse de acuerdo con algún código internacional de diseño. En este caso y sin duda por ser el más utilizado, será diseñada según el código ASME para recipientes a presión (División 1, Sección VIII). En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de ASME para los recipientes a presión. En base a esto se ha dividido en subsecciones A, B y C, de ellas la C es la que trata los requerimientos de los tipos de materiales, en su parte UCS destinada a acero al carbono y de baja aleación estarían recogidos los requisitos para la regeneradora en lo referente a materiales de construcción.

En la práctica la División 1 se utiliza para el diseño y construcción de equipos sometidos a vacío, baja, media y alta presión. Sus limitaciones en cuanto a recipientes son:

1. La presión deberá ser menor a 3000 psi.

Este límite lo cumple la regeneradora ya que la presión máxima en su interior es de 24.66 psi (calderín).

2. Recipientes sujetos a presión interna o externa menor de 1.0055 Kg/cm<sup>2</sup> (15 psi).

Dado que la presión interna es mayor que 15 psi, esta limitación no supone un problema para la aplicación de este código de diseño.

3. Recipientes que no excedan de 15.2 cm (6 pulgadas) de diámetro.

Siendo el diámetro de la regeneradora de 72.047 pulgadas, tampoco presenta problema esta limitación.

En España todos los recipientes sometidos a presión deben cumplir el “Reglamento de Aparatos a Presión” (RAP), complementado con las “Instrucciones Técnicas Complementarias” (ITC) que le son aplicables.

Los datos básicos para el diseño de un recipiente a presión son los que a continuación se enumeran, y su cálculo detallado figura en el anexo de cálculo para la columna regeneradora:

- Presión de Diseño o proyecto.

Presión que en todo caso debe ser mayor que la máxima de servicio, su valor queda establecido en el anexo de cálculo y es de  $3.75 \text{ Kg/cm}^2$ .

- Temperatura de Diseño o proyecto.

Debe ser superior a la máxima de operación y según el cálculo realizado en el anexo de cálculo, su valor es de  $136 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Presión del viento.

Viene condicionada por la altura sobre el nivel del suelo, por el tipo de zona eólica y por la situación topográfica que puede ser expuesta o normal. Se considera situación topográfica expuesta las costas, cumbres de montaña, desfiladeros, bordes de meseta y aquellos lugares en que puedan preverse vientos locales de intensidad excepcional.

La presión básica del viento en este caso es de  $110 \text{ Kg/m}^2$ .

- Espesor mínimo de pared.

El espesor mínimo, excluido el sobreespesor por corrosión admisible de las envolventes y fondos, será de  $t_{\min} = 11 \text{ mm}$ .

- Espesor del cuerpo de la columna

El espesor de la pared de la columna debido a la presión interna es de  $t = 11$  mm.

- Espesor de los cabezales toriesféricos

El espesor del cabezal inferior es igual al del superior, su valor es de 11 mm.

- Carga debida al viento/sismo.

La presión de diseño del viento es de  $111.30 \text{ Kg/m}^2$ , y en lo que se refiere a sismos, debido a la ubicación del equipo, no se requiere este cálculo. En cuanto a los momentos de viento, el de la línea de tangencia tiene un valor de  $1387080 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$  y el de la línea base es de  $2068727 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$ .

- Eficiencia de la soldadura.

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como debilitada. Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura (E), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella. En el caso que se trata, su valor es del 100% debido a que el radiografiado que se le realiza al recipiente es total.

#### **2.5.1.4. MATERIALES**

Los aceros al carbono son usualmente usados donde las condiciones de servicio lo permitan por los bajos costes, su disponibilidad y la facilidad de fabricación de estos aceros. Este es el caso de la columna regeneradora.

En el diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual necesitamos definir una secuencia lógica para la selección de estos. Así pues seguiremos la filosofía que sigue ASME para seleccionar los materiales y, por consiguiente, para especificar como adecuado el elegido para la construcción de la regeneradora y, en subsiguientes apartados, el resto de aparatos a presión.

Entre las propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio, figuran las siguientes:

#### 1. Propiedades mecánicas

Es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto nivel de alargamiento y mínima reducción de área. Todas son propiedades relacionadas con los esfuerzos de diseño para el material.

#### 2. Propiedades físicas

Se buscará que el material tenga un coeficiente de dilatación térmica apropiado a las sollicitaciones que se observen.

#### 3. Propiedades químicas

La principal propiedad química que se considerará en la fabricación de recipientes a presión es su resistencia a la corrosión. Este factor es de muchísima importancia ya que si, según este criterio no hacemos una buena selección del material, este se puede corroer en poco tiempo de servicio, lo que causará muchos problemas:

- Sobrediseño del espesor, que trae como consecuencia un notable encarecimiento en el diseño además de no ser siempre la mejor solución.
- Mantenimiento preventivo. Para proteger los equipos del medio corrosivo es necesario usar pinturas protectoras.
- Paros debido a la corrosión de equipos. Un recipiente a presión que ha sido atacado por la corrosión necesariamente debe ser retirado de operación, lo cual implica pérdidas en la producción.

- Contaminación o pérdida del producto. Cuando los componentes de los recipientes a presión han llegado a producir perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el producto, el cual en algunos casos es corrosivo.

#### 4. Soldabilidad

Los materiales usados para fabricar recipientes a presión deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de los componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tengan que soldar materiales diferentes en él, estos deberán ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere. Las soldaduras de una virola son axiales o longitudinales, ya que están realizadas siguiendo la generatriz del cilindro y, al contrario, las soldaduras que unen virolas, o los fondos con la carcasa, son circunferenciales o transversales, por estar realizadas siguiendo una circunferencia situada, obviamente, en un plano perpendicular al eje del cilindro.

Debido a la existencia de diferentes materiales disponibles en el mercado, en ocasiones no resulta sencilla la tarea de seleccionar el material ya que deben considerarse varios aspectos como costes, disponibilidad de material, requerimientos de procesos y operación, facilidad de formato, etc. La explicación de porqué se elige acero al carbono para el recipiente de la regeneradora es porque es el más disponible y económico de los aceros, recomendable para éste recipiente en el que no existen altas temperaturas ni presiones, pues sus condiciones son moderadas.

En la tabla siguiente se puede observar los aceros recomendados para los rangos de temperatura más usuales.

	Temperatura de diseño, °F	Material	Placa
<b>Criogénico</b>	-425 hasta -321	Acero inoxidable	SA-240 304, 304L, 347 316, 316L
	-320 hasta -151	níquel 9	SA-353
<b>Baja temperatura</b>	-150 hasta -76	níquel 3½	SA-203-D
	-75 hasta -51	níquel 2½	SA-203-A
	-50 hasta -21	Acero al carbono	SA-516-55, 60 hasta SA-20
	-20 hasta 4		SA-516 todos
	5 hasta 32		SA-285-C
<b>Intermedio</b>	33 hasta 60 61 hasta 775		SA-516 todos SA-515 todos SA-455 todos
	<b>Alta temperatura</b>	776 hasta 875	C-½Mo
876 hasta 1000		1Cr-½Mo	SA-387-12-1
		1¼C-½Mo	SA-387-11-2
1001 hasta 1100		2¼C-1Mo	SA-387-22-1
1101 hasta 1500		Acero inoxidable	SA-240-347H
		Incoloy	SB-424
Arriba de 1500	Inconel	SB-443	

Ya que las temperaturas en el interior de la columna varían desde los 46 °C (114.8 °F) en la cabeza hasta los 115.5 °C (239.9 °F) en el fondo, elegiremos SA-516-60 para la carcasa, fondos y soportes. Este acero se utiliza en aplicaciones a mediana y baja temperatura donde se requiera una dureza excepcional, con él se puede formar cualquier tipo de tapa en procesos en caliente o en frío debido a su ductilidad, además de poseer unas buenas características de soldabilidad. El acero al carbono es el material más utilizado para plantas de procesos a pesar de tener una resistencia a la corrosión limitada. Se usa rutinariamente para las disoluciones acuosas orgánicas básicas a temperaturas moderadas, como es el caso que se trata.

Las características principales del material seleccionado se recogen en la siguiente tabla:

Especificación ASME	Resistencia a la tracción (Ksi)	Límite elástico (Ksi)	Elongación en 8 pulgadas (%)	Elongación en 2 pulgadas (%)	
A-516-60	65 - 85	35	19	23	
Composición química % en peso (máximo)	C	Mn	P	S	Si
	0.27	0.90	0.035	0.04	0.15-0.40

Para las bridas se utilizará el acero A-105, y para los pernos A-193-B7, habrá que utilizar otros materiales dado que son partes del sistema sometidas a mayor presión. En el anexo de cálculo se encuentra una tabla-resumen con los datos de los diferentes materiales utilizados en la regeneradora.

### 2.5.1.5. DESCRIPCION DETALLADA DE LA TORRE

La columna regeneradora consiste en una torre de relleno, y tiene la función de poner en contacto continuo a contracorriente el vapor de agua y la disolución de amina rica para que el proceso de desorción tenga lugar. Dicha columna consiste en una torre cilíndrica que contiene una entrada para el vapor y un espacio para su distribución en el fondo, una entrada de amina y un dispositivo para su correcta distribución en la parte superior, una salida para el vapor en la parte superior, una salida para la amina líquida en el fondo y el relleno de la torre, consistente en una masa soportada de cuerpos sólidos inertes. El vapor de agua entra en el espacio de distribución que está debajo de la sección empacada y se va elevando a través de las aberturas o intersticios del relleno, así se pone en contacto con el líquido (disolución de DEA cargada de gas ácido) descendente que fluye a través de las mismas aberturas. El empaque proporciona una extensa área de contacto íntimo entre las fases gas y líquida. El soluto contenido en la disolución de amina es absorbido por el vapor de agua, y así la disolución de amina pobre, o también denominada agotada, abandona la torre por su parte inferior.

Recorriendo la columna desde su parte superior hasta la inferior, esta consta en el punto más alto de una conducción por la que sale el vapor hacia el condensador, más abajo se encuentra una conducción lateral por la que entra el reflujo del condensador (alimentación líquida) y lo hará en una zona de 1000 mm de altura en la que se lleva a cabo la distribución del mismo, más abajo se encuentran los distribuidores de líquido

que llevan a cabo su función mediante distintos vertederos. Por debajo, está situado un plato de soporte o limitador del primer lecho, cuya función principal es evitar que el relleno suba por la columna hasta la zona anteriormente descrita, la zona de distribución del líquido. Dicho plato de soporte debe contar con una gran fracción de área libre de forma que no se produzca inundación en su superficie. Inmediatamente por debajo de este plato está el primer lecho de relleno de una altura de 12,5 ft (3810 mm) que cuenta con una corriente lateral para la salida de relleno para cuando por cualquier razón haya que sustituirlo. Justo debajo del lecho empacado se sitúa un plato de soporte del lecho que se encuentra fijado a la columna mediante un anillo de soporte. A continuación de una franja intermedia de en total 1500 mm, se encuentra el segundo lecho de relleno, con características similares al primero y que cuenta con los mismos elementos. Ya por último, se tiene la zona inferior que se puede denominar de distribución del gas, ya que en ella se encuentra la alimentación de vapor en una altura de 1000 mm de longitud en la que entra mediante una conducción lateral el flujo proveniente del calderín y en cuya parte inferior se encuentra un cierto nivel de líquido. Por último, en la zona más baja de la torre se hallará la conducción por la que saldrá la disolución de amina gastada o agotada hacia el calderín.

La torre contará con dos bocas de hombre, una situada en la zona de distribución del líquido y la otra en la del vapor. La torre estará anclada al suelo por un faldón y silletas con pernos.

Para una mayor claridad, en el documento planos está ubicado el plano descriptivo de la columna, el plano número 4.

### **2.5.2. DISEÑO HIDRAULICO**

Históricamente, se ha utilizado el relleno sólo para columnas de pequeño diámetro o en servicios donde existía una caída de presión pequeña. Sin embargo, la introducción de rellenos de alta capacidad con mejores eficiencias y menores caídas de presión, ha producido que se amplíe su campo de aplicación como es el caso de la columna regeneradora de amina.

El contacto gas-líquido en la columna de relleno es continuo, de forma que el líquido circula hacia abajo de la columna sobre la superficie del empaque y el vapor, contracorriente, hacia la parte superior de la misma. El funcionamiento de la columna empacada depende sobremanera del mantenimiento de una buena distribución del gas y el líquido a través del lecho de relleno, por lo que a la hora de su diseño, es un factor importante a tener en cuenta.

En cuanto al relleno, existen además otros factores importantes en el diseño consistentes en que debe contar con una gran área superficial para poder suministrar suficiente área interfacial entre el gas y el líquido, que debe tener una estructura abierta, es decir, una baja resistencia al flujo gaseoso, que se debe conseguir una distribución uniforme del líquido sobre la superficie del relleno y que se debe alcanzar un flujo uniforme del gas a través de la sección de la columna.

El diseño hidráulico de la columna regeneradora debe englobar la selección del relleno adecuado para la aplicación que se lleva a cabo y la determinación de parámetros importantes referentes tanto a la columna como a los internos, como pueden ser el número de lechos, la altura del lecho o el diámetro de la columna.

### **2.5.2.1. ELECCION DE RELLENO FRENTE A PLATOS**

La elección de una columna regeneradora de relleno o de platos sólo puede realizarse afirmándola en la experiencia y considerando las principales ventajas y desventajas de cada uno de los tipos, las cuales, de manera general, se muestran a continuación:

- La columna de platos puede diseñarse para tratar mayor rango de caudales de líquido y vapor. La columna de relleno no puede trabajar con caudales muy pequeños de líquido.
- La eficacia de plato se puede predecir con mayor certeza que el término equivalente para el relleno (HETP).

- Con columnas de pequeño diámetro, es más barato utilizar relleno y sustituirlo cuando esté sucio.
- Para servicios corrosivos, resultará más económico el uso de columnas con relleno que una de platos.
- Se aprecia menos arrastre de líquido en columnas empacadas que en las de platos. Durante la operación normal, los platos retienen del 8 al 12% del volumen de la torre, y el relleno sólo del 1 al 6%. Esto puede ser importante cuando se necesita que los componentes tóxicos o inflamables estén contenidos en el menor espacio posible por razones de seguridad. También es una ventaja para líquidos de proceso que se puedan polimerizar o degradar térmicamente a elevada temperatura, ya que se requiere un tiempo de residencia pequeño.
- Las columnas de relleno son más apropiadas para el tratamiento de sistemas que puedan formar espumas.
- La caída de presión por etapa teórica es menor en columnas de relleno que en las de platos, asimismo, se debe elegir el relleno para servicios a vacío. Las cifras están en torno a de 3 a 8 mmHg en platos, de 1 a 2 mmHg para rellenos desordenados y de 0.01 a 0.8 mmHg para rellenos estructurados.
- Para servicios en los que no se utilizan productos corrosivos y no se pueden utilizar materiales plásticos, se recurre al relleno.
- El relleno debe emplearse para columnas con diámetro de menos de 2 pies (0.6 m), cuando los platos resultan demasiado caros y complicados de instalar.

Teniendo presente todo lo citado anteriormente, se diseña la columna de regeneración empacada, debido a que las columnas de relleno resultan más adecuadas si se tienen sustancias corrosivas o se forma mucha espuma, también son mejores en casos en los que se requiere una pequeña pérdida de carga a lo largo de la columna y cuando la velocidad del líquido es elevada. Estas son las tres condiciones principales en las que se basa la elección de una columna regeneradora de relleno frente a una de platos.

### **2.5.2.2. SELECCION DEL RELLENO**

Existen muchos tipos de rellenos comerciales y de muchos materiales diferentes, aunque principalmente se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Relleno al azar: Consiste en piezas discretas de una determinada forma geométrica que se disponen al azar en el interior de la carcasa. Son los más comunes en el mercado.
- Relleno estructurado: Formado por capas de tejido metálico arrugado o láminas acanaladas. Varias secciones de este relleno se disponen apilados en la columna. Su uso es menor común que el del relleno al azar, aunque en los últimos años se ha visto aumentado.
- Rejillas: Es un relleno que también está apilado pero en este caso va formando cuadrículas abiertas. Su aplicación se limita a operaciones de transferencia de calor y a servicios de limpieza, en los que se requiere una gran resistencia al ensuciamiento.

En la siguiente tabla se muestran las características que hacen apropiados a cada uno de los tres tipos de relleno en operaciones de destilación, absorción y desorción. Hay que dejar claro que cualquiera de los tres disminuye la caída de presión en comparación con los platos.

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Relleno estructurado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja caída de presión</li> <li>• Elevada capacidad de vapor</li> <li>• Elevada eficiencia</li> <li>• Poco arrastre</li> <li>• Adecuado para servicios con espumas</li> <li>• Instalación rápida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible a las espumas</li> <li>• Sensible a la corrosión</li> <li>• Elevada relación coste/volumen</li> <li>• Baja resistencia mecánica</li> <li>• Pobre ante cargas grandes de líquido</li> <li>• Elevada mezcla axial en algunos casos</li> <li>• Inhabilitado para la inspección</li> <li>• Desmontaje complicado</li> </ul>
<b>Rejillas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja caída de presión</li> <li>• Gran resistencia a ensuciarse</li> <li>• Elevada capacidad para el líquido y vapor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia muy baja</li> </ul>
<b>Relleno al azar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída de presión moderada</li> <li>• Escaso arrastre</li> <li>• Puede fabricarse con materiales resistentes a la corrosión</li> <li>• Relación costes/volumen moderados</li> <li>• Adecuado para servicios con espumas</li> <li>• Fácil de instalar y desmontar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy sensible a las espumas</li> <li>• Baja eficiencia</li> <li>• Sustitución dificultosa</li> <li>• En algunos casos presenta mezclado axial</li> </ul>

Una vez expuestas las mencionadas ventajas e inconvenientes, se considera que el tipo de relleno al azar es el más idóneo para este sistema debido a sus características frente a las espumas y los fluidos corrosivos (suelen estar fabricados en materiales resistentes a la corrosión, como metales, cerámicas o plásticos), ya que ambos constituyen los problemas básicos en la operación de regeneración de la DEA.

En cuanto al tipo elegido de relleno dentro de los rellenos al azar, la elección estará fundamentada en la forma, el tamaño y la aplicación para la que se necesita. Los rellenos han ido evolucionando desde su introducción en los procesos, siempre hacia la obtención de los mejores resultados posibles.

En lo referente a la forma geométrica, los primeros rellenos se fabricaban en dos formas muy simples, la de los anillos Raschig y las sillas o monturas Berl. En la actualidad, estas disposiciones han sido reemplazadas por otros rellenos más eficientes como los anillos Pall, las monturas Intalox y los anillos Bialecki.

Los ingenieros de proceso seleccionan un tamaño de relleno siempre teniendo en cuenta que el tamaño del relleno es un indicador de su comportamiento. Cuando se selecciona un tamaño de relleno de pequeñas dimensiones, se obtiene más eficiencia, caída de presión y menor capacidad. Como regla general, se suele elegir un relleno que, como máximo, tenga un tamaño de 1/10 del diámetro de la columna (en este caso, al ser la columna de 1830 mm, el relleno no debe sobrepasar los 183 mm, es decir, las 7.2 pulgadas).

El ingeniero de procesos debe seleccionar el tipo de relleno al azar en función de las características del sistema, en cuyo caso, el comportamiento de dicho relleno una vez seleccionado se puede comprobar con los programas de los fabricantes. El ingeniero elige el relleno más apropiado basándose en los requerimientos del sistema en cuanto a eficiencia (HETP), la capacidad y la caída de presión.

Una vez descrito el procedimiento para la elección del relleno, se procede a exponer las bases sobre las que se asienta la elección del relleno específico para el diseño de la columna regeneradora de amina.

En primer lugar y en cuanto al tipo de relleno al azar, siempre considerando las características de los productos y del servicio a realizar, se consideran que los posibles a ser seleccionados son los anillos Pall, las monturas Intalox y los anillos Raschig. Se descarta el uso de los Intalox debido a que se necesita un relleno metálico de acero inoxidable, y estas monturas sólo se fabrican en materiales cerámicos y plásticos. Entre

los Pall y los Raschig, se prefiere a los anillos Pall debido a su mayor eficiencia. La forma geométrica de estos anillos proviene de la de los anillos Raschig con ventanas cortantes, pero con la diferencia de que las lenguas de las ventanas están flexionadas hacia adentro.



**Figura: Anillos Pall de acero inoxidable**

En cuanto al tamaño, los anillos Pall se fabrican en 5/8", 1", 1½", 2", 3½", por lo que se selecciona un tamaño de relleno intermedio de 2" para conseguir un mejor resultado en cuanto a la capacidad y caída de presión a pesar de obtener menor eficiencia.

Entre las principales aplicaciones para las que los fabricantes de estos tipos de anillos nos lo recomiendan se encuentra la absorción y desorción de H<sub>2</sub>S, lo que asegura que se ha realizado una buena elección.

### **2.5.2.3. DESCRIPCION DEL RELLENO**

Los anillos Pall son rellenos tradicionales, probados y de buen rendimiento. Se dispone de estos en una amplia variedad de aceros, entre los que elegimos el acero inoxidable. Además, están disponibles en el mercado en un amplio abanico de medidas. Sus principales características son:

#### Capacidad frente a caída de presión

- Carga y rendimiento elevados / baja caída de presión;
- Buena distribución del líquido y gas y alta eficacia de transferencia de materia.

### Versatilidad

- Mojado fácil;
- Alta resistencia al ensuciamiento;
- Temperaturas elevadas.

### Resistencia mecánica

- Aplicaciones a elevada temperatura;
- Robustez mecánica, baja probabilidad de rotura, apropiado para lechos profundos.

### Aplicaciones

- Diversas aplicaciones de separación y absorción a presión atmosférica y a vacío, casos en los que una baja caída de presión es crítica.
- Para la absorción y desorción de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>.
- Desorción de vapor;
- Refrigerantes de contacto directo.

La siguiente tabla completa la información anterior y expone los datos que describen los anillos Pall de acero inoxidable:

Tamaño	Espacio libre	Área superficial	Unidades por m <sup>3</sup>	Peso por m <sup>3</sup>								
				Pulgadas	%	m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup>	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
5/8	93	316	210000	400	535	---	---	---	---	---	---	---
1	94	316	49500	---	322	403	483	564	644	---	---	---
1.5	95	122	13450	---	200	250	300	350	400	---	---	---
2	96	100	6000	---	---	196	235	275	314	354	---	---
3.5	97	54	1000	---	---	---	---	144	165	180	206	---

#### 2.5.2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO

La mejor manera de diseñar el relleno es basando el diseño en datos empíricos. Existen datos suficientes para cubrir diferentes tamaños y tipos de relleno en sistemas orgánicos como el de aminas. Estos datos están recogidos en gráficas en función de los parámetros de flujo del sistema que incluyen los caudales y las propiedades tanto del líquido como del gas. A partir de estas gráficas y de su interpretación se diseñan las características del relleno.

Para el diseño de la columna regeneradora se han seguido los siguientes pasos:

- 1.- Selección del tipo de relleno y de su tamaño y de los datos necesarios para el relleno elegido. Este paso se ha efectuado en los apartados 5.2.2 y 5.2.3. de la memoria.
- 2.- Determinación del diámetro de la columna. El cálculo del diámetro de la columna se ha realizado partiendo del tipo de relleno y de la caída de presión a lo largo de la columna. En el anexo de cálculo de esta memoria se ha determinado que el diámetro de la regeneradora es de 1830 mm.
- 3.- Determinación de la altura necesaria para la desorción del  $H_2S$ . Se debe hallar para ello: el número de etapas teóricas, obtenidas a partir de la simulación en HYSYS, el HETP o altura equivalente de plato teórica, obtenida a partir de correlaciones empíricas, y por último, el número de lechos con el que es posible una correcta operación de separación. Todo ello se lleva a cabo en el anexo de cálculo de esta memoria, obteniéndose una HETP de 25", una altura de relleno de 25 ft y un número de lechos igual a 2, cada uno de 12.5 ft.
- 4.- Seleccionar los internos de la columna, los soportes del relleno, los distribuidores de líquido y los redistribuidores. Todo ello se realizará en el apartado 5.2.6 de esta memoria.

## 2.5.2.5. CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA

### 2.5.2.6. DISPOSITIVOS INTERIORES

#### Distribuidor de líquido

Es el interno más importante de la columna. Es importante que facilite un riego homogéneo repartido sobre el lecho de relleno de forma que sea dosificado igualmente por unidad de área en toda la superficie del lecho. Su diseño depende del diámetro, los caudales, las condiciones operativas y de la aplicación. Está localizado por debajo de donde se introduce en la regeneradora la alimentación líquida. Está situado a unas 20" por encima del lecho de relleno para dejar suficiente espacio libre al vapor para su separación.

El distribuidor debe tener los siguientes atributos:

- A) Una distribución uniforme del líquido.
- B) Resistencia al ensuciamiento, las obstrucciones, las espumas y a la retención de líquido.
- C) El máximo espacio libre para el flujo de gas.
- D) Adaptabilidad a fabricarse en diferentes materiales.
- E) Instalación por secciones a través de las bocas de hombre.

Los dos factores principales en la selección de un distribuidor de líquido son el caudal de líquido y las propiedades del mismo, como son la tendencia a formar espumas, el ensuciamiento, la densidad, viscosidad y tensión superficial.

Es necesario conocer la densidad de irrigación que se requiere para optimizar la distribución de la película líquida en la superficie del relleno. Para la mayoría de rellenos, el número mínimo de orificios para el goteo es de 6 a 10 por  $\text{ft}^2$ . A presiones bajas, este número debe aumentarse para obligar a cumplir el tamaño de orificio mínimo necesario. Ya que la regeneradora opera a presiones bajas y tiene un diámetro de 6 ft, se requiere al menos un número de 4 orificios por  $\text{ft}^2$ .

Existen principalmente dos tipos de distribuidores de líquidos, los distribuidores por presión y los distribuidores por gravedad. Los distribuidores por presión suministran una mayor área superficial para el flujo gaseoso y suelen ser menos caros, más delgados, menos robustos y requieren tuberías de menor diámetro que los de gravedad. Sus desventajas son elevados costes de operación, ser susceptibles de ensuciarse y de sufrir corrosión y una peor distribución del líquido.

Los tipos más comunes de distribuidores por presión son los de tubo perforado y los de spray, mientras que los que funcionan por gravedad son los de vertedero y los de orificio.

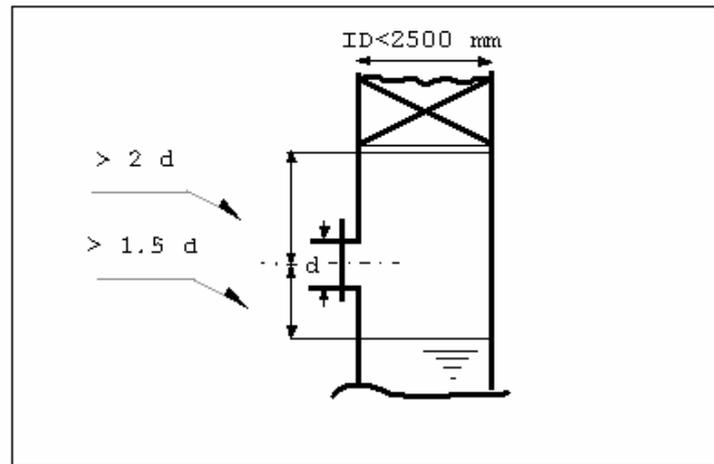
Para la regeneradora, los distribuidores de líquido serán de tipo vertedero (por gravedad) que contiene artesas paralelas con muescas en forma de V a los lados para facilitar el flujo de líquido, mientras que el vapor circula por los espacios entre las artesas.

Se elige este tipo de distribuidor porque consume menos espacio vertical que otros distribuidores, es fácil de sustentar, tienen mucha resistencia a la corrosión y al inundamiento, una elevada relación entre el caudal mayor y el menor (4:1) y es adecuado para la aplicación que se trata. Los distribuidores de líquido de la columna serán del modelo 806 de Norton o similar, y estarán fabricados en acero inoxidable 304L.

### **Distribuidor de vapor**

El distribuidor de vapor se encuentra ubicado en el conducto de entrada de vapor proveniente del calderín, por debajo del segundo lecho de relleno de la columna regeneradora.

La entrada de vapor estará posicionada a 600 mm por debajo del relleno, consideración que se hace a partir del diámetro de la columna tal y como viene indicado en la siguiente figura:



Los distribuidores de vapor se clasifican en función del diámetro de la torre, pues se recomiendan unos tipos determinados según si el diámetro es mayor o menor de 2.5 m. Ya que la regeneradora es de pequeño diámetro, el tipo usado comúnmente es una entrada de gas directa para absorbedores y desorbedores.

### Soportes del lecho

Las principales funciones de los soportes de lechos son tres:

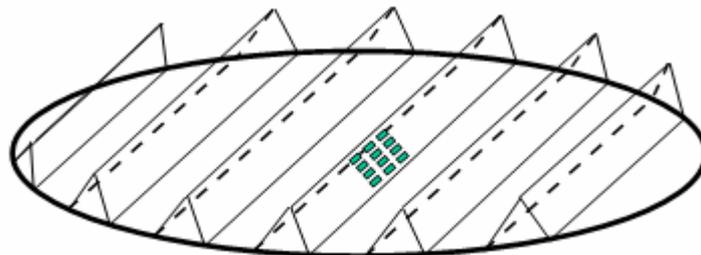
- Soportar físicamente el lecho de relleno. El soporte debe sostener el relleno que se encuentre encima bajo condiciones de inundamiento en la columna. Debe tener suficiente tolerancia como para absorber las fluctuaciones de presión, el deterioro por la corrosión y algunas otras cargas adicionales.
- Tener suficiente área libre incorporada. Esto es para permitir el flujo de gas y líquido sin restricciones y para prevenir la acumulación de líquido en el lecho ante el aumento de la velocidad del gas. Debe contar al menos con un área libre cercana al 70% del área interna de la columna, con el objetivo de evitar una posible inundación.
- Evitar la caída de piezas de relleno. Las aberturas del soporte deben ser más pequeñas que el tamaño del relleno y deben estar uniformemente repartidas. Para mejorar su funcionamiento el relleno que se encuentra justo por encima del soporte se apila formando una base ordenada.

Otras características adicionales del soporte son:

- Elevada permeabilidad para el líquido y el gas.
- Gran estabilidad que se consigue con un peso propio bajo.
- Estar disponible en el mercado en varios tipos de materiales dependiendo de la corrosividad del medio.
- Fácil instalación en la columna.

Por debajo de los platos soporte se encuentran los anillos soportes que están soldados al mismo. Están fijados a dichos anillos mediante dispositivos especiales de afianzamiento para prevenir que el soporte se eleve ante fluctuaciones de presión en la columna.

Se elige el tipo de plato soporte en función del tipo de relleno, de las propiedades del servicio y de la máxima carga de diseño soportada. Por ello, se elige el tipo de soporte denominado soporte de inyección de gas como el adecuado para la columna regeneradora, al contar esta con una baja caída de presión, una gran área libre y un relleno al azar y metálico. Este tipo de soporte está diseñado para proporcionar caminos separados para el líquido y el gas, de manera que ambas fases no compitan por las mismas oberturas y que se minimice la pérdida de presión a través del plato. El vapor fluye por las oberturas superiores previniendo la acumulación de líquido mientras que el líquido fluye por otros orificios inferiores. Se instalan en la columna dos platos de soporte multivigas del modelo 804 de Norton o similar, fabricado en acero inoxidable 304L.



**Figura: Plato soporte del tipo de inyección de gas**

## **Limitadores de lecho**

El limitador de lecho retiene en su lugar la parte superior del relleno, evitando su migración hacia zonas superiores de la torre y evitando la desnivelación del distribuidor y manteniendo la horizontalidad y nivel de la parte de arriba del lecho de relleno.

Es importante el mantenimiento del nivel superior del lecho, especialmente si, en un momento dado, se puede tener una carga de vapor suficiente como para fluidizar hasta la parte superior del lecho en determinadas condiciones. La subida del relleno por encima del distribuidor afecta tanto a la distribución del líquido como a la de vapor, los cuales incrementan su entrada.

Para el relleno de 2” de acero inoxidable, el limitador de lecho consiste en una rejilla de barras planas soldadas a un anillo. El espaciado entre dichas barras determina el porcentaje de área libre (que es del 70% del área interior para evitar problemas de “cuello de botella” en la columna) y debe ser menor de 2”. El valor máximo para la caída de presión a través del limitador de lecho es de 75 Pa. Se instalan en la regeneradora dos limitadores de lecho del modelo 823 de Norton o similar, de acero inoxidable 304L. Estos limitadores de lecho se suministran en secciones para permitir una fácil instalación a través de bocas de hombre Su sujeción a la columna se hace con anillos de soporte.

## **2.5.3. DISEÑO MECANICO**

### **2.5.3.1. ENVOLVENTE Y FONDOS**

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y coste monetario. Todos los fondos ASME se construyen a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo en el caso de fondos cónicos y planos.

Para la columna regeneradora se utilizan fondos de tipo toriesférico Korbogen Boden, debido a que son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo coste y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es la relación que establecen los parámetros geométricos del diámetro principal y el radio del abombado (codillo). Se construyen mediante una figura de revolución cuyo perfil (sección del fondo con plano que pasa por el eje del cilindro) interno se obtiene mediante dos radios de curvatura con centros diversos. Los radios de estos fondos son:

- Radio mayor  $L_i = 0.8 \cdot D_o$
- Radio menor  $r = D_o / 6.5$ .

Su construcción es por estampación. Los Korbogen tienen el mismo campo de utilización que los elípticos. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 m. (11.8'' - 236.22''), en este caso es de 1852 mm.

### **2.5.3.2. CONSTRUCCION**

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación los esfuerzos a los que se verán sometidos. Es decir, que los esfuerzos a los que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo. Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo.

En el anexo de cálculo figura el cálculo de los esfuerzos admisibles a tracción y compresión tanto en la línea de tangencia como en la base, obteniéndose que los espesores anteriormente indicados para cada zona de la columna son los adecuados para su construcción.

Una vez que se han estudiado los diferentes esfuerzos que se producen en un recipiente por las diferentes causas (presión interna, presión externa, presión de prueba hidráulica, efectos del viento y sismo) separadamente, se debe considerar que estas causas pueden producirse simultáneamente y, por tanto, sumarse los esfuerzos producidos en el material.

Si en la comprobación de los espesores en estas secciones se encuentra que es preciso aumentar los espesores iniciales, se hace necesario comprobar más secciones, de forma que el recipiente sea diseñado con unos espesores diferentes a lo largo de su altura (recipientes con espesores escalonados). La comprobación se realiza con el cálculo de esfuerzos a tracción y a compresión, debiendo resultar que en ambos casos el esfuerzo sea menor que la máxima tensión admisible.

En el anexo de cálculo se obtiene que los esfuerzos combinados a tracción y a compresión, tanto en la línea de tangencia como en la base, son menores que los valores establecidos como máximos admisibles.

### **2.5.3.3. SOPORTES**

La columna estará anclada a la cimentación de concreto, por medio de pernos de anclaje y de anillo de la base (portante). Los pernos de anclaje se instalan en múltiplos de cuatro, al ser la torre alta, se instalan el mínimo recomendado que son ocho.

Los pernos estarán situados a una distancia aproximada de 18 pulgadas, puesto que si se colocan más próximos su capacidad de anclaje se ve reducida.

### **2.5.3.4. BOCAS DE HOMBRE Y DE INSPECCIÓN**

La columna cuenta con dos bocas de hombre o inspección, el inferior a menor altura, se encuentra a una elevación de 3150 mm y está debajo del lecho inferior de relleno. La boca superior está a una elevación de 12970 mm y se sitúa encima del lecho superior de relleno.

### **2.5.3.5. CONEXIONES**

Todas las conexiones llevarán bridas de 150 # de tipo welding neck. Las características de dichas conexiones están detalladas en el plano número 4 (plano de diseño de la columna C-01) así como en el apartado 2.8 relativo a conexiones de la unidad.

### 2.5.3.6. PRUEBAS

En los recipientes resulta imprescindible llevar a cabo un estudio en profundidad de los diferentes casos de carga posibles a lo largo de la vida útil del equipo, producidas por la coincidencia o no de circunstancias que producen esfuerzos en los recipientes. Los casos de carga a comprobar en un recipiente son, según el caso:

#### A) EQUIPO EN OPERACIÓN:

- Presión interna.
- Presión interna + cargas debidas al viento.
- Presión interna + 25% de las cargas debidas al viento + cargas debidas a sismo.

#### B) EQUIPO MONTADO PERO NO EN OPERACIÓN:

- Cargas debidas al viento.

#### C) PRUEBA HIDRÁULICA:

- Presión de prueba hidráulica + 25% de viento.

En los recipientes sometidos a presión externa, en el caso “A” deberán entenderse que son cargas debidas a presión externa en lugar de cargas debidas a presión interna.

Las comprobaciones se realizan comparando las tensiones que se producen debido a la presión interna (o externa), prueba hidráulica, viento y sismo, con las máximas admisibles en cada caso.

El diseñador ha de verificar en todos los casos que las tensiones en las paredes durante la prueba hidráulica no superen el 90% del límite elástico del material, y en caso contrario deberá aumentar los espesores de las paredes de forma que se cumpla esta condición.

En el anexo de cálculo figura la comprobación de la prueba hidráulica a nivel de línea de tangencia mediante el cálculo de la tensión circunferencial en la prueba hidráulica y la tensión longitudinal en la prueba hidráulica con un 50% del momento del viento. En ambos casos se obtienen resultados satisfactorios. Asimismo se comprueba el faldón en

la prueba hidrostática, tanto a tracción como a compresión, obteniéndose los resultados propicios.

## **2.6.- INTERCAMBIADORES DE CALOR**

El enfriamiento y calentamiento son dos operaciones vitales en la industria del petróleo. Los mecanismos de transferencia de calor sin transferencia de masa son: conducción, convección y radiación. La evaporación y la condensación son fenómenos importantes de transferencia de calor en los que además existe transferencia de masa.

Los factores que afectan a la transferencia de calor son: la diferencia de temperatura, la conductividad térmica, el área de intercambio, la velocidad de los fluidos y la dirección de los flujos.

Hay dos tipos de equipo para la transferencia de calor: directo e indirecto. En el tipo de transferencia directa, los fluidos frío y caliente se mezclan; por ejemplo es el caso de una torre de refrigeración. La transferencia de calor a través de la pared de un tubo se conoce como transferencia de calor indirecta. Ejemplos de este tipo son intercambiadores de calor de doble tubo, o de carcasa y tubos. Estos equipos están diseñados para controlar la temperatura del proceso y para conservar tanto como sea posible la energía calórica.

Por su funcionamiento térmico, se pueden clasificar como sigue:

- 1.- INTERCAMBIADORES DE CALOR - Este equipo recupera el calor por intercambio entre dos corrientes del proceso.
- 2.- ENFRIADORES – Usan aire o agua como medio para enfriar los fluidos del proceso donde no haya una corriente apropiada del proceso para utilizarla en el intercambio.
- 3.- CONDENSADORES – Son enfriadores cuya función es la de retirar el calor latente y sensible y de transformar el vapor en un líquido saturado o subenfriado respectivamente.

4.- HERVIDORES – Se usan para suplir los requerimientos de calor en el proceso de destilación. El medio de calefacción puede ser vapor, aceite térmico, o una corriente del proceso.

5.- HORNOS – Estos se usan para transferir calor a una corriente del proceso por medio de la combustión de un combustible.

## **2.6.1. INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS**

### **2.6.1.1. GENERALIDADES**

Los cambiadores E-01, E-02, E-03 y E-04, según su tipo de construcción, son de carcasa y tubos, es decir, están compuestos por una carcasa cilíndrica que encierra un conjunto de tubos paralelos o haz de tubos.

El fluido que circula por el interior de los tubos se llama fluido de tubos. El otro fluido circula por fuera de los tubos y es llamado fluido de carcasa. Los cambiadores de este tipo pueden clasificarse dependiendo de la construcción del cabezal de tubos. En todos los casos los tubos están mandrilados o soldados al cabezal para impedir pérdidas en la carcasa.

a) CABEZALES FIJOS – Este es el tipo de intercambiador más simple, pero tiene algunas limitaciones, tales como:

- Diferencia de temperatura límite de 65°C entre los fluidos dado que no hay tolerancias para expansión.
- No se puede limpiar dentro de la carcasa. El líquido de la carcasa debe ser un líquido limpio.

b) CABEZAL FLOTANTE – Para permitir que los tubos puedan expandirse debido a la diferencia de temperatura en el intercambiador, uno de los cabezales de los tubos se mueve libremente dentro de la carcasa. Esta cabeza flotante debe estar encerrada dentro de la carcasa con una tapa para retornar el fluido de los tubos a la salida. La mayoría de los intercambiadores son de este tipo.

- c) TUBOS EN “U” – Los tubos son de una sola pieza y hechos para cada caso. Los tubos pueden expandirse y contraerse y sólo un cabezal es necesario. El haz de tubos puede ser sacado para inspeccionarlo y limpiarlo. Los tubos sólo pueden limpiarse mediante el uso de reactivos químicos. El uso más común es en hervidores en los que el vapor se condensa en los tubos. El haz de tubos consta de tres partes principales: tubos, cabezales y deflectores. Los tubos son necesarios para mantener los fluidos separados. Los cabezales están por la misma razón y los tubos están sujetos a los cabezales. Los deflectores dirigen el flujo del líquido en la carcasa. Aumentando el número de pasos en los tubos o en la carcasa se incrementa la velocidad de flujo, con lo cual se aumenta la transferencia de calor.

### **2.6.1.2. INTRODUCCION**

Los equipos intercambiadores de calor de carcasa y tubos de la planta de aminas, que se describen en los siguientes apartados, son los siguientes:

- E-01: Intercambiador de amina rica/pobre.
- E-02: Hervidor de la regeneradora.
- E-03: Condensador de cabeza de la regeneradora.
- E-04: Enfriador de amina pobre

En el presente proyecto se encuentra el diseño térmico de ambos cambiadores según las norma TEMA “R” (Tubular Exchanger Manufacturers Association), la cual se refiere al diseño de los equipos relacionados con los procesos del petróleo.

### **2.6.1.3. SELECCION DE LA TRAYECTORIA DEL FLUJO**

Existen cuatro tipos de configuraciones más comunes en la trayectoria del flujo:

- En la distribución de flujo en paralelo, los fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo del intercambiador, fluyen a través de él en la misma dirección y salen por el otro extremo.

- En la distribución en contracorriente, los fluidos caliente y frío entran por los extremos opuestos del intercambiador y fluyen en direcciones opuestas.
- En la distribución de flujo cruzado de un solo paso, un fluido se desplaza dentro del intercambiador perpendicularmente a la trayectoria del otro fluido.
- En la distribución en flujo cruzado de paso múltiple, un fluido se desplaza transversalmente de forma alternativa con respecto a la otra corriente de fluido.

Para los intercambiadores de carcasa y tubos, entre el flujo en paralelo y el flujo en contracorriente, siempre es más eficiente para la transmisión de calor el tener el flujo en contracorriente. El flujo cruzado es la situación intermedia entre ambos. En el diseño de los intercambiadores de calor de este proyecto, se tiene en cuenta que la selección de la distribución del flujo se hará de tal manera que se tendrá un cambiador con una eficiencia intermedia entre ambas situaciones, lo cual quiere decir que se tendrá, en la mayoría de los casos, un intercambiador con una eficiencia resultado de la mezcla de los tres tipos de flujo en mayor o menor medida. Aunque existen varias maneras de poner las fases en contacto para un número dado de pasos por la carcasa y tubos, se intenta siempre acercarse al flujo en contracorriente, ya que es el que cuenta con mayor fuerza impulsora de temperatura. Cuanto mayor es el número de pasos por carcasa y tubos, mayor es la aproximación a dicho flujo.

En cuanto a la selección de cuál de los fluidos circula por los tubos y cuál por la carcasa, existen varias consideraciones a seguir:

- A) El interior de los tubos es mucho más fácil de limpiar que la carcasa, por tanto el fluido que forme espuma o depósitos salinos deberá circular a través de los tubos.
- B) El fluido corrosivo deberá circular a través de los tubos para evitar el gasto de metales especiales para ambos, carcasa y tubos.
- C) La presión del lado de los tubos normalmente es mayor que la del lado de la carcasa, por tanto el fluido menos viscoso deberá pasar a través de los tubos.
- D) Rara vez se utiliza un número impar de pasos en los tubos 3, 5 o 7, ya que la expansión y los problemas de esfuerzos asociados con los cambios de temperatura son difíciles de tratar.

- E) La corriente de mayor temperatura circulará por el interior de los tubos, para de este modo minimizar las pérdidas de calor.
- F) La corriente de menor caudal discurrirá por los tubos, ya que si la corriente de mayor caudal circula por la carcasa se alcanza una mejor transferencia de calor.

#### **2.6.1.4. TUBOS**

Los tubos para intercambiadores de calor no deben confundirse con tubos de acero u otro tipo de tubería obtenida por extrusión a tamaños normales de tubería de hierro.

Los tubos se fabrican en los materiales metálicos más usuales (incluyen acero, cobre, latón, aleaciones cobre-níquel y aluminio-bronce, aluminio y aceros inoxidable), con un diámetro exterior que es el diámetro exterior real en pulgadas dentro de tolerancias muy estrictas, y un espesor de pared definido de acuerdo con el número BWG (Birmingham Wire Gauge), existiendo tablas con las dimensiones normalizadas de los tubos. Las longitudes normalizadas de los tubos para la construcción de cambiadores de calor son 8, 12, 16 y 20 pies.

Los tubos se disponen en una ordenación triangular o cuadrada. Excepto cuando el lado de la carcasa tiene una gran tendencia a ensuciarse, se utiliza la disposición triangular debido a que se puede conseguir una mayor superficie de transmisión de calor que en la disposición cuadrada para una carcasa de un diámetro dado. Los tubos en disposición triangular no se pueden limpiar pasando un cepillo entre las hileras de tubos debido a que no existe espacio para la limpieza, en tanto que la disposición cuadrada permite la limpieza del exterior de los tubos. Por otra parte, la disposición cuadrada conduce a una menor caída de presión en el lado de la carcasa que en la disposición triangular.

#### **2.6.1.5. CARCASA**

Los diámetros de las carcasas están normalizados. Para carcasas de hasta 23 pulgadas, los diámetros se fijan de acuerdo con las normas ASTM para tuberías, y para tamaños de 25 pulgadas y superiores el diámetro interior se especifica hasta el valor entero más próximo en pulgadas. Estas carcasas se construyen mediante cilindrado de láminas. También está especificado el espesor mínimo de pared. La distancia entre placas

(centro a centro) recibe el nombre de espaciado de placas, y no deberá ser inferior a  $1/5$  del diámetro de la carcasa ni superior al diámetro interno de la misma.

Los tubos generalmente se unen a las placas tubulares acanalando circunferencialmente los orificios y acampanando dentro de los mismos los tubos mediante un mandril cónico rotatorio que deforma los tubos más allá del límite de elasticidad, de tal forma que el metal se introduce en las acanaladuras. Para cambiadores que operan a alta presión los tubos se sueldan después a la placa tubular.

#### **2.6.1.6. DEFLECTORES**

En un cambiador de calor los coeficientes de transmisión de calor del lado de la carcasa y del lado de los tubos son de importancia comparable, y es preciso que ambos sean elevados si quiere obtenerse un coeficiente global satisfactorio. Cuanto más se mantiene el estado de turbulencia tanto en la carcasa como en los tubos, mayores serán dichos coeficientes. Para inducir la turbulencia y aumentar la velocidad media del fluido en la carcasa, se instalan placas deflectoras que hacen que el líquido fluya a través de la carcasa de forma perpendicular al eje de los tubos, lo que causa una considerable turbulencia aun cuando el caudal de líquido en la carcasa sea bajo.

Hay varios tipos de deflectores que se emplean en los intercambiadores de calor, pero los más comunes son los deflectores segmentados (que se instalan en el E-01, E-03 y E-04). Los deflectores segmentados son hojas de metal perforadas que, dependiendo de la relación entre el segmento de altura libre que dejen para el paso del fluido y el diámetro de la carcasa, serán simples, dobles o triples. El espaciado entre deflectores es el que determina la velocidad efectiva del fluido en la coraza.

Los deflectores pueden estar dispuestos en posición horizontal o vertical. La disposición horizontal no es la adecuada para condensadores horizontales, ya que el condensado puede quedar atrapado entre deflector y deflector, o en servicios sucios, pues la suciedad se puede depositar entre deflectores. La posición vertical se utiliza en cambiadores horizontales con fluidos que condensen o en servicios sucios.

### **2.6.1.7. SOPORTES**

Los soportes de un recipiente se pueden seleccionar y diseñar tomando en cuenta variables, tales como tamaño, peso, espesor de la coraza, espacio libre de instalación y elevación del recipiente.

Los cambiadores de calor, considerados como recipientes, se pueden soportar por medio de dos silletas que colocan de tal manera que las cargas sobre cada una de ellas sean aproximadamente iguales. Generalmente, el peso y tamaño de un cambiador de calor resulta ser pequeño comparado con el de un recipiente de almacenamiento, por lo que haciendo un análisis para determinar el espesor requerido por la placa de las silletas, éstas resultan de pequeño espesor.

La práctica ha demostrado, que utilizando una silleta con ángulo de 60° entre sus extremos de apoyo y el centro del cambiador de calor y con placa de 3/8 pulg. (9.5 mm) de espesor, se tiene una silleta suficiente para soportar un cambiador de hasta 57000 Lb (25885 Kg) de peso, suficiente para los casos más comunes. La altura de las silletas será la mínima posible para no tener demasiada altura en las líneas de tubería.

Como la carcasa sufre variaciones en su temperatura de pared tiene pequeñas alteraciones en su longitud, por lo que debe tener libertad para absorber estas dilataciones y para tal efecto se tendrán perforaciones alargadas en la base de una de sus silletas, a fin de que las anclas que sujetan al equipo con la cimentación no restrinjan su libre desplazamiento

### **2.6.1.8. PRUEBAS**

Estos cambiadores, al estar afectados por el Reglamento de Aparatos a Presión se someterán, antes de su instalación y luego periódicamente, al examen correspondiente y a la prueba hidrostática que se determina en la ITC MIE-AP-6, relativa a las plantas petroquímicas.

Para la prueba hidrostática, los cambiadores se someterán, completamente llenos de agua y a una temperatura no inferior a 12 °C, a la prueba de presión, variables todas fijadas por el manual de diseño. Durante la prueba se mantendrá la presión el tiempo necesario para examinar el equipo y observar si existen fugas o se producen deformaciones y si éstas son permanentes. Para ello, es imprescindible que estén al descubierto y sin pintura todas las chapas y juntas, para no poder disimular los posibles defectos.

Para esta primera prueba de presión, además de lo dispuesto en el manual de diseño referente a estos valores, deberá en cualquier caso cumplirse que para los cambiadores que son aparatos a presión, la presión de prueba hidrostática debe ser, como mínimo, de la siguiente magnitud:

$$P(p) \geq [1,25 P_d \cdot (\sigma_p / \sigma_d)]$$

Siendo  $P(p)$  la presión de prueba,  $P_d$  la presión de diseño,  $\sigma_p$  la tensión admisible a la temperatura de prueba y  $\sigma_d$  la tensión admisible a la temperatura de diseño.

Una vez en el lugar de emplazamiento, los intercambiadores deberán ser inspeccionados antes de su puesta en servicio por el instalador de los mismos. Durante las mismas, se comprobará si reúnen las condiciones reglamentarias, si la instalación se ha realizado de acuerdo con el proyecto presentado y si el funcionamiento es correcto. Los cambiadores se someterán a:

- a. Examen visual, se efectuará un control dimensional si no se ha realizado anteriormente en el taller del fabricante.
- b. Prueba de presión de valor igual a la primera en el caso de que evidentemente el aparato haya sufrido alguna anomalía durante el transporte o la manipulación o que la inspección detecte algún fallo real o aparente que así lo aconseje, o siempre que la prueba no se haya realizado en el taller del fabricante.

Los intercambiadores E-01 y E-02 deberán someterse periódicamente a una inspección y una prueba de presión, así como a las comprobaciones y exámenes que para este caso se indican en la ITC MIE-AP-6.

El alcance de dichas inspecciones y pruebas periódicas a las que deberán someterse los aparatos a presión amparados por la ITC MIE-AP-6, a excepción de las tuberías, es el siguiente:

- a. Inspección exterior.
- b. Inspección interior.
- c. Prueba de presión.

La periodicidad de las distintas inspecciones y pruebas periódicas y a quien corresponde ejecutar y certificar su realización se indica en la misma ITC.

### **2.6.1.9. METODO DE CÁLCULO**

Los cambiadores de carcasa y tubos de este proyecto se han diseñado térmicamente. Para ello, existen dos metodologías de análisis térmico:

1. Método F-LMTD
2. Método  $\epsilon$ - NTU

En este caso, y debido a que se cuenta con el soporte de la simulación en HYSYS que aporta los datos de las temperaturas de entrada y salida, se utiliza el método F-LMTD, pues al conocerse dichas temperaturas, este método nos facilita la labor de cálculo.

Para el diseño de intercambiadores de calor diferentes del tipo de doble tubo, la transferencia de calor se calcula usando un factor de corrección F cuyo valor varía entre 0 y 1, aplicado al valor LMDT, por tanto se tienen las siguientes expresiones algebraicas:

$$q = U A \Delta T_m$$
$$\Delta T_m = F \cdot LMTD$$
$$LMTD = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Expresiones que han sido desarrolladas para diversas configuraciones de intercambiadores de carcasa y tubos e intercambiadores de tubo cruzado por TEMA (1978). En este método, si el cambio de temperatura de uno de los fluidos es despreciable, es decir, si presenta cambio de estado, en las gráficas que se utilizan, o P o R son cero, y por tanto  $F = 1$ , caso del intercambiador E-02.

### 2.6.2. PRECALENTADOR DE LA ALIMENTACION

El intercambiador de calor E-01 tiene como función precalentar la amina rica proveniente del botellón de carga, antes de entrar en el regenerador. Hay que evitar el sobrecalentamiento porque genera la desorción de vapores ácidos de la amina rica que corroerán el cambiador. Para evitar esto, la temperatura de la amina rica no debe superar los 88 °C.

Por el interior de los tubos pasará una corriente con la disolución de amina regenerada procedente del fondo del regenerador que calentará la amina rica que recorre la carcasa del cambiador.

Los cálculos que se realizan para este cambiador tienen como finalidad el conseguir el diseño térmico así como sus dimensiones para cumplir las exigencias de la transferencia de calor.

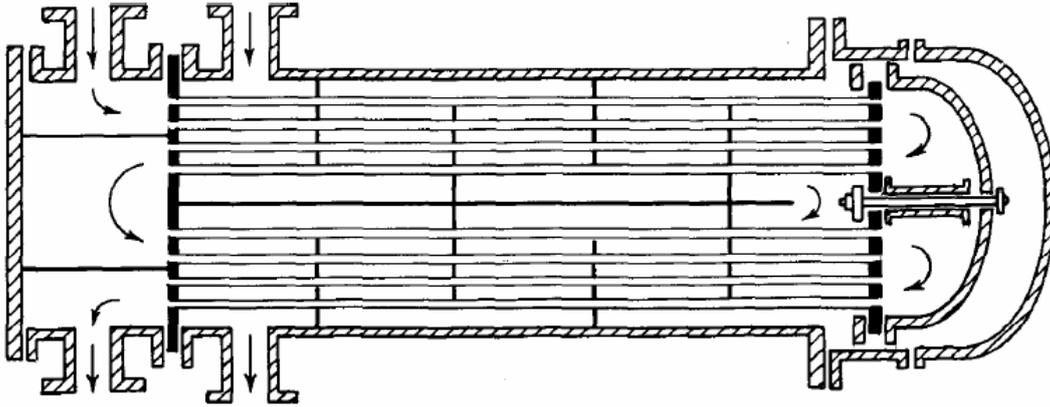
### 2.6.2.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO

El cambiador E-01 es un cambiador 2-4, es decir, que tiene dos pasos por el lado de la carcasa y cuatro pasos del lado de los tubos. Este tipo de cambiadores conduce a mayores velocidades y a un coeficiente global de transmisión de calor mayor que el cambiador de calor 1-2 para una misma velocidad de flujo. Esto sucede porque el cambiador 1-2 posee una limitación importante ya que su flujo es en paralelo, y el cambiador no permite que la temperatura de uno de los fluidos a la salida sea próxima a la temperatura de entrada del otro fluido, obteniéndose una mala recuperación del calor. La elección de un cambiador 2-4 mejora la recuperación del calor, de ahí su amplia utilización.

Con la construcción de paso múltiple se utilizan velocidades más elevadas, tubos más cortos, y se resuelve más fácilmente el problema de la expansión. La construcción del E-01 de paso múltiple disminuye su sección transversal libre para el fluido y aumenta su velocidad, provocando así el aumento del coeficiente de transmisión de calor. De igual manera, las desventajas son:

- (1) el cambiador es ligeramente más complicado,
- (2) aumentan las pérdidas por rozamiento a través del equipo debido a las mayores velocidades y al aumento de las pérdidas en la entrada y la salida.

Por todo ello, la velocidad media en los tubos en el cambiador E-01 de cuatro pasos es cuatro veces mayor que si se utilizara un cambiador de paso simple con el mismo número y tamaño de tubos operando con la misma velocidad de flujo del líquido.



**Figura: Flujo de los fluidos en el cambiador E-01 (tipo 2-4)**

En el cambiador E-01, el fluido caliente (la disolución de DEA pobre o gastada) circula por la carcasa, mientras que el fluido frío fluye por los tubos (disolución de DEA rica). El paso más caliente de la DEA pobre está en contacto térmico con los dos pasos más calientes del lado de los tubos, y el paso más frío del lado de la carcasa con los dos pasos más fríos del lado de los tubos. Este cambiador en su conjunto, se aproxima más a una unidad en contracorriente que en el caso de un cambiador 1-2. En el cambiador E-01 el flujo es parcialmente en paralelo, parcialmente en contracorriente y parcialmente cruzado.

Debido a que el flujo no es en su totalidad en paralelo o en contracorriente, para los cálculos hidráulicos, se define el factor de corrección  $F$ , que se incluye en los cálculos correspondientes al E-01 del anexo de cálculo. Este factor se utiliza para considerar la verdadera caída media de temperatura en el equipo. Al elegir un cambiador 2-4, el factor  $F$  toma un valor de 0.85, lo que significa que la superficie de transmisión de calor se utiliza eficazmente y se elimina el peligro de que, ante la existencia de pequeños cambios de las condiciones, el equipo pueda seguir operando normalmente.

El diseño más económico en cuanto a cambiadores, corresponde a una velocidad en los tubos tal que el aumento del coste de bombeo se vea compensado favorablemente por la disminución en el coste del aparato. Una velocidad demasiado baja ahorra potencia de bombeo pero conduce a un cambiador demasiado grande (y, por tanto, muy costoso). Una velocidad excesivamente elevada da lugar a una disminución del coste inicial del cambiador que no compensa el aumento del coste de potencia.

### 2.6.2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

En este apartado se recogen tanto las principales recomendaciones para el cambiador E-01, así como los datos básicos de diseño y los resultados obtenidos en el mismo.

### 2.6.2.3. CONDICIONES DE OPERACION

Las recomendaciones para el intercambiador de calor de carcasa y tubos cuya función es la de precalentar la amina rica que entra en la regeneradora son las siguientes:

✧ En el conducto de salida del intercambiador por el que circula la amina rica, se puede producir separación de gases ácidos en el caso de que la velocidad de circulación sea baja o si, ante una baja concentración del disolvente, la carga de amina rica sea elevada. Para evitar la corrosión que estos gases ácidos provocan en el intercambiador, el haz de tubos será fabricado en acero inoxidable.

✧ Se debe mantener una presión adecuada (similar a la de operación de la columna de absorción) en el lado de los tubos para reducir la separación del gas ácido y el flujo de las dos fases a través del cambiador, ya que el flujo bifásico es la principal causa de la erosión y corrosión en el mismo.

✧ El diseño debe integrar velocidades de flujo pequeñas (0.6 a 1.0 m/s). Esto requerirá grandes costes de inversión, pero permite reducir los costes de mantenimiento.

✧ La amina rica que entra en la regeneradora debe estar como máximo a 95 °C.

✧ El incremento de temperatura de la amina rica debe ser, como mínimo, de 10 °C.

✧ La conductividad de la corriente de amina rica al entrar en el intercambiador, debe ser igual o menor de 25000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La de la amina pobre al salir del intercambiador debe ser menor o igual a 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

✧ La amina rica a la entrada del intercambiador debe contener un porcentaje en peso de H<sub>2</sub>S de 0.4% como máximo, la de amina pobre a la salida del mismo debe contener un máximo del 0.05%.

#### 2.6.2.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos básicos de diseño del equipo E-01 son los recogidos en la siguiente tabla:

	<b>Tubos</b>	<b>Carcasa</b>
<b>Fluido</b>	DEA rica	DEA pobre
<b>Temperatura de entrada (° C)</b>	43.07	115.8
<b>Temperatura de salida (° C)</b>	90	70.14
<b>Tipo de cambiador según TEMA</b>	AES	
<b>Coefficiente U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	370	
<b>Longitud de tubos (m)</b>	6	
<b>Diámetro de tubos (pulgadas)</b>	0.748	
<b>Pitch (pulgadas)</b>	0.935	
<b>Disposición de tubos</b>	Cuadrada	
<b>BWRG (pulgadas)</b>	0.082	

Con estos datos de diseño, mediante los cálculos expuestos en el anexo de cálculo del presente proyecto, se obtiene que el número de tubos del cambiador E-01 es de 1840 tubos, tubos que para este servicio estarán fabricados en acero inoxidable. El diámetro interno de la carcasa es de 49.35 pulgadas, que por causas relativas a la normalización ASTM se redondeará hasta 50 pulgadas. El número de deflectores con los que debe funcionar el equipo es de 5, serán segmentados sencillos y su disposición será vertical, debido a las características del proceso.

### **2.6.2.5. OBSERVACIONES**

Debido a que en la tabla del apartado 6.1.3.2.2 se ha incluido la designación de tipo de este cambiador por la norma TEMA, se considera necesaria la explicación de este punto.

La designación del tipo de cambiador por la normativa TEMA consiste en un conjunto de tres letras que describen, en este orden, el tipo de cabezal de distribución o entrada, el tipo de carcasa y tipo de cabezal de retorno. En este caso es de tipo AES, la letra A aparece porque el canal y la cabeza son desmontables, la letra E se debe a que la coraza es de un solo paso (se consideran dos carcasas en serie) y, por último, la S (cabezal flotante con dispositivo de apoyo) significa que si el diámetro del cabezal es mayor que el del casco y hay que desmontarlo para sacarlo.

El nombre completo con el que se designa el cambiador E-01 es (incluyendo el diámetro de la carcasa y la longitud de los tubos en pulgadas ambos): SIZE 49-237 TYPE AES.

### **2.6.3. CALDERIN O REBOILER**

El cambiador E-02 o calderín de la columna regeneradora, mantiene la temperatura del fondo en la misma, mediante la generación de vapor, el cual tiene dos funciones:

- 1) Calentar la amina alimentada a la regeneradora para así alcanzar la temperatura de la reacción que libera el  $H_2S$  atrapado por la amina.
- 2) Proporcionar un exceso de vapor (stripping) que arrastre el  $H_2S$  liberado, impidiendo que la reacción anterior alcance el equilibrio y, por tanto se siga liberando  $H_2S$ . La evaporación es, a diferencia de la destilación, un proceso controlado únicamente por el mecanismo de transmisión de calor.

La disolución de amina procedente del plato de fondo de la regeneradora, fluye por la carcasa y se concentra, alcanzando su punto de ebullición, lo que provoca que, a su vez, el vapor de calefacción condense a su paso por los tubos.

Mediante los cálculos oportunos para este cambiador, se obtiene el diseño térmico del mismo, que engloba la extracción de las dimensiones adecuadas para que este equipo cumpla correctamente las exigencias para la transferencia de calor.

### **2.6.3.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO**

El cambiador de calor E-02 es un hervidor tipo caldera (kettle) con los tubos en U en el que la ebullición tiene lugar en el lado de la carcasa. Gracias a la altura del vertedero, el haz de tubos se mantiene cubierto de DEA líquida en todo momento. Además, existe un espacio para el vapor sobre los tubos para la vaporización del líquido, aumentándose así la sección de la carcasa para la separación líquido-vapor. En circunstancias normales, el haz de tubos no debe exceder los 2/3 del diámetro de la carcasa.

El que el intercambiador E-02 tenga el haz de tubos en U, permite un fácil desmontaje del conjunto de tubos, puede manejar fluidos a elevada presión y temperatura en el lado de los tubos, absorbe libremente las expansiones térmicas y su coste es relativamente bajo. Otra ventaja que conlleva es que tiene un número reducido de juntas, lo que toma mucha importancia en aplicaciones a elevada presión ya que se reducen los costes iniciales y los de mantenimiento. Por otro lado, tiene los inconvenientes de la complicación a la hora de sustituir un tubo dañado, existe dificultad para limpiar mecánicamente el interior de los tubos y cuenta con un número de pasos limitado en el lado de los tubos.

Este intercambiador se caracteriza por la configuración del casco. El conjunto de tubos es, en realidad, una variación del de tubos en U, denominado A-U, dando lugar al tipo, según la norma TEMA, AKU. El vapor sale por la tobera superior y el líquido caliente sale por la tobera inferior.

En cuanto al tipo de distribución del flujo, este es un cambiador de flujo transversal, muy común en aplicaciones de calentamiento y enfriamiento por medio de aire o gas. En él, el vapor de calefacción condensa en el interior del haz de tubos a la temperatura de saturación a la presión del sistema, por la carcasa discurre la disolución de amina que hierve. A la disolución de amina se le considera una corriente mezclada, mientras que el vapor que va por el interior de los tubos es no mezclado. La amina se considera

mezclada porque se puede mover libremente en el cambiador a medida que se produce el intercambio de calor, mientras que el vapor se halla confinado en canales tubulares individuales, de forma que no puede mezclarse consigo mismo durante el proceso de transferencia de calor. En el vapor habrá un gradiente de temperatura tanto paralelo como normal a la dirección del flujo, mientras que en la amina mezclada, habrá una tendencia en la temperatura a igualarse en la dirección normal al flujo, como resultado del mezclado.

La utilización de estos tipos de cambiadores se ha visto en aumento desde que se crearon los limpiadores hidráulicos de tubos, que son capaces de eliminar los restos de suciedad tanto de los tramos rectos como de los curvos.

### **2.6.3.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

Al igual que para el cambiador E-01, en los siguientes apartados se muestran los datos básicos necesarios para el diseño, los cálculos térmicos del equipo y los requisitos con que cuenta el calderín de la regeneradora.

### **2.6.3.3. CONDICIONES DE OPERACION**

Las principales sugerencias para el intercambiador de calor de carcasa y tubos cuya función es la de generación de vapor en la regeneradora se enumeran a continuación:

- ✧ El calor de entrada en el calderín debe regularse para alcanzar una temperatura en la cabeza de la regeneradora de unos 194 a 230 °F (90 a 110 °C), en este caso para la aplicación de la que se trata y la cantidad de reflujo deseada, es de 93.4 °C. Esto es porque con el propósito de asegurar una separación adecuada y a la vez optimizar el consumo de energía, se debe establecer el control del calor que ingresa en el calderín mediante el monitoreo de la temperatura en la cabeza del regenerador. La temperatura de cabeza está relacionada directamente con la entrada de energía en el calderín. La temperatura en el calderín no se ve afectada por la cantidad de vapor generado en el mismo, ya que el punto de ebullición de la disolución de amina sólo depende de la concentración de la amina y de la

presión en el calderín. Por ello, la temperatura del calderín es una variable no controlada.

- ✧ La amina rica caliente corroe los tubos de acero al carbono. Para minimizar la corrosión, los tubos serán de acero inoxidable y debe asegurarse que no llega al hervidor amina sin regenerar.
- ✧ El caudal de reflujo estará entre el 10 y 30% del caudal de vapor que llega al calderín. Se debe mantener un caudal de reflujo suficiente para evitar la corrosión en los tubos del calderín.
- ✧ El nivel de condensado en el cabezal del calderín estará por debajo de la fila de tubos inferior.
- ✧ El vapor se comprobará que esté desrecalentado, con lo que los tubos estarán más fríos, lo cual disminuye la corrosión y la generación de partículas.
- ✧ La temperatura típica en los tubos es de 150 °C, siendo la máxima de 160 °C por cuestiones de seguridad. En el E-02 el vapor está a 147.5 °C, aunque la pared de los tubos, por observaciones relacionadas con la capa límite, será algo más baja.
- ✧ La temperatura máxima de los tubos por el lado de la DEA es de 130 °C, pues de otro modo se produce la descomposición térmica de dicha amina. En el E-02 la amina está a unos 115 °C, la pared de los tubos está a una temperatura mucho más baja debido a que el líquido la refrigera al hervir.
- ✧ La relación entre el caudal de vapor y el de la amina debe estar entre 0.1 y 0.2.

### 2.6.3.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos básicos del diseño térmico del equipo E-02 vienen recogidos en la siguiente tabla:

	<b>Tubos</b>	<b>Carcasa</b>
<b>Fluido</b>	Vapor saturado	DEA rica
<b>Temperatura de entrada (° C)</b>	147.5	115.5
<b>Temperatura de salida (° C)</b>	147.5	115.5
<b>Tipo de cambiador según TEMA</b>	AKU	
<b>Coefficiente U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	860	
<b>Longitud de tubos (m)</b>	6	
<b>Diámetro de tubos (pulgadas)</b>	0.748	
<b>Pitch (pulgadas)</b>	0.935	
<b>Disposición de tubos</b>	Cuadrada	
<b>BWRG (pulgadas)</b>	0.082	

Con los datos anteriores y los cálculos que se muestran en el anexo de cálculo referente a este cambiador, se obtienen los resultados del diseño térmico de este equipo. En él, se tiene que el número de tubos es de 3337 tubos, que para evitar la corrosión, se instalan de acero inoxidable. El diámetro externo del calderín es de 83 pulgadas, ya redondeado, y el diámetro interno de la carcasa, de 65 pulgadas.

### 2.6.3.5. OBSERVACIONES

La designación de este cambiador por la normativa TEMA es el de AKU, la letra A porque el canal y la cabeza son desmontables, la letra K se debe a que la coraza es de tipo kettle (caldera) y, por último, la U significa que el haz de tubos es en forma de U, siendo así el tipo más económico, aunque para su mantenimiento se necesite una gran variedad de tubos en stock.

El nombre completo con el que se designa el cambiador E-02 es (incluyendo el diámetro de la carcasa y la longitud de los tubos en pulgadas ambos): SIZE 65-237 TYPE AES.

#### **2.6.4. CONDENSADOR DE CABEZA DE LA COLUMNA REGENERADORA**

El enfriador E-03, tiene la misión de condensar el producto gaseoso ya separado procedente de la cabeza de la columna regeneradora, consistente en un producto formado principalmente por  $H_2S$  y vapor de agua, y que luego pasa al botellón de reflujo de dicha columna.

Para el servicio al que está destinado, el E-03 se diseña como un intercambiador de calor de carcasa y tubos refrigerado por agua, aunque se debe especificar que debido a que el salto de temperatura requerido no es muy alto, también se podría haber diseñado como un aerefrigerador, es decir, un tipo de intercambiador que basa su funcionamiento en el mecanismo de convección forzada, consistente en tubos con aletas por fuera de los que circula aire como medio de refrigeración.

No obstante, la selección de un intercambiador enfriado por agua frente a uno enfriado por aire es una cuestión meramente económica, en la que hay que considerar los gastos de enfriamiento del agua, potencia de los ventiladores y la temperatura de salida del fluido (un intercambiador de aire, tiene una diferencia de temperatura en el aire de unos  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Con agua se obtienen diferencias menores, y puesto que en este cambiador la diferencia es de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se considera completamente factible la utilización de un cambiador de carcasa y tubos.

Para una correcta transferencia de calor, por este equipo circulará el agua de refrigeración por los tubos, mientras que la mezcla de gases a enfriar fluirá por la carcasa de manera que rodea por completo a dichos tubos para así conseguir una mayor eficacia. Los vapores ácidos, una vez condensados a lo largo del intercambiador, salen como líquido subenfriado.

El diseño térmico del condensador E-03, se asemejará más al del E-01 que al del E-02, ya que en él las dos corrientes cambian de temperatura aunque exista cambio de fase por parte de los vapores. Esto se debe a que la temperatura de condensación no es constante debido q que no se trata de condensar una sustancia pura, sino una mezcla de gases.

#### **2.6.4.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO**

El condensador E-03 es un cambiador de un paso, ya que no se necesita un coeficiente global de transmisión elevado para el servicio que lleva a cabo, pues no es necesario un salto térmico elevado. Es así este, un cambiador sencillo y de pequeño tamaño, aunque con un número de deflectores elevado (exactamente cuenta con 14) para aumentar el recorrido de intercambio entre vapores y agua de refrigeración, así como para inducir la turbulencia y aumentar la velocidad media.

El flujo es cruzado en un solo paso, pues la mezcla de gases se desplaza dentro del intercambiador perpendicularmente a la trayectoria del agua, por lo que el coeficiente F afecta a la caída media de temperatura, pero su valor, dado que hay cambio de fase en el sistema, es de 1.

En cuanto al tipo de cabezal que lo constituye, es de tipo flotante, o sea, estará compuesto por una tapa que se fija al espejo flotante por medio de pernos y un anillo dividido, teniendo como función enviar el fluido fuera del cambiador dado que este cuenta con un solo paso por el lado tubos.

Este tipo de cabezal tiene múltiples ventajas entre las que están sus amplias facilidades de inspección, mantenimiento y reparación, la eliminación de problemas de expansión diferencial por efectos térmicos entre tubos y coraza mediante su libre desplazamiento. Por otro lado, también cuenta con varias desventajas como es el mayor costo de fabricación que los demás tipos y un número considerable de juntas empacadas que lo hacen menos recomendable para el manejo de fluidos tóxicos o peligrosos.

#### **2.6.4.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

Tal y como se ha hecho para los demás cambiadores de este proyecto, a continuación se exponen los datos básicos necesarios para el diseño, los resultados de los cálculos térmicos del equipo y los requisitos con que cuenta el cambiador que se trata.

### 2.6.4.3. CONDICIONES DE OPERACION

Las principales indicaciones para el intercambiador de calor de carcasa y tubos cuya función es la de condensar los gases de cabeza de la regeneradora, se expresan a continuación:

- ✧ La temperatura de entrada de la mezcla de gases proveniente de la cabeza de la columna regeneradora estará entre los 90 y 110 °C.
- ✧ El condensador constituye un punto de la planta de regeneración de aminas donde se puede apreciar si la amina está sucia. Parte de la amina rica, a su entrada en el regenerador, es arrastrada por el vapor, pasando al condensador. Las partículas se acumulan de esta manera en el condensador, empeorando la transferencia y detectándose por un aumento de la temperatura del reflujo.
- ✧ En cuanto al material de los tubos, su superficie estará fabricada en acero al carbono, al igual que la carcasa de este equipo.

### 2.6.4.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos necesarios para el diseño térmico del condensador de cabeza de la regeneradora E-03 son los siguientes:

	<b>Tubos</b>	<b>Carcasa</b>
<b>Fluido</b>	Agua de refrigeración	Vapores ácidos
<b>Temperatura de entrada (° C)</b>	30	93.37
<b>Temperatura de salida (° C)</b>	40	46
<b>Tipo de cambiador según TEMA</b>	AES	
<b>Coefficiente U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	570	
<b>Longitud de tubos (m)</b>	6	
<b>Diámetro de tubos (pulgadas)</b>	0.748	
<b>Pitch (pulgadas)</b>	0.935	
<b>Disposición de tubos</b>	Cuadrada	
<b>BWRG (pulgadas)</b>	0.082	

Utilizando los datos anteriores y por medio de los cálculos detallados en el anexo de cálculo referente a este cambiador, se obtienen los resultados para el diseño térmico de este equipo. En él, se calcula que el número de tubos es de 225 tubos, que para cubrir las necesidades de este servicio, se instalan de acero al carbono. El diámetro interno de la carcasa del condensador que se halla es de 17.8 pulgadas, valor que según la norma ASTM se redondea hasta las 18 pulgadas. El número de deflectores requerido es de 14, los cuales serán segmentados sencillos y con disposición vertical.

#### **2.6.4.5. OBSERVACIONES**

En la tabla anterior se especificó que el tipo según la norma TEMA del intercambiador E-03 es el de AES. Esto significa que se trata de un intercambiador con el canal y la cabeza desmontables, con carcasa de un solo paso y con cabezal desmontable, característica necesaria debido a que su diámetro es mayor que el del casco.

El nombre completo con el que se designa el cambiador E-03 es (incluyendo el diámetro de la carcasa y la longitud de los tubos en pulgadas ambos): SIZE 18-237 TYPE AES.

#### **2.6.5. ENFRIADOR DE AMINA POBRE**

El cambiador E-04, tiene la función de enfriar la amina pobre procedente del intercambiador E-01, para que luego una porción de esta amina, libre de H<sub>2</sub>S y fría, pase por el filtro de carbono F-02 donde se eliminan las partículas que contiene en suspensión para, finalmente, ser almacenada en el tanque de amina pobre T-01.

En él, por el interior de los tubos fluye el agua de refrigeración que hace posible el enfriamiento de la corriente de amina pobre que discurre por la carcasa.

El cálculo térmico referente a este cambiador se explica en el anexo de cálculo del presente proyecto. En él, los cálculos son análogos a los realizados para el precalentador de amina rica, salvo la diferencia de que en el E-04 la finalidad es enfriar un fluido y en aquél era calentar una corriente.

### **2.6.5.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO**

El enfriador de amina pobre es un cambiador de carcasa y tubos, consistente en dos carcasas dispuestas en serie en las que el fluido recorre 4 veces los tubos desde un extremo al otro para hacer posible la transferencia de calor necesaria. El flujo de los fluidos en su interior es similar al del cambiador E-01, y las explicaciones relativas al mismo se encuentran detalladas en el apartado 6.1.3.1.

El coeficiente de corrección de la caída media de temperatura  $F$ , tiene un valor de 0.95, debido a que el flujo en su interior es combinación del flujo paralelo y en contracorriente.

El cabezal es de tipo flotante para poder sacarlo cuando haya que reparar el cambiador o llevar a cabo alguna operación relacionada con el mantenimiento que así lo requiera. Tiene como función principal la de retornar el fluido que circula por el interior de los tubos hacia el cabezal de distribución, siendo éste último el elemento similar a la coraza, cuya función es recibir el fluido que ha de circular por el interior de los tubos, distribuirlo y recolectarlo para mandarlo fuera de los mismos.

### **2.6.5.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

A continuación en los subsiguientes apartados, se describen las principales condiciones de operación con que debe contar este cambiador, así como los principales datos de diseño necesarios para los cálculos térmicos del E-04 y, por último, las observaciones referidas principalmente a la designación de tipo y nomenclatura del equipo según la norma TEMA.

### **2.6.5.3. CONDICIONES DE OPERACION**

Las principales indicaciones para el intercambiador de calor de carcasa y tubos cuya función es la de enfriar la amina pobre que pasa a los filtros, se expresan a continuación:

- ✧ La temperatura de la amina pobre debe ser 6 °C superior a la del punto de rocío del gas dulce. Si la amina está más fría, condensarán hidrocarburos y formarán espuma. La amina fría (por debajo de 21 °C) tiende a formar espuma por ella misma.
- ✧ La conductividad de la disolución de amina pobre debe ser de un valor  $\leq 5000$   $\mu\text{S/cm}$ .

#### 2.6.5.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos necesarios para el diseño térmico del enfriador de amina pobre E-04 son los de la siguiente tabla:

	<b>Tubos</b>	<b>Carcasa</b>
<b>Fluido</b>	Agua de refrigeración	Amina regenerada
<b>Temperatura de entrada (° C)</b>	30	70.32
<b>Temperatura de salida (° C)</b>	40	40
<b>Tipo de cambiador según TEMA</b>	AES	
<b>Coefficiente U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	680	
<b>Longitud de tubos (m)</b>	6	
<b>Diámetro de tubos (pulgadas)</b>	0.748	
<b>Pitch (pulgadas)</b>	0.935	
<b>Disposición de tubos</b>	Cuadrada	
<b>BWRG (pulgadas)</b>	0.082	

Con estos datos de diseño, mediante los cálculos expuestos en el anexo de cálculo del presente proyecto, se obtiene que el número de tubos del cambiador E-04 es de 818 tubos, tubos que para este servicio estarán fabricados en acero al carbono debido a que la amina que circula por su exterior es amina fría. El diámetro interno de la carcasa es de 33.25 pulgadas, que por causas relativas a la normalización ASTM se redondeará hasta 34 pulgadas. El número de deflectores con los que debe funcionar el equipo es de 8, serán segmentados sencillos y su disposición será vertical, debido a las características del cambiador.

### **2.6.5.5. OBSERVACIONES**

En la tabla anterior se especificó que el tipo según la norma TEMA del intercambiador E-04 es el de AES. Esto significa que se trata de un intercambiador con el canal y la cabeza desmontables, con carcasa de un solo paso y con cabezal desmontable, característica necesaria debido a que su diámetro es mayor que el del casco.

El nombre completo con el que se designa el cambiador E-04 es (incluyendo el diámetro de la carcasa y la longitud de los tubos en pulgadas ambos): SIZE 34-237 TYPE AES.

### **2.7. DEPOSITOS DE ALMACENAMIENTO**

La clasificación más comúnmente aplicada a los depósitos de almacenamiento es según tengan componentes internos o no. Las principales funciones dentro de los del primer grupo, denominados botellones o tanques, son la de almacenamiento intermedio o amortiguadores de una corriente de proceso durante un periodo limitado o extenso o para provocar la separación de fases mediante sedimentación.

La diferencia entre un botellón y un tanque radica en el tamaño y no es muy grande. Normalmente son recipientes cilíndricos con terminaciones planas o curvas, dependiendo de la presión, y de si es horizontal o vertical.

En los procesos continuos como este, los botellones tienen un tiempo de retención de pocos minutos. Están localizados entre dos equipos principales o cerca de la alimentación (caso del botellón de carga V-01) o donde hay acumulación de producto (como el botellón de reflujo V-02). Los botellones situados entre dos equipos principales proporcionan una medida estabilizadora de todas aquellas fluctuaciones que no se transmiten a través de una cadena, incluidas aquellas que son características de instrumentos de control con una sensibilidad normal. Un ejemplo de esto se tiene con el botellón de reflujo el cual proporciona la amortiguación necesaria entre el condensador de cabeza de a regeneradora y la propia columna, así como hacia el resto de equipos que se encuentran aguas abajo.

## 2.7.1. BOTELLON DE REFLUJO

Una vez que el producto gaseoso de cabeza de columna ha sido refrigerado en el E-03, llega a este botellón en el que se separan los gases ácidos (H<sub>2</sub>S principalmente) del agua, la cual es impulsada por la bomba B-03 hacia el regenerador, devolviéndola y actuando así de reflujo, al mismo tiempo que se repone agua en el regenerador.

### 2.7.1.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO

El botellón V-02 o botellón de reflujo, es un recipiente de proceso sometido a presión sin componentes internos, que funciona con una corriente intermedia del proceso consistente en agua ácida que se devuelve a la columna regeneradora en forma de corriente de reflujo.

Su disposición es horizontal y su forma cilíndrica. Está constituido por una carcasa cilíndrica con los cabezales soldados. Dado que su diámetro es mayor de 600 mm (es de 975 mm) se construye con chapa soldada y arrollada.

En cuanto a los materiales de construcción y los pesos, son los siguientes:

<b>MATERIALES</b>	
Cuerpo	A-516-60
Fondos	A-516-60
Soportes	A-283 Gr. C
Bridas	A-105
Tubos	A-106 Gr. B
<b>PESOS</b>	
Vacío	1850 Kg
Operación	3400 Kg
Prueba hidrostática	4120 Kg

El cuerpo y los fondos estarán fabricados en acero inoxidable mientras que el resto de elementos lo estarán en acero al carbono.

### 2.7.1.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

En cuanto a las condiciones de operación, las consideraciones principales de este equipo son las siguientes:

- El valor típico para la temperatura en el botellón de reflujo estará entre 40 y 60 °C.
- El contenido de las corrientes que llegan a él contienen menos del 2% en peso de NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S.
- La conductividad del agua de reflujo no debe superar los 50000 μS/cm.
- La relación mínima de reflujo expresada en moles de H<sub>2</sub>O por mol de gas ácido, estará entre 1 y 3.
- El caudal de reflujo mínimo debe ser del 10% del valor del caudal de vapor, encontrándose su valor típico entre el 10 y el 30% del caudal de vapor.

Los datos básicos de diseño del botellón de reflujo V-02 son los que refleja la siguiente tabla:

<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>	
Capacidad geométrica (m <sup>3</sup> )	1.83
Fluido contenido	Gas ácido de amina/agua
Presión de cálculo (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.55
Temperatura de cálculo (°C)	130
Presión de operación (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.55
Temperatura de operación (°C)	47
<b>EFICIENCIA DE SOLDADURA</b>	
Envolvente (%)	85
Fondos (%)	100
Sobreespesor de corrosión (mm)	6.0

Se define un sobreespesor de corrosión de 6 mm debido a que el botellón de reflujo es un equipo que estará sometido a corrosión ya que por su interior circularán gases ácidos que provocarán la pérdida de espesor. Dicho sobreespesor es la pérdida de espesor esperado a lo largo de la vida útil del equipo, siendo en este caso particular igual para las diferentes partes del botellón. Esta estimación está fundamentada en la experiencia con equipos similares.

Asimismo, se define la eficiencia de soldadura o de junta, que en los fondos conllevará un radiografiado total el cual en el cuerpo será por puntos.

### **2.7.1.3. DISEÑO HIDRAULICO**

Con el diseño hidráulico del equipo se pretende dimensionarlo, obteniéndose tanto el diámetro como la longitud del recipiente, datos necesarios para posteriormente llevar a cabo el cálculo mecánico del equipo.

En el anexo de cálculo de esta memoria aparece el cálculo detallado de dichos parámetros, partiendo de varios datos obtenidos de la simulación en HYSYS, de simplificaciones realizadas por Souders-Brown y de un método iterativo de cálculo se tiene finalmente que el diámetro del botellón V-02 es de 0.975 m y que su longitud es de 2.453 m, resultando tener este recipiente un volumen de 1.83 m<sup>3</sup>.

Asimismo, el recipiente está caracterizado por un tiempo de retención (holdup) de 10 minutos y una relación L/D de 2.5.

### **2.7.1.4. DISEÑO MECANICO**

El diseño mecánico complementa al dimensionado del equipo, de cara a la posterior fabricación del mismo y obteniendo principalmente el espesor de las paredes. El código que se aplica a estos recipientes de proceso es el ASME en su Sección VIII División 1, al estar por debajo de los 3000 psig y por encima de los 15 psig de presión.

### **2.7.1.5. ENVOLVENTE Y FONDOS**

Este botellón está conformado por una carcasa cilíndrica y dos fondos toriesféricos. Para el dimensionado de estos elementos se han utilizado las fórmulas proporcionadas por el código ASME en las tablas correspondientes, también figuran las relaciones entre los principales parámetros de diseño.

El tipo de tapa más recomendable para las condiciones de operación de este botellón y por su coste monetario es el de tipo toriesférico Koppler. Fondos que se construyen a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada. El espesor obtenido para dichas tapas es de 11 mm.

Para el cuerpo del recipiente, una vez hechos los cálculos correspondientes se obtiene que el espesor final de la envolvente tiene un valor de 11 mm.

### **2.7.1.6. SOPORTES**

Desde los puntos de vista estático y económico, es preferible el uso de dos silletas en lugar de contar con un sistema de varios soportes. Las silletas se situarán en los puntos estáticamente óptimos. Para el botellón de reflujos, es mejor soportarlo en donde el esfuerzo a flexión máximo longitudinal sobre las silletas, sea igual al esfuerzo sobre la mitad del claro, punto que a su vez varía con el ángulo de contacto de las silletas.

El ángulo subtendido por el nivel de líquido  $\theta$  es de  $160^\circ$  según lo sugerido en el Código ASME.

### **2.7.1.7. PRUEBAS**

Este aparato será sometido a un conjunto de pruebas hidráulicas, el cual consta de una prueba de presión en el taller de fabricación, una prueba inicial en el lugar de emplazamiento y a pruebas periódicas cada tiempo que le corresponda. Estas pruebas son las mínimas que exigen el R.A.P. e I.T.C. MIE-AP-6.

Cuando en estas inspecciones se descubriesen corrosiones o daños, se deberá seguir su evolución mediante las inspecciones del usuario en las paradas de la instalación para decidir, a la vista de la corrosión y del estado del aparato, si procede realizar una reparación.

## PRUEBA EN EL TALLER DEL FABRICANTE

Esta prueba de presión se realizará con el recipiente en su posición de fabricación, si no es posible realizarla en su posición de operación, estará de acuerdo con el código ASME Secc. VIII, Div. 1 y con el Reglamento de Aparatos a Presión y con su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6. La presión de prueba tendrá el valor que indique la siguiente expresión:

$$Ph = 1,5 \cdot Pd \cdot \frac{Sh}{Sd} \cdot \frac{t}{t-c}; \text{ con } \frac{t}{t-c} \leq 1,2$$

Donde:

- Pd = Presión de diseño = 3.55 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Sh = Tensión admisible a la temperatura de prueba = 20.000 psi = 1406 Kg/cm<sup>2</sup>
- Sd = Tensión admisible a la temperatura de diseño = 18.800 psi = 1322 Kg/cm<sup>2</sup>
- t = Espesor total en el recipiente = 16 mm
- c = Sobreespesor de corrosión = 6 mm

$$Ph = 1,5 \cdot Pd \cdot \frac{Sh}{Sd} \cdot \frac{t}{t-c} = 6,8 \text{ Kg / cm}^2$$

La tensión del material en cualquier sección del recipiente durante la prueba hidrostática no será superior en ningún momento al 90% del límite elástico del material.

La prueba de presión se realizará con agua dulce y limpia. La temperatura del agua durante la prueba será normalmente la ambiente, no debiendo ser inferior a 10 °C, ni superior a 50 °C. La temperatura del metal no será inferior a los 10 °C.

Los manómetros para la prueba estarán debidamente contrastados y con la sensibilidad adecuada. Asimismo, se comprobará que la bomba para las pruebas es la correcta y que las conexiones son las indicadas para las presiones a las que se van a someter; así como que se han dispuesto las medidas de seguridad apropiadas para no sobrepasar la presión de prueba, ni estar por debajo de la temperatura indicada.

Durante el llenado se venteará bien el equipo para evitar que se queden cámaras de aire, y luego, la presión de prueba se mantendrá una hora como mínimo.

### PRUEBA INICIAL EN EL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO

El aparato será sometido a una prueba de presión en el lugar de emplazamiento, la cual se realizará con el recipiente en su posición de operación y de acuerdo con ASME Secc. VIII, Div.1, con el Reglamento de Aparatos a Presión y su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6.

### PRUEBAS PERIÓDICAS

Las pruebas periódicas y a quien corresponde efectuar y certificar su realización, estarán de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión y su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6, anexo A.3 bis.

Según este anexo, este recipiente es de categoría II, ya que los fluidos que circulan por el botellón están englobados dentro de los del grupo B y según su potencial de riesgo el recipiente es del grupo 2. Por ello la periodicidad de las pruebas a realizarle será:

- Inspección exterior: Cada 4 años por un Inspector propio.
- Inspección interior: Cada 8 años por una Entidad colaboradora (E.C.)
- Prueba de presión: Cada 8 años por una E.C.

El valor de la prueba de presión será de:

$$P_v = 1,25 \cdot P_d \cdot \frac{S_p}{S_d}$$

Siendo:

- $P_d$  = Presión de diseño = 3,55 Kg/cm<sup>2</sup>
- $S_p$  = Tensión admisible del material a la temperatura de prueba = 1406 Kg/cm<sup>2</sup>
- $S_d$  = Tensión admisible del material a la temperatura de diseño = 1322 Kg/cm<sup>2</sup>

$$P_v = 1,25 \cdot P_d \cdot \frac{S_p}{S_d} = 4,72 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

## **2.7.2. SEPARADOR DE HIDROCARBURO**

La amina rica se recibe de los límites de batería a 43 °C y 1.5 bar en el botellón de carga o separador de hidrocarburo V-01. Este botellón está diseñado para separar cualquier hidrocarburo pesado el cual forma una fase líquida separada la cual se envía al sistema de residuos de aceites mediante la bomba B-04. Además, los hidrocarburos ligeros se envían hacia la antorcha de gases ácidos.

### **2.7.2.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO**

El botellón de carga de amina rica está diseñado para separar los hidrocarburos solubles de la disolución de amina y debe operar a la menor presión posible con el fin de maximizar la eliminación de hidrocarburos. Dicha eliminación de hidrocarburos reduce el potencial de espumación de la disolución de amina. Debido a que el separador opera a una presión menor de 50 psig (345 KPa) se requiere de una bomba de amina rica (B-01) para bombearla a través del cambiador de amina rica/pobre hacia el regenerador. El botellón de carga es necesario en todo proceso de aplicación de tratamiento de gas de refinería y debe ser firmemente considerado en aplicaciones donde haya presencia de una cantidad considerable de hidrocarburo debido a condensación o al desgaste de tuberías. El botellón de carga debe contar con la instrumentación adecuada y con medidores de nivel para permitir a los operarios hacer comprobaciones periódicas por si existiera una capa de hidrocarburo flotando en la disolución de amina.

Para tratar la amina que contiene gas a alta presión, el botellón de carga se instalar en el circuito de la unidad de amina rica entre la columna absorbidora y el cambiador para minimizar la desgasificación de la disolución cuando pasa a través de cambiadores y para evitar tener un exceso de hidrocarburo en el gas ácido.

Una proporción de los gases ácidos presentes en la amina se separan en el botellón separador al mismo tiempo que los hidrocarburos. Una vez purificado (limpio), el hidrocarburo gas abandona el botellón separador y se quema en las antorchas.

El botellón V-01 o botellón de carga, es un recipiente de proceso sometido a presión que no contiene componentes internos, que funciona con una corriente intermedia del proceso consistente en amina rica que llega a la unidad de amina en forma de alimentación.

Está dispuesto horizontalmente y su carcasa cilíndrica tiene los cabezales soldados. Dado que su diámetro es mayor de 600 mm (es de 2.64 m) se construye con chapa soldada y arrollada. Sus dimensiones son mayores que las del botellón V-02 puesto que a él llega la corriente de alimentación de la planta, realizando la función de amortiguador de las fluctuaciones de flujo que se producen.

En cuanto a los materiales de construcción y los pesos, son los siguientes:

<b>MATERIALES</b>	
Cuerpo	A-516-60
Fondos	A-516-60
Soportes	A-283 Gr. C
Bridas	A-105
Tubos	A-106 Gr. B
<b>PESOS</b>	
Vacío	18600 Kg
Operación	59700 Kg
Prueba hidrostática	91850 Kg

El cuerpo y los fondos estarán fabricados en acero inoxidable ya que son los elementos del recipiente que estarán en contacto directo con la amina cargada de gas ácido, mientras que el resto de elementos lo estarán en acero al carbono.

### **2.7.2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

En lo referente a las recomendaciones de operación de este botellón separador, las principales observaciones son las siguientes:

- El rango normal de presión en el que opera este tanque oscila entre los 5 psig hasta los 75 psig (de 34 a 517 KPa), dependiendo de la ubicación del respiradero. En este caso la presión de operación es de 21.75 psig.
- Es recomendable un diseño que contemple un tiempo de residencia mínimo de 20 minutos basado en la operación del tanque a media carga.
- La válvula de control del separador debe instalarse aguas abajo del cambiador de amina rica/pobre, preferiblemente tan cerca como sea posible de la entrada del regenerador.
- Parte de la carga de H<sub>2</sub>S de la amina debe ser capturada bajo presión en el separador para minimizar la liberación de H<sub>2</sub>S en el cambiador y el riesgo de corrosión.

Los datos básicos de diseño del botellón de carga V-01 son los que refleja la siguiente tabla:

<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>	
Capacidad geométrica (m <sup>3</sup> )	72.44
Fluido contenido	Amina rica
Presión de cálculo (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.55
Temperatura de cálculo (°C)	130
Presión de operación (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.5
Temperatura de operación (°C)	43
<b>EFICIENCIA DE SOLDADURA</b>	
Envolvente (%)	85
Fondos (%)	100
Sobreespesor de corrosión (mm)	6.0

Se define un sobreespesor de corrosión de 6 mm debido a que el botellón de carga es un equipo sometido a corrosión ya que por su interior circula la amina rica cargada de gases ácidos que provocarán con el tiempo la pérdida de espesor. Dicho margen de corrosión se define como la pérdida de espesor esperado a lo largo de la vida útil del equipo, siendo en este caso particular igual para las diferentes partes del botellón. Esta estimación está fundamentada en la experiencia con equipos similares en aplicaciones parecidas.

Asimismo, se define la eficiencia de soldadura, que en los fondos conllevará un radiografiado total y que en el cuerpo será por puntos.

### **2.7.2.3. DISEÑO HIDRAULICO**

Con el diseño hidráulico del equipo se pretende dimensionarlo, obteniéndose tanto el diámetro como la longitud del recipiente, datos necesarios para posteriormente llevar a cabo el cálculo mecánico del equipo.

En el anexo de cálculo de esta memoria aparece el cálculo paso a paso, partiendo de los caudales y densidades de las fases obtenidos de la simulación en HYSYS, respetando los criterios de diseño en decantadores y siguiendo el método de cálculo basado en la velocidad de separación se llega a que el diámetro del recipiente es de 2.64 m y que su longitud es de 13.234 m.

Los criterios anteriormente mencionados para el correcto diseño hidráulico son:

- 1) El líquido esté contenido en su interior al menos durante 20 minutos. En la mayoría de los decantadores este tiempo es suficiente para lograr una buena separación entre las fases líquidas.
- 2) La relación geométrica L/D sea de 5, pues para decantadores conviene que el líquido tenga que recorrer grandes longitudes para aumentar el tiempo de separación entre las fases líquidas (hidrocarburos y agua).
- 3) El área de paso para el líquido sea el 90% de la total. En estos recipientes la fase vapor, producida al reducirse la presión de la amina rica, es de poca magnitud.

### **2.7.2.4. DISEÑO MECANICO**

El diseño mecánico complementa el diseño hidráulico del equipo, de cara a la posterior fabricación del mismo y obteniéndose el espesor de sus partes componentes. El código aplicado es el ASME en su Sección VIII División 1.

### **2.7.2.5. ENVOLVENTE Y FONDOS**

Este botellón está compuesto por una virola cilíndrica y dos fondos toriesféricos tipo Korbboogen. Para el dimensionado de estos elementos se han utilizado las fórmulas proporcionadas por el código ASME en las tablas correspondientes, también figuran las

relaciones entre los principales parámetros de diseño. El espesor mínimo obtenido para las tapas es de 11 mm y para la carcasa de 16 mm.

El diseño del botellón de carga debe incorporar un sistema de deflectores internos que permitan la retirada rutinaria del hidrocarburo acumulado. El tamaño y el sistema de dichos deflectores internos dependen de la corriente continua de hidrocarburo líquido presente en el sistema. Se pueden eliminar dichos deflectores si existe algún equipo que realice específicamente la operación de espumación que se puede utilizar a su vez para eliminar en parte la capa de hidrocarburo que se forma. Dependiendo de la composición de la amina rica esto puede ser factible. En este caso es posible al contar el sistema con los filtros para la espumación y debido a la cantidad de hidrocarburo que contiene la amina rica.

#### **2.7.2.6. SOPORTES**

Para este equipo horizontal de grandes dimensiones, se tiene presente el efecto de los mismos cuando se encuentran soportados por dos cunas. Para que el equipo trabaje mejor en estas condiciones, se deben dimensionar dichos soportes de acuerdo con los siguientes requisitos:

- Cada soporte está ubicado a 850 mm de la línea de tangencia de las virolas.
- El ángulo que abarca el soporte respecto al recipiente es de 160°.

#### **2.7.2.7. PRUEBAS**

Este aparato, al igual que el botellón de reflujo de la unidad, será sometido a un conjunto de pruebas hidráulicas mínimas que requiere el R.A.P. y la I.T.C. MIE-AP-6, que en resumen son las siguientes:

- Prueba en el taller del fabricante.
- Prueba inicial en el lugar de emplazamiento.
- Pruebas periódicas.

Siempre que durante estas inspecciones se descubran corrosiones o daños, se deberá seguir su evolución mediante las inspecciones del usuario en las paradas de la instalación para decidir, a la vista de la corrosión y del estado del aparato, si procede realizar una reparación.

La presión a la que se realizará la prueba en el taller del fabricante con el recipiente en su posición de fabricación será de:

$$Ph = 1,5 \cdot Pd \cdot \frac{Sh}{Sd} \cdot \frac{t}{t-c}; \text{ con } \frac{t}{t-c} \leq 1,2$$

$$Ph = 7 \text{ Kg/cm}^2$$

Las consideraciones para esta prueba son las mismas que las indicadas anteriormente para el botellón de reflujo en el apartado 7.1.4.3. del presente documento.

El aparato será sometido a una prueba de presión en el lugar de emplazamiento, la cual se realizará con el recipiente en su posición de operación y de acuerdo con ASME Secc. VIII, Div.1, con el Reglamento de Aparatos a Presión y su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6.

Las pruebas periódicas y a quien corresponde efectuar y certificar su realización, estarán de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión y su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-6, anexo A.3 bis.

Según este anexo, la periodicidad de las pruebas a realizarle será:

- Inspección exterior: Cada 4 años por un Inspector propio.
- Inspección interior: Cada 8 años por una Entidad colaboradora (E.C.)
- Prueba de presión: Cada 8 años por una E.C.

El valor de la prueba de presión será de:

$$Pv = 1,25 \cdot Pd \cdot \frac{Sp}{Sd}$$

$$P_v = 1,25 \cdot P_d \cdot \frac{S_p}{S_d} = 4,72 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Mismo valor que para el caso del botellón de reflujo.

## 2.8. SISTEMA DE TUBERÍAS

El sistema de tuberías se compone de tres elementos principales:

- Las tuberías.
- Los elementos destinados al control automático o a regular el flujo, siendo los más importantes las válvulas.
- Los accesorios (codos, bridas, reducciones,...).

Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variable. Se dividen en tuberías y tubos, la diferencia entre ambos elementos es que las tuberías tienen unas dimensiones normalizadas y los tubos son los no fabricados en tamaños estándar.

Las válvulas pueden clasificarse en válvulas de corte (compuerta, globo, bola, tapón y diafragma), antiretorno (de bola, oscilante o de pistón), de conmutación (de tres vías), de control (mariposa o automática) y de seguridad (disco de ruptura). Todas ellas inducen una pérdida de carga en la tubería que es posible estimar, al igual que ocurre con los diferentes accesorios con los que puede contar cada tubería del sistema.

### 2.8.1. TUBERIAS PRINCIPALES DE LA UNIDAD

El estándar de tubería que se sigue en este proyecto es el código de tuberías a presión ANSI B.31, que describe los mínimos requerimientos de diseño para las instalaciones de proceso y establece criterios para seleccionar parámetros físicos implicados en el análisis del sistema.

Las principales líneas de esta unidad junto con sus características se muestran en el siguiente cuadro-resumen:

Línea	Fluido	Recorrido de la línea		Especificación Material	Ø	Schedule
		DE	A			
AMP-1	Amina pobre	C-01	B-02	ASTM A-106 Gr. B	10"	30
AMP-2	Amina pobre	B-02	E-01	ASTM A-106 Gr. B	10"	40
AMP-3	Amina pobre	E-01	E-04	ASTM A-106 Gr. B	10"	40
AMP-4	Amina pobre	E-04	F-02	ASTM A-106 Gr. B	10"	40
AMP-5	Amina pobre	BYPASS F-02	F-02	ASTM A-106 Gr. B	6"	40
AMP-6	Amina pobre	C-01	E-02	ASTM A-106 Gr. B	8"	40
AMP-7	Amina pobre	E-02	C-01	ASTM A-106 Gr. B	22"	20
AMP-8	Amina pobre	E-02	C-01	ASTM A-106 Gr. B	1 1/4"	160
AMP-9	Amina pura	DEA PURA	V-01	ASTM A-106 Gr. B	2"	160
AMR-1	Amina rica	V-01	B-01	ASTM A-106 Gr. B	10"	30
AMR-2	Amina rica	F-01	E-01	ASTM A-106 Gr. B	10"	40
AMR-3	Amina rica	E-01	C-01	ASTM A-106 Gr. B	10"	40
AMR-4	Amina rica	DRENAJES	V-01	ASTM A-106 Gr. B	2"	160
AMR-5	Amina rica	DEA RICA	V-01	ASTM A-312 TP 316L	10"	30
CB-1	Condensado baja	E-02	RETORNO DE CONDENSADO	ASTM A-106 Gr. B	6"	40
CB-2	Condensado baja	CONDENSADO	V-01	ASTM A-106 Gr. B	2"	160
GS-1	Gas sulfhídrico	V-02	ANTORCHA/ PLANTA AZUFRE	ASTM A-106 Gr. B	10"	30
GA-1	Gas de antorcha	V-01	GAS ACIDO	ASTM A-106 Gr. B	3"	80
HV-1	HC + vapor agua	C-01	E-03	ASTM A-106 Gr. B	10"	30
HA-1	HC + agua	E-03	V-02	ASTM A-106 Gr. B	8"	30
R-1	Residuos	V-01	DRENAJE	ASTM A-106 Gr. B	3"	80
VB-1	Vapor de baja	APORTE DE VAPOR	E-02	ASTM A-106 Gr. B	12"	30
AA-1	Aguas ácidas	V-02	B-03	ASTM A-106 Gr. B	3"	80
AA-2	Aguas ácidas	B-03	C-01	ASTM A-106 Gr. B	3"	80
AA-3	Aguas ácidas	V-02	B-05	ASTM A-106 Gr. B	3"	80
AA-4	Aguas ácidas	B-05	TANQUE DE RESIDUOS	ASTM A-106 Gr. B	3"	80

### 2.8.1.1. MATERIALES

Las principales variables de selección de tuberías son:

- a) Corrosión.
- b) Temperatura.
- c) Presión.
- d) Coste.

La selección de los materiales se llevará a cabo según el criterio de la resistencia a la corrosión de los mismos, y dicha resistencia a la corrosión depende de la temperatura y la turbulencia. Una vez que se selecciona el material según su resistencia a la corrosión, se debe hacer la selección según los criterios de temperatura, presión y coste. A pesar de todo ello, la selección de material en este proyecto se apoya en la experiencia y la experimentación.

De manera general, los materiales de construcción de tuberías en las plantas de proceso son:

- Acero al carbono, que es el más utilizado.
- Acero de baja aleación,
  - Níquel, para baja temperatura y corrosión.
  - Cromo – Molibdeno, para alta temperatura y presión.
- Acero inoxidable,
  - Austenítico, para casos donde exista corrosión.
  - Ferrítico, para casos donde hay corrosión, siendo menos utilizado que el anterior.
- Metales no féreos,
  - Aluminio, para baja temperatura.
  - Cobre y sus aleaciones (Latón, Bronce, Admiralty), para corrosión.
  - Níquel y sus aleaciones (Monel, Inconel, Hastelloy), para corrosión.
  - Titanio, para tuberías que traten con agua del mar.
- Plásticos,
  - Polietileno, Polipropileno, PVC, CPVC, todos para casos con corrosión.
- Plásticos reforzados con fibra de vidrio,
  - Epoxi vinil éster, Poliéster, para corrosión.

○ Recubrimientos plásticos.

- Polipropileno, teflón, para la corrosión.

Como se indicó en el apartado anterior, el material más utilizado para las líneas principales de esta unidad es el acero A-106 Gr. B, que es un tipo de acero al carbono calmado, junto con acero inoxidable del tipo A-312 TP 316L para la conducción de carga de amina rica al botellón de carga.

El acero al carbono ASTM A-106 Gr. B tiene la siguiente composición:

C = 0.30 máx.

Mn = 0.29

P = 0.048 máx.

S = 0.058 máx.

Si = 0.10

Fe = resto

Las características más importantes de este acero al carbono al utilizarlo en las tuberías son su resistencia a las altas temperaturas, la resistencia al choque, su resiliencia, la tenacidad, la maquinabilidad (facilidad que posee el material para permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta) y, las más importantes, el que sea forjable y su soldabilidad.

En cuanto al acero inoxidable, su composición química típica es:

C = 0.03 máx.

Cr = 18

Ni = 8

Mo = 2-4

Fe = resto

Para el acero al carbono en estas conducciones se deben tener varias precauciones, entre las más destacadas está la posibilidad de fragilización al estar las tuberías en contacto con una base cáustica y la de deterioro ante la exposición a ácido sulfhídrico. Para el acero inoxidable austenítico 316L las precauciones a tomar están relacionadas con la rotura por corrosión bajo tensión por causa de una mala selección o aplicación del aislante térmico.

### 2.8.1.2. DIAMETROS

Los criterios a seguir para el cálculo del diámetro de cada una de las tuberías son:

- Si la energía necesaria para el movimiento del fluido es gratis, se debe utilizar el diámetro mínimo que permita el caudal deseado.
- Si el fluido ha de ser bombeado, como en el caso que ocupa este proyecto, se halla el tamaño de tubería que conlleve los menores costes anuales, mediante un cálculo sencillo a partir del caudal y la velocidad del flujo.

En general, la determinación del diámetro depende principalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.

### 2.8.1.3. ESPESORES

El espesor de pared de las tuberías es posible calcularlo según distintas ecuaciones existentes, así como el número de lista o Schedule. En este caso, se elegirán según sea el servicio a realizar por la conducción y las condiciones en que se realice, según indique la experiencia en aplicaciones con plantas de aminas.

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa es una función de:

- a. El esfuerzo permisible para el material del tubo
- b. Presión de diseño
- c. Diámetro de diseño del tubo
- d. Diámetro de la corrosión y/o erosión

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia al colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

Este espesor mínimo de pared para las condiciones de diseño debe establecerse de manera que la tubería sea capaz de soportar diferentes cargas típicas y sus combinaciones, que se deben considerar en el diseño de tuberías.

En cuanto al sobreespesor de corrosión, se estimará de la siguiente manera:

- Acero al carbono: 6.0 mm.
- Acero inoxidable: 1.5 mm.

Siempre es recomendable seleccionar un material mejor siempre que sea posible, en lugar de aumentar el sobreespesor de corrosión por encima de los anteriores para este servicio.

Las tolerancias admisibles se refieren al espesor de pared únicamente y su valor es de 12.5%.

#### **2.8.1.4. AISLAMIENTO TERMICO DE LAS TUBERIAS**

En este sistema de tuberías hay fundamentalmente tres tipos de aislamiento térmico: calorifugado, protección personal y traceado con vapor con calorifugado.

El calorifugado y la protección personal difieren en que la finalidad del primero es la de mantener caliente la tubería y aislarla de la temperatura exterior por necesidades del proceso, mientras que la protección personal pretende proteger a las personas que puedan tener contacto directo con estas tuberías a temperaturas muy superiores a las ambientales, para evitar accidentes y lesiones por quemaduras, es decir, es una medida de seguridad.

Antes de aplicar el aislamiento, se realizarán las correspondientes operaciones de limpieza según sea el material de la superficie a calorifugar:

- En el caso del acero al carbono, se realiza un cepillado ligero para eliminar restos de humedad, polvo, partículas sueltas, etc., que se hubieran adherido durante el montaje mecánico.

- Para el acero inoxidable, en primer lugar se eliminan los restos de suciedad mediante un trapo o cepillo de púas de acero inoxidable, después para prevenir la corrosión, se da una imprimación de silicato sódico como inhibidor de los  $\text{Cl}^-$  que el material aislante pueda contener.

El traceado en general sirve para mantener las tuberías y el fluido contenido en ellas a una temperatura superior a la ambiente. En las tuberías de este proyecto que llevan traceado su finalidad es la prevención de la condensación del gas que circula por ellas. El sistema de traceado es más costoso que las propias tuberías que protege, además de que tiene elevados costes de operación.

El sistema de traceado es un componente importante en el funcionamiento de las tuberías, dado que un fallo en ellos conlleva la inoperabilidad de las mismas. Las tuberías que llevan traceado también estarán aisladas mediante calorifugado para minimizar las pérdidas de calor al ambiente.

En este caso el traceado se llevará a cabo mediante vapor, fluido caliente que discurrirá por una tubería conectada a la tubería que se tracea. Dicha tubería estará situada debajo del aislante. Como tubería para el traceado se utiliza tubería estándar de acero al carbono de una pulgada, y líneas de aporte de vapor que conecten el sistema general de vapor de la refinería con el sistema de traceado.

Al estar la planta ubicada en el interior de una refinería, es económicamente viable un sistema de traceado con vapor en lugar de un sistema de traceado eléctrico. La baja probabilidad de error, la elevada fiabilidad y la seguridad del traceado con vapor son las principales razones por las que se elige este tipo de traceado.

Las tuberías de transferencia de gas ácido hacia la recuperación de azufre o antorcha llevan un encamisado de vapor. Este encamisado tiene dos fines:

- Evitar que el vapor de agua arrastrado se condense, absorbiendo el H<sub>2</sub>S, formando ácido sulfuroso corrosivo.
- En caso de fuga en la tubería interior, el vapor se introducirá en la línea interna no permitiendo que el gas ácido, altamente tóxico, fugue a la atmósfera (presión positiva).

### 2.8.1.5. CONDICIONES DE OPERACION

Los esfuerzos en las tuberías determinan las condiciones de servicio de las mismas, dichos esfuerzos están condicionados por las cargas o solicitaciones del sistema. Las fuentes de las cargas son: la presión interna, el peso muerto de los elementos, la expansión térmica debida a variaciones de temperatura y las cargas de viento, nieve o hielo. Las cargas en las tuberías se clasifican en cargas constantes y variables.

- Las cargas constantes son las que no sufren variación en el tiempo y se aplican de manera constante (presión interna y externa, peso del sistema incluido el peso de la columna de fluido). Tanto la presión como la temperatura de diseño se emplean para obtener el mínimo espesor de pared y el rating de sus componentes.
- Las cargas variables son las que actúan en el sistema de forma discontinua (prueba hidráulica, sismo y otras cargas dinámicas).

#### Cargas por la presión de diseño

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa, a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

#### Cargas por peso

- a. Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, aislamiento, etc.
- b. Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso.
- c. Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.

### Cargas dinámicas

- a. Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento.
- b. Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos.
- c. Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos.
- d. Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

### Efectos de la expansión y/o contracción térmica

- a. Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería.
- b. Cargas inducidas por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales).

### Efectos de los soportes, anclajes y movimiento en las terminales

- a. Expansión térmica de los equipos.
- b. Asentamiento de las fundaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías.

En cuanto a la temperatura y presión de operación, que son los valores de ambas variables para las condiciones en que la línea estará funcionando durante la mayoría del tiempo. No existe ninguna relación constante entre la presión y la temperatura de diseño y las de operación. Sin embargo, los valores de presión y temperatura considerados conjuntamente, para las condiciones de operación, nunca impondrán al material de la tubería un esfuerzo mayor que el que le impongan dichos valores para las condiciones de diseño.

En la siguiente tabla se reflejan las condiciones de operación y diseño, así como las condiciones de aislamiento para cada una de las líneas principales del sistema.

LINEA	CONDICIONES DE OPERACIÓN		CONDICIONES DE DISEÑO		TIPO DE AISLAMIENTO
	PRESION KG/CM <sup>2</sup>	TEMPERATURA °C	PRESION KG/CM <sup>2</sup>	TEMPERATURA °C	
AMP-1	1.5	122	4.3	149	Calorifugado
AMP-2	13.6	122	19.7	149	Calorifugado
AMP-3	12.9	89	19.7	149	Protección personal
AMP-4	12.2	55	19.7	149	NO
AMP-5	12.1	55	19.7	150	NO
AMP-6	1.0	122	4.7	180	Calorifugado
AMP-7	1.0	122	4.7	180	Calorifugado
AMP-8	1.0	122	4.7	180	Calorifugado
AMP-9	1.0	122	4.7	180	Calorifugado
AMR-1	0.54	58	4.3	150	Calorifugado
AMR-2	6.6	58	12.1	150	Calorifugado
AMR-3	5.3	93	13.2	150	Calorifugado
AMR-4	3.5	38	13.0	150	NO
AMR-5	1.2	58	14.8	130	Calorifugado
CB-1	3.5	147	7.0	180	Calorifugado
CB-2	1.0	50	3.5	135	Calorifugado
GS-1	0.7	49	4.0	149	Traceado vapor + calorifugado
GA-1	0.2	147	3.5	162	Traceado vapor + calorifugado
HV-1	0.8	112	3.52	149	Protección personal
HA-1	0.7	49	4.0	149	NO
R-1	0.54	58	4.3	150	NO
VB-1	3.5	147	7.0	180	Calorifugado
AA-1	1.1	49	4.6	150	NO
AA-2	5.0	49	9.6	150	NO
AA-3	1.1	49	4.6/19.6	150	NO
AA-4	13.0	49	19.5	150	NO

### 2.8.1.6. PERDIDAS DE PRESIÓN EN LAS TUBERIAS

En el anexo de cálculo se exponen tanto las fórmulas matemáticas como las gráficas utilizadas para el cálculo de la pérdida de presión en las principales líneas con las que se trabajó en la simulación, que se muestran en la tabla siguiente a modo de resumen:

NÚMERO LÍNEA	NOMBRE	VELOCIDAD (m/s)	$\Delta P$ TUBERIA (m)	$\Delta P$ ACCESORIOS (m)	$\Delta P$ TOTAL (m)
1	AMR-5	1.1417	0.098	19.66	19.76
2	AMR-1	1.0777	0.1722	27.90	28.07
3	AMR-2	1.0780	0.1845	36.12	36.30
4	AMR-3	1.1106	0.1326	19.66	19.80
5	AMP-2	1.1456	0.0741	40.08	40.15
6	HV-1	9.7997	0.045	21.50	21.54
7	AA-2	0.0884	0.006	14.32	14.37
8	GS-1	13.0173	0.0726	36.42	36.50
9	AMP-7	17.0045	0.0069	69.34	69.35
10	AMP-3	1.1073	0.0312	14.63	14.66
11	AMP-4	1.0902	1.968	50.14	52.11

## 2.9. SISTEMA DE IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS

Las bombas que conforman el sistema de impulsión de la planta regeneradora de amina son del tipo centrífugo y son suministradas por el grupo industrial Ercole Marelli, estando recogidas dentro de su catálogo de bombas centrífugas como el modelo SMK<sub>o</sub>.

### 2.9.1. GENERALIDADES

Las bombas centrífugas consisten en un rodete montado sobre una carcasa o voluta. El líquido entra en el centro del rodete y es acelerado por el giro de este, la energía cinética del fluido se transforma en energía potencial en la salida.

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en las industrias de procesos químicos debido a la variedad de servicios que realizan y a la enorme cantidad de materiales resistentes a la corrosión en los que se construyen. Sus grandes espacios libres y el hecho de que no tienen piezas en donde haya rozamiento, excepto los cojinetes y sellos, les han dado la preferencia en muchas aplicaciones.

Lo común es que su capacidad esté entre 5 000 y 6 000 gpm. Las cargas pueden ser hasta de 500 a 600 pies con motores eléctricos de velocidad estándar. Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales, suspendidas dentro de un tanque o colgadas de la tubería. Sus desventajas son un bajo rendimiento cuando funcionan con líquidos muy viscosos y la tendencia a perder el cebado cuando el líquido contiene cantidades pequeñas de aire o de vapores.

Para entregar un volumen dado de líquido en el sistema, las bombas deben aplicar, al líquido, una energía formada por los siguientes componentes:

- Carga estática.
- Diferencia en presiones en las superficies de los líquidos.
- Carga de fricción.
- Pérdida en la entrada y la salida.

#### Carga estática

La carga estática total es la diferencia en elevación entre los niveles del líquido en los puntos de descarga y de succión de la bomba.

#### Carga de fricción

La carga de fricción (expresada en pies del líquido que se bombea) es la necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción ocasionadas por el flujo del líquido en la tubería, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser los intercambiadores de calor. Estas pérdidas varían más o menos proporcionalmente al cuadrado del flujo en el sistema. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios y las características del líquido bombeado.

#### Pérdidas en la entrada y en la salida

Si la toma de la bomba está en un depósito, tanque o cámara de entrada, existen pérdidas en el punto de conexión de la tubería de succión con el suministro.

## 2.9.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BOMBAS

El hecho de utilizar bombas centrífugas está fundamentado en que son las más adecuadas para manejar más cantidad de líquido en comparación con las de desplazamiento positivo.

Las bombas centrífugas están englobadas dentro del conjunto de las denominadas dinámicas, siendo éstas en las que se aplica energía al líquido que se bombea con un impulsor o una hélice que gira en un eje. La energía de velocidad aplicada al fluido por el impulsor se convierte en energía de presión cuando el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de una voluta o carcasa de difusor estacionarias. Por supuesto, cuando hay mayor velocidad, que se puede obtener con una velocidad de rotación más alta, un impulsor de mayor diámetro o ambas cosas, se puede lograr una carga más elevada.

Las principales ventajas de las bombas centrífugas son las siguientes:

- Su construcción es simple y su precio es bajo.
- El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones. Son muy versátiles, con capacidades desde 5 gpm con presión diferencial de 2 a 5 lb/pulg<sup>2</sup> con presión diferencial de 2 a 5 lb/pulg<sup>2</sup> hasta bombas múltiples con 3000 gpm y 3000 lb/pulg<sup>2</sup>.
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente, sin dañar la bomba.
- Puede utilizarse con líquidos que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión, volátiles y fluidos hasta de 850°F.
- Sin tolerancias muy ajustadas.
- Poco espacio ocupado.
- Económicas y fáciles de mantener.
- No alcanzan presiones excesivas aún con la válvula de descarga cerrada.
- Máxima profundidad de succión es 15 pulgadas.
- Flujo suave no pulsante.
- Impulsor y eje son las únicas partes en movimiento.

- No tiene válvulas ni elementos reciprocantes.
- Operación a alta velocidad para correa motriz.
- Se adaptan a servicios comunes, suministro de agua, hidrocarburos, disposición de agua de desechos, cargue y descargue de carro tanques, transferencia de productos en oleoductos.

En lo referente al material de construcción, las tres bombas están conformadas por acero inoxidable austenítico A351 CF3M, con el objeto de eliminar o reducir los efectos destructores de los productos químicos (DEA y SH<sub>2</sub>) en las diferentes piezas de las bombas. Dichos aceros deben su nombre a que se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita. En este aceros, el contenido de cromo es del 19.5%, el de níquel de 9%, el de silicio del 1.25% y el de manganeso de 0.75%.

Las propiedades básicas por las que se selecciona este tipo de acero inoxidable son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión, siendo los aceros de construcción más empleados en bombas para productos químicos, ya que resisten mejor la corrosión que los martensíticos o ferríticos.
- Excelente factor de higiene-limpieza.
- Es un material fácilmente transformable.
- Posee excelente soldabilidad.
- No se endurecen por tratamiento térmico.
- Son adecuados tanto para temperaturas criogénicas como para elevadas temperaturas.

### **2.9.3. CARACTERISTICAS DE BOMBAS**

Las bombas englobadas en el alcance de este proyecto están especificadas según la norma API 610 en su 10ª edición. Originalmente, esta norma fue desarrollada para cubrir requerimientos de bombas centrífugas en servicios generales de refinería de

petróleo, siendo una de las más exigentes en cuanto a los aspectos de diseño mecánico e hidráulico como de eficiencia de una bomba, pero actualmente constituye una norma de diseño para bombas centrífugas en los más diversos procesos.

Debido a que las bombas no tienen un único punto de funcionamiento, sino que infinidad de ellos, existe la curva que une todos los puntos posibles de funcionamiento de cada una de ellas. Esta curva acoplada a cada velocidad de motor, recibe el nombre de curva característica o curva de la bomba, suministrando dicha información los fabricantes de la misma. La existencia de estas curvas siempre facilita el proceso de selección de bombas.

La NPSH (Net positive Suction Head) es la altura neta positiva de aspiración, o lo que es lo mismo, la diferencia de presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, referida en metros. Se debe distinguir entre:

- NPSH Disponible
- NPSH Requerido

a) NPSH disponible depende del conjunto de la instalación elegida para la bomba y es una particularidad independiente del tipo de bomba. Es por tanto calculable.

b) NPSH requerido es un dato básico peculiar de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio, que se determina por prueba o cálculo, siendo un dato a facilitar por el fabricante el cual lo ha obtenido a través de ensayos.

Para que las bombas funcionen correctamente sin cavitación, se debe cumplir que el NPSH disponible en la instalación, sea igual o mayor que el NPSH requerido por la bomba.

La potencia absorbida o potencia de freno es la potencia en el eje de la bomba y equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida en compensar los distintos tipos de pérdidas que se ocasionan en la bomba. Por consiguiente, es mayor que la potencia hidráulica.

El rendimiento mecánico o rendimiento de la bomba, equivale al cociente entre la potencia hidráulica y la potencia absorbida. Se expresa en porcentaje y es siempre menor que la unidad.

#### **2.9.4. COMPONENTES DE LAS BOMBAS**

La casi totalidad de los componentes de las bombas son piezas fundidas. Dichas piezas deben cumplir con los requisitos de calidad para una larga duración. Esto interesa sobre todo en las bombas para productos químicos porque las fugas, la pérdida del producto y el tiempo perdido pueden ser muy costosos y las fugas pueden ser de gran peligro.

Las propiedades mecánicas son las más importantes. Las secciones de pared del cuerpo son más gruesas que lo requerido por el diseño para mantener la capacidad de bombeo aunque se pierde algo de material al tratarse de productos corrosivos. Las piezas que están sujetas a la corrosión por dos o tres lados, como los impulsores, son mucho más gruesos que sus equivalentes en bombas para agua o aceites. Las partes que trabajan a presión también son más gruesas para que sigan en servicio después de que sufran cierto desgaste por la corrosión. Las superficies sometidas a altas velocidades, como el espolón, tienen refuerzo adicional para soportar la corrosión acelerada que ocasiona la alta velocidad del líquido.

La zona cercana al prensaestopas (estopero) es la que ocasiona más fallas a las bombas. El establecimiento del sellado entre el eje rotatorio y las piezas fijas de la bomba es uno de los problemas más arduos para el diseño. Se utilizan empaquetaduras de distintos materiales (asbesto trenzado, plomo, resinas de fluorocarbono, aluminio, grafito y otras combinaciones para sellar en el eje). El fabricante es el que debe proporcionar las empaquetaduras recomendadas para los diversos servicios. En las bombas se utilizan sellos mecánicos para el eje y se debe seleccionar sobre la base del tipo de producto químico corrosivo que se bombea, en este caso son de acero inoxidable.

La temperatura de funcionamiento tiene una gran influencia en el material de la empaquetadura. La mejor solución ante el problema del calor es eliminarlo mediante una camisa de agua alrededor del prensaestopas. Aunque la conductividad térmica es baja en las bombas, la zona del prensaestopas se puede mantener entre 200°F y 250°F. Este enfriamiento también ayuda a evitar la transferencia de calor a lo largo del eje hasta la cubierta de cojinetes, lo cual elimina otros problemas alrededor de éstos.

## 2.9.5. DATOS DE LAS BOMBAS

Las bombas que conforman el sistema de impulsión relacionado más directamente con el funcionamiento de la columna regeneradora son las tres siguientes:

Bomba B-01: Bomba de carga de DEA rica hacia la columna regeneradora.

Bomba B-02: Bomba de fondo de la regeneradora.

Bomba B-03: Bomba de reflujo de la regeneradora.

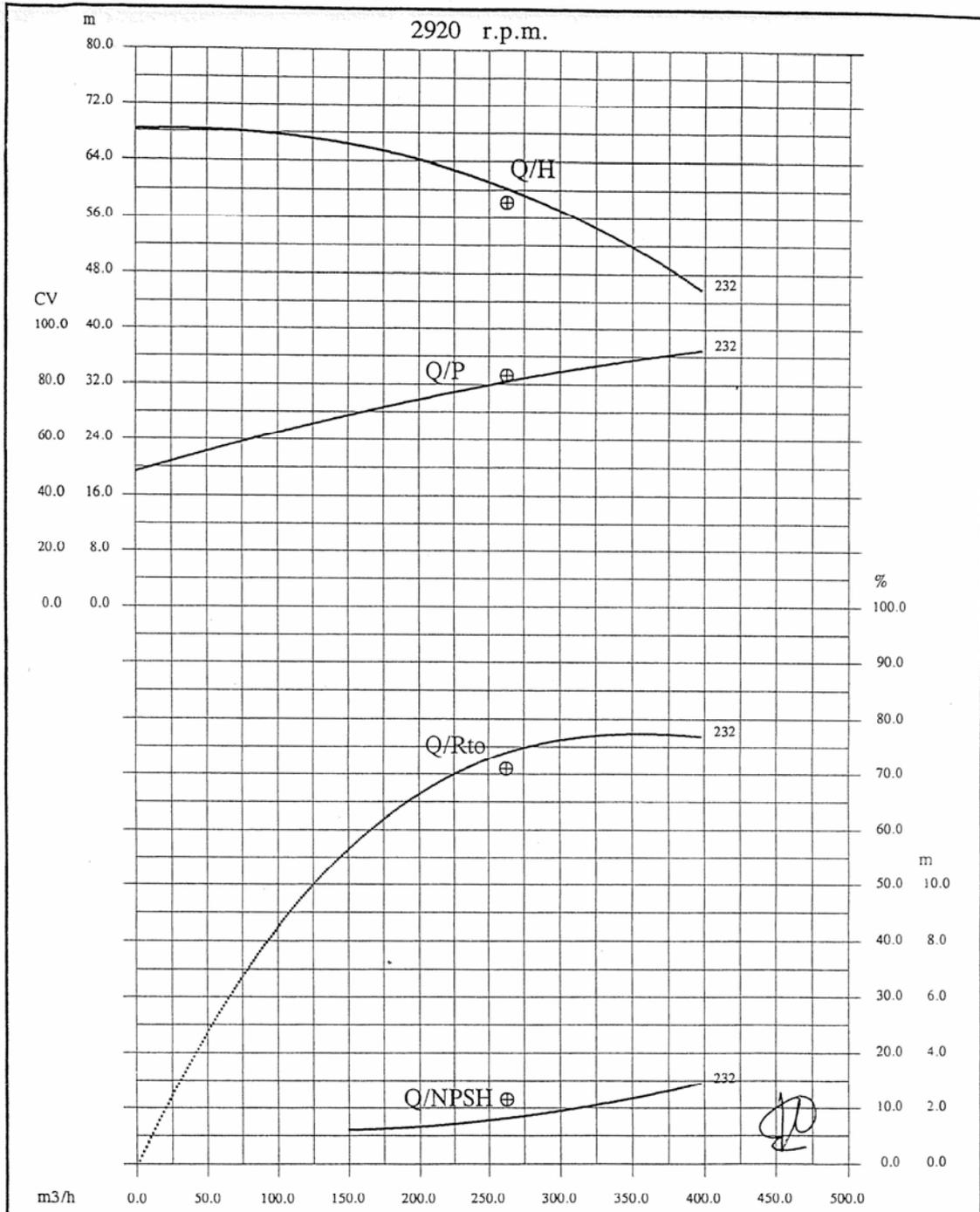
Como ya se ha comentado anteriormente, estas bombas proceden de un catálogo perteneciente a la empresa suministradora G. I. Ercole Marelli. A continuación, se presenta en las siguientes tablas las principales características de diseño de dichas bombas.

La bomba de carga es la que aspira el líquido procedente del fondo del botellón separador V-01 para luego enviarlo hacia el filtro de solución de amina F-01.

<b>BOMBA B-01</b>			
<b>Condiciones normales de operación</b>			
Fluido	DEA RICA	Productos Corrosivos	DEA Y SH <sub>2</sub>
Temperatura (T)	43 °C	Peso específico a T	1.04
Presión de vapor a T	1.1 Kg/cm <sup>2</sup>	Viscosidad a T	1.06 cP
Caudal	207.720 Kg/h	NPSH disponible	3.3 m
P aspiración	0.54 Kg/cm <sup>2</sup>	P impulsión	6.6 Kg/cm <sup>2</sup>

<b>Datos del fabricante</b>			
Modelo-Tamaño	SMK <sub>O</sub> - 8x8x9	Peso aproximado	335 Kg
Ruido	80 dB	NPSH requerido	2.3 m
Rendimiento	71 %	Potencia absorbida	61.2 Kw
Caudal mínimo	150 m <sup>3</sup> /h	Velocidad	2920 rpm
Presión de diseño	25 Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura de diseño	250 °C
Diámetro máx. impulsor	255 mm	Diámetro operación impulsor	242 mm
Diámetro mín. impulsor	190 mm	Nº de etapas	1

Las curvas características de la bomba B-01 para la velocidad del motor que le corresponde, de 2920 rpm, y que son suministradas por el fabricante, son las siguientes.

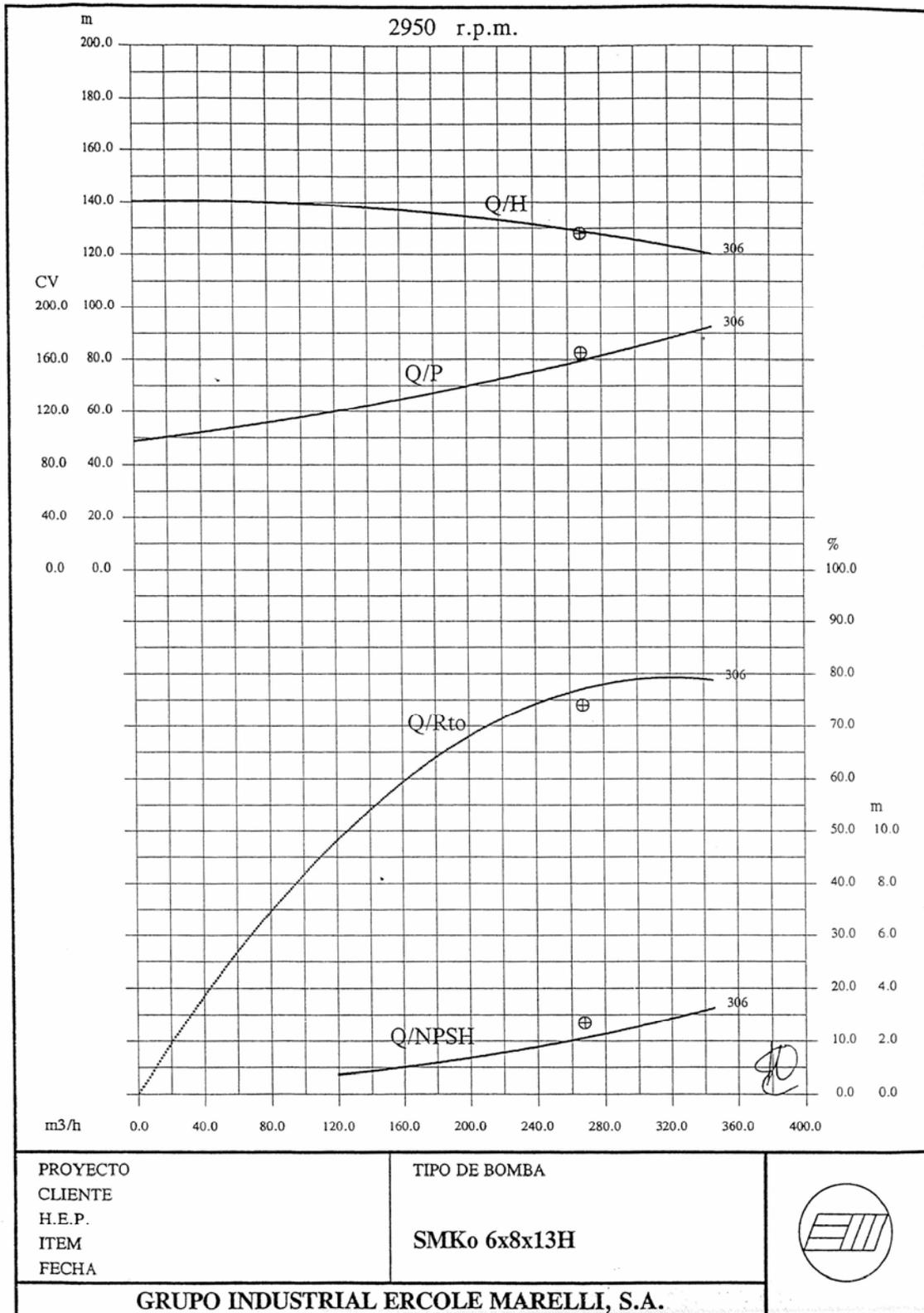


PROYECTO CLIENTE H.E.P. ITEM FECHA	TIPO DE BOMBA  <b>SMKo 8x8x9</b>	
<b>GRUPO INDUSTRIAL ERCOLE MARELLI, S.A.</b>		

La bomba de fondo de la columna regeneradora impulsa la amina pobre procedente de la línea de fondo de la torre para dirigirlo hacia el intercambiador de amina rica/pobre E-01.

<b>BOMBA B-02</b>			
<b>Condiciones normales de operación</b>			
Fluido	DEA POBRE	Productos Corrosivos	DEA Y SH <sub>2</sub>
Temperatura (T)	116 °C	Peso específico a T	0.96
Presión de vapor a T	2.1 Kg/cm <sup>2</sup>	Viscosidad a T	0.28 cP
Caudal	203.1 Kg/h	NPSH disponible	3.5 m
P aspiración	1.3 Kg/cm <sup>2</sup>	P impulsión	13.6 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Datos del fabricante</b>			
Modelo-Tamaño	SMK <sub>0</sub> - 6x8x13H	Peso aproximado	335 Kg
Ruido	80 dB	NPSH requerido	2.7 m
Rendimiento	74 %	Potencia absorbida	122 Kw
Caudal mínimo	120 m <sup>3</sup> /h	Velocidad	2950 rpm
Presión de diseño	25 Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura de diseño	250 °C
Diámetro máx. impulsor	326 mm	Diámetro operación impulsor	304 mm
Diámetro mín. impulsor	261 mm	Nº de etapas	1

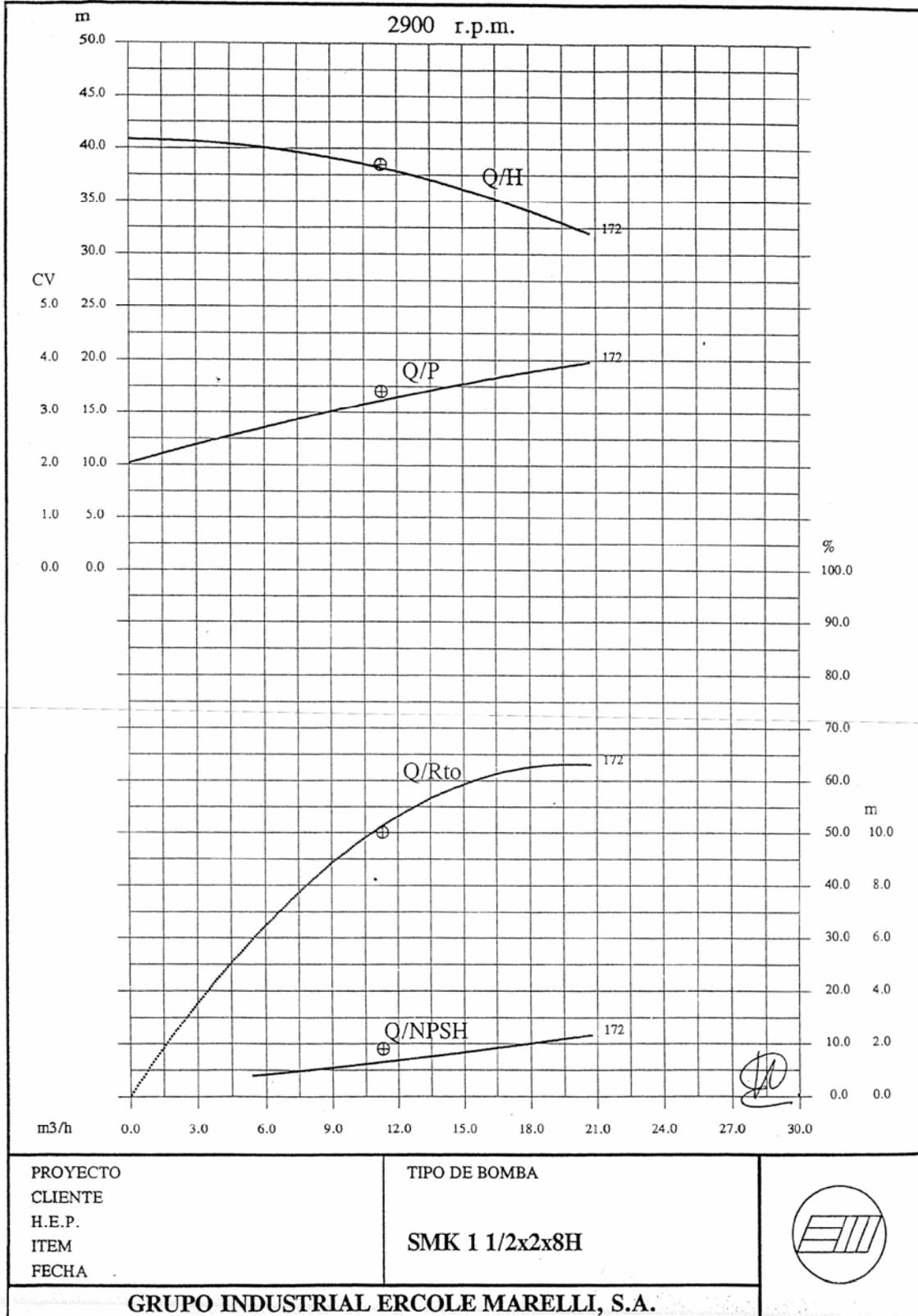
Las curvas características de la bomba B-02 para la velocidad del motor que le corresponde, de 2950 rpm, y que son suministradas por el fabricante, son las siguientes.



La bomba de reflujo de la regeneradora envía el agua ácida desde el botellón de reflujo hacia la cabeza de la columna regeneradora como corriente de reflujo.

<b>BOMBA B-03</b>			
<b>Condiciones normales de operación</b>			
Fluido	AGUA ÁCIDA	Productos Corrosivos	DEA Y SH <sub>2</sub>
Temperatura (T)	46 °C	Peso específico a T	1.04
Presión de vapor a T	1.74 Kg/cm <sup>2</sup>	Viscosidad a T	0.60 cP
Caudal	4678.6 Kg/h	NPSH disponible	2.8 m
P aspiración	1 Kg/cm <sup>2</sup>	P impulsión	5 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Datos del fabricante</b>			
Modelo-Tamaño	SMK <sub>O</sub> - 1 1/2x2x8H	Peso aproximado	100 Kg
Ruido	80 dB	NPSH requerido	1.8 m
Rendimiento	50 %	Potencia absorbida	2.5 Kw
Caudal mínimo	5.5 m <sup>3</sup> /h	Velocidad	2900 rpm
Presión de diseño	25 Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura de diseño	250 °C
Diámetro máx. impulsor	185 mm	Diámetro operación impulsor	171 mm
Diámetro mín. impulsor	136 mm	Nº de etapas	1

Las curvas características de la bomba B-03 para la velocidad del motor que le corresponde, de 2900 rpm, suministradas por el fabricante, son las siguientes.



## 2.10. FILTROS

### 2.10.1. GENERALIDADES

La instalación de un buen sistema de filtrado constituye un punto clave en el diseño de una planta de aminas, pues cuanto más limpia esté la disolución de amina, mejor opera la unidad. Dicha instalación es frecuente llevarla a cabo en la corriente de amina pobre fría (alimentación del absorbedor).

Existen ciertos contaminantes presentes en el gas ácido capaces de degradar la DEA, degradación que se lleva a cabo en el absorbedor, ya que es en él en donde entran en contacto la amina y los gases. Por otro lado, dado que la amina es corrosiva, actúa sobre el acero de las conducciones y equipos, apareciendo partículas de óxido de hierro que erosionan las superficies y obstruyen los tubos de los intercambiadores de calor a su paso.

Por todo ello, los objetivos fundamentales del sistema de filtrado en una unidad de aminas son:

- Eliminación de los productos de degradación (sales estables) que pueden favorecer la aparición de espuma (lo que a su vez produce la inundación de las columnas).
- Eliminar los óxidos de hierro que se hayan desprendido.

Los filtros de la unidad son dos, uno mecánico colocado en la corriente de amina rica antes del cambiador de amina rica/pobre y el otro colocado en la de amina pobre (regenerada) antes de abandonar la unidad. Sus funciones son las siguientes:

- Filtro de disolución de amina rica (F-01): Este filtro es de tipo mecánico, posee cartuchos de material filtrante, útil para eliminar las partículas de óxido de hierro presentes.
- Filtro de carbono (F-02): Su funcionamiento se basa en un lecho de carbón activo, su finalidad es la de retener los compuestos orgánicos de la degradación (sales térmicamente estables).

Dado que el filtro de carbón se instala de forma independiente al de partículas, cabe la posibilidad de instalación de un pre-filtro al de carbón para proteger el lecho de carbón activo.

### **2.10.2. FILTRO DE SOLUCIÓN DE AMINA RICA**

El filtro de disolución de amina rica F-01 tiene como función la eliminación de los contaminantes particulados acumulados en la disolución de amina, los cuales pueden acrecentar la formación de espumas y agravar el problema de la corrosión.

Este filtro trata la totalidad de caudal y está instalado en la corriente de amina rica, por lo que se debe tener el máximo cuidado durante el mantenimiento para controlar el riesgo de exposición al H<sub>2</sub>S.

#### **2.10.2.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO**

En el sistema de amina, se pueden dar los casos de que se produzca una contaminación excesiva por partículas por una alimentación en condiciones inadecuadas, una corrosión excesiva o una proporción de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S elevada en el gas de entrada. Para cualquiera de estos tres problemas el filtro F-01 es la solución filtrando las partículas de la amina rica procedente del absorbedor.

Lo más preocupante, es que el FeS presente en la amina rica puede disociarse en productos solubles de hierro que se forman en el regenerador, bajo ciertas condiciones, y el filtrado de la amina pobre no puede luego eliminarlos. Estos productos solubles de hierro, pueden luego reaccionar con el H<sub>2</sub>S en el contactor para formar más FeS, ensuciando los platos o el relleno del absorbedor.

En las unidades de amina se utilizan numerosos medios para el filtro de partículas: cartuchos desechables para filtrado consistentes en bobinas de algodón blanqueado con núcleos de polipropileno o metálicos (desaconsejados), cartuchos desechables metálicos, cartuchos para filtrado de papel plegado, filtros mecánicos no desechables y con lavado de retorno con elementos especiales metálicos. En este caso el filtro F-01 dispone de un solo filtro que lleva 12 cartuchos dispuestos en columnas. En cuanto al

tamaño de filtrado, lo que muestra la experiencia es que un filtro de 5 micras es el adecuado para la aplicación que trata este proyecto, pues la corriente que se trata está formada por sulfuro de hierro unido a hidrocarburo y amina polimerizada, material muy finamente dividido, con un 8% de las partículas de FeS de un tamaño de entre 1 y 5 micras.

### **2.10.2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

A continuación se exponen los datos básicos necesarios para el diseño y los requisitos con que cuenta el filtro que se trata.

### **2.10.2.3. CONDICIONES DE OPERACION**

Las principales referencias para el correcto funcionamiento del filtro de partículas son las siguientes:

- ❖ Este filtro debe filtrar como mínimo del 10 al 20% del total de la corriente circulante. Puesto que lo típico es tratar del 10 al 100% de la corriente, en este caso se filtra el 100% de la corriente.
- ❖ El tamaño del filtrado es de 10 micras cuando el sistema cuenta con dos filtros mecánicos, uno aguas arriba y otro aguas abajo del de carbón. En situaciones como las que describe este proyecto, al existir un solo filtro mecánico independiente del de carbón, el tamaño de filtrado es de 5 micras por razones que se han explicado anteriormente.
- ❖ La limpieza del filtro se basa en un diferencial de presión monitorizado, siendo el filtro de cartón. Consiste en un lavado con agua en contracorriente para recuperar la actividad del filtro. Con esta operación no recuperaremos totalmente la capacidad de filtración, aunque aumentaremos su vida útil.
- ❖ La cantidad de materia suspendida que puede haber en la amina regenerada para que el filtro funcione adecuadamente es como máximo del 0.01% en peso.
- ❖ Se deberán evitar en todo caso las telas de algodón ya que producen problemas de espumas al formar jabón con la amina.

### 2.10.2.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos básicos de este equipo son los siguientes:

<b>FILTRO DE AMINA RICA F-01</b>	
<b>CODIGO DE DISEÑO</b>	ASME VIII DIV. 1
<b>PRESION DE DISEÑO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	19.7
<b>PRESION DE OPERACIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.2
<b>TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)</b>	150
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)</b>	55
<b>FLUIDO</b>	AMINA + TRAZAS DE SH <sub>2</sub>
<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>	1091
<b>PESO VACIO (Kg)</b>	2100
<b>PESO LLENO DE AGUA (Kg)</b>	3200
<b>PESO EQUIPO EN OPERACIÓN (Kg)</b>	3300

### 2.10.2.5. OBSERVACIONES

Los filtros de cartucho son capaces de clarificar una gran variedad de líquidos y de ahí la enorme variedad de diseños que existen. La superficie de los mismos tiene una porosidad determinada por las fibras que conforman el papel. Es una operación intermitente ya que periódicamente se debe hacer un lavado a contracorriente o incluso una sustitución de los cartuchos de material filtrante.

### 2.10.3. FILTRO DE CARBONO

El filtro de carbón activo F-02 tiene como misión eliminar los contaminantes activos superficiales (surfactantes) y absorber las pequeñas gotas de hidrocarburos pesados que son productos espumantes.

Por razones meramente económicas, en el caso del F-02, no se filtra toda la corriente de amina pobre, sino que sólo una porción de la misma (el 20% del total). Aunque el mejor lugar para la instalación de los filtros es en la corriente de amina rica, debido a la elevada concentración de H<sub>2</sub>S, se ha optado por situar el filtro F-02 en la corriente de amina pobre al haber menor concentración de ácido y por ser el mantenimiento menos peligroso.

### 2.10.3.1. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO

La filtración con carbón activo proporciona una solución efectiva a la mayoría de los problemas de espumas eliminando de la disolución el hidrocarburo condensado, las sustancias de tratamiento químico, los restos de aceite y otras impurezas no deseadas.

En esta unidad de amina se obtiene el mejor resultado ya que se hace pasar la amina pobre a presión atmosférica por encima del carbón activo.

El carbón activo se fabrica a partir de cualquier material carbonoso, hulla, madera, cáscara de coco, etc. Debido a que puede provenir de diferentes materias primas, existen diferencias entre los productos terminados tal y como se expone en la tabla que se muestra a continuación. La mayoría del carbón proviene del carbón mineral de diferentes calidades, esto incluye, en orden decreciente de calidad, el carbón bituminoso de calidad metalúrgica, el carbón de menor nivel llamado sub-bituminoso y el lignítico. La materia prima básica y las fases de pretratamiento previas a la activación afectan a muchas de las características del carbón activo. Estas diferencias en las propiedades convierten a unos carbones en mejores que otros para el tratamiento de las aminas.

<b>PROPIEDADES TÍPICAS DEL CARBÓN ACTIVO</b>			
	<b>BITUMINOSO</b>	<b>SUB-BITUMINOSO</b>	<b>LIGNÍTICO</b>
Número de yoduro	1000	1000	600
Número de molasa	235	230	300
Numero de abrasión	80	75	60
Densidad	26	25	23
Actividad	26000	25000	13800
% ceniza	6.7	12.3	20.1
% fósforo en carbón *	< 0.05 %	1-5 %	< 0.05 %

\* Porcentaje de cenizas que forman un precipitado en zonas de aguas duras.

El yoduro es el absorbente más común y a menudo es utilizado como una medida general de la capacidad del carbón. Además, debido a su pequeño tamaño molecular, el yoduro es el que más exactamente define el tamaño de microporo del carbón y refleja su

habilidad para absorber pequeños pesos moleculares, es decir, sustancias pequeñas. El número de yoduro se define como los miligramos de yoduro absorbido por un gramo de carbón, y se aproxima al valor de la superficie interna (metros cuadrados por gramo). Por tanto, un número de yoduro alto indica una gran superficie de absorción, lo que para el tratamiento de aminas resulta beneficioso.

El número de molasa define el mayor diámetro de poro del carbón y se usa como una guía para medir la capacidad de un carbón para absorber moléculas grandes.

La resistencia a la abrasión de un carbón se mide por el número de abrasión, el cual indica la capacidad de un carbón de soportar la degradación durante su manipulación. Cuanto mayor es su valor, más resistente es el carbón a la abrasión. Es deseable un carbón activo número de abrasión elevado para la aplicación en la planta de amina.

La densidad también es un factor importante para esta aplicación, ya que si se utiliza un carbón de baja densidad, la capacidad para eliminar los contaminantes puede verse seriamente reducida en comparación con uno de alta densidad.

La actividad es el producto del número de yoduro por la densidad y constituye una medida del total del área superficial disponible para la absorción. En la tabla anterior se representan diferentes valores de actividad según sea la materia prima de cada carbón, estas han sido calculadas para un pie cúbico de volumen. Las diferencias en la actividad son evidentes cuando el número de yoduro es el mismo pero las densidades diferentes (bituminoso frente a sub-bituminoso) y se acentúan cuando ambos valores son distintos (bituminoso frente a lignítico).

Por último, está la propiedad del % de cenizas, que refleja la pureza del carbón. Es el remanente del residuo inorgánico después de calentar la materia prima. Los constituyentes comunes de todos los tipos de carbón son sílice, alúmina, hierro, calcio y magnesio.

El carbón bituminoso tiene un amplio rango de diámetros de poro y es una excelente elección para aplicaciones con aminas. Sin embargo, ya que existe la posibilidad de que

se produzcan problemas severos de emulsión debidos a una contaminación significativa por hidrocarburos, se elige el uso de un carbón lignítico con elevado tamaño de poro. El carbón activo que haya sido lavado con ácido fosfórico durante el proceso de fabricación para reducir el contenido en cenizas, no debe ser utilizado, esto es porque una pequeña cantidad de residuo de ácido fosfórico puede provocar problemas graves de espumación.

Un buen diseño del sistema de carbón activo reducirá la necesidad de antiespumantes, de aporte de amina, reducirá asimismo la corrosión y mejorará las eficiencias de limpieza y la calidad del producto.

### **2.10.3.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO**

A continuación se exponen tanto las condiciones de operación del filtro de carbón activo así como los principales datos que simplifican el diseño y que constituyen la base fundamental para un eficaz funcionamiento de este equipo.

### **2.10.3.3. CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Las disposiciones más significativas para el correcto funcionamiento del filtro de carbón son las que se expresan a continuación:

- ❖ El sistema de carbón debe tratar al menos entre el 10 y el 20 % de toda la amina circulante.
- ❖ Lo apropiado es un tiempo mínimo de contacto de 15 minutos y una velocidad superficial de 2 a 4 gpm/ft<sup>2</sup>.
- ❖ Cuando la disolución de amina cambia su color o transparencia o su tendencia a formar espuma aumenta, es señal de que el carbón se ha agotado y debe cambiarse. El tiempo medio de vida del carbón es de 6 a 9 meses.
- ❖ El tipo de carbón activado apropiado para la amina es el denominado NORIT. El contenido en carbón de este filtro es de 2 m<sup>3</sup>.
- ❖ El carbón se debe reponer como mínimo cada 6 meses en esta unidad. Se debe limpiar el carbón con agua a contracorriente después de cargarlo.

- ❖ La máxima presión de operación es de 10 bars, el valor típico de la caída de presión a lo largo del filtro es menor de 0.5 bar, aunque depende del caudal, la temperatura del fluido, etc. Si se supera una caída de presión de 6 bar, se debe reemplazar el carbón.
- ❖ Debe contarse con un caudal de agua de aporte de 5 m<sup>3</sup>/h para el lavado del carbón.

#### 2.10.3.4. DATOS DE DISEÑO

Los datos de diseño tanto del recipiente como del carbón contenido en el filtro son los correspondientes al modelo CTU Cyclesorb de la empresa Chemviron Carbon, equipo diseñado para eliminar los contaminantes de todo tipo de etanolaminas y que se adecua a las características que se buscan en la unidad de aminas que ocupa el presente proyecto. Dichos datos se muestran en la siguiente tabla:

<b>FILTRO DE CARBÓN ACTIVO F-02 (RECIPIENTE)</b>	
<b>MATERIAL</b>	ACERO INOXIDABLE 316L CON PN16
<b>CODIGO DE DISEÑO</b>	ASME VIII Div:1
<b>DIAMETRO EXTERIOR (mm)</b>	1500
<b>ALTURA TOTAL (mm)</b>	2300
<b>PESO VACIO (CARBON SECO) (Kg)</b>	1650
<b>PESO EN OPERACION (Kg)</b>	3850
<b>PESO CARBON HUMEDO (Kg)</b>	2050
<b>FILTRO DE CARBÓN ACTIVO F-02 (CARBÓN)</b>	
<b>TAMAÑO DE MALLA</b>	8 x 30
<b>&gt; 2.4 mm (% máximo)</b>	15
<b>&lt; 0.60 mm (% máximo)</b>	4
<b>TAMAÑO MEDIO DE PARTICULA (mm)</b>	1.5-1.7
<b>NÚMERO DE YODURO (min.)</b>	950
<b>NUMERO DE MOLASA (min.)</b>	200
<b>HUMEDAD (% máx.)</b>	2
<b>NUMERO DE ABRASION (min.)</b>	75
<b>DENSIDAD (g/ml)</b>	2.0-2.2

### **2.10.3.5. OBSERVACIONES**

El carbón se remoja para remover el aire de sus poros, entonces el lecho se transfiere bajo aire a presión hacia el absorbedor. Los finos del carbón se enjuagan desde el lecho y la amina se endulza. Los productos de la degradación, los agentes superficiales activos, los hidrocarburos disueltos y los mercaptanos se eliminan de la disolución de DEA gracias a los gránulos de carbón activo. La carga orgánica del carbón activo es aproximadamente del 30%. Cuando el carbón esté agotado, lo indicarán el color de la amina, su turbidez y las pruebas de espumas, y se drenará y enjuagará este carbón para que siga recuperando la amina.

## **2.11. CONTROL DEL PROCESO DE LA UNIDAD DE AMINAS**

### **2.11.1. INTRODUCCION**

Los componentes básicos de todo sistema de control son:

1. Sensor, o elemento primario.
2. Transmisor o elemento secundario.
3. Controlador.
4. Elemento final de control, que frecuentemente es una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

Cada uno de dichos elementos se puede identificar claramente como un dispositivo físico independiente dentro de cada proceso. Estos son los cuatro componentes básicos de todo sistema de control, aunque los sistemas más complejos se completarán con más elementos. El set point es sinónimo del valor deseado para una variable de control. La perturbación se refiere a un cambio en cualquier variable que cause que la variable de control varíe.

El valor de la variable controlada es medido mediante un sensor. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide. El sensor está conectado físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para

transmitirla al controlador. El controlador recibe la señal, y la compara con el valor deseado o set point y, según el resultado de la comparación, decide qué hacer para mantener el valor de la variable de control en el valor deseado. Si existe diferencia entre el valor medido y el deseado, se genera un error que hace que el controlador envíe otra señal al elemento final de control, para devolver el valor de la variable controlada al set point.

De esta manera se realizan las tres operaciones básicas presentes en todo sistema de control: medición (sensor y transmisor), decisión (controlador) y acción (elemento final de control).

### **2.11.2. OBJETIVOS DEL CONTROL EN LA REGENERACION**

Las principales razones, aunque no por ello las únicas, de que se lleve a cabo el control de proceso en la planta regeneradora de amina son tres:

- 1.- Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo. La seguridad siempre debe estar siempre presente, debe considerarse muy importante.
- 2.- Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un coste mínimo.
- 3.- Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

Por tanto, se puede decir que las razones de la automatización en esta planta de amina son proporcionar un entorno seguro y a la vez mantener la calidad deseada del producto y alta eficiencia de la planta con reducción de la demanda de trabajo humano.

## 2.11.3. LISTADO DE INSTRUMENTOS

### 2.11.3.1. CAUDAL

INSTRUMENTOS DE CAUDAL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
FIC-1	Condensado a V-01
FI-2	Gas de V-01 a antorcha
FIC-3	Amina rica a regeneradora
FIC-4	Amina pobre filtrada en F-02
FI-5	Reflujo de regeneradora
FI-6	Gas ácido a antorcha
FI-7	Gas ácido a planta de azufre
FIC-8	Vapor a calderín
FIC-11	Alimentación hacia V-01

### 2.11.3.2. NIVEL

INSTRUMENTOS DE NIVEL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
LI-4	Residuo de V-01
LIC-5	Fondo regeneradora
LIC-12	Agua ácida de V-02
LI-20	Amina en interior V-01
LI-21	Residuo de V-01

### 2.11.3.3. PRESIÓN

INSTRUMENTOS DE PRESIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
PDI-7	dP de filtro F-02
PDI-9	dP de filtro F-01
PIC-11	Entrada amina rica a V-01
PI-13	Fondo de regeneradora
PI-14	Cabeza de regeneradora
PDI-15	dP de regeneradora
PIC-16	Vapores de columna a antorcha
PIC-17	Vapores de columna a planta azufre

### 2.11.3.4. TEMPERATURA

<b>INSTRUMENTOS DE INDICACIÓN DE TEMPERATURA</b>	
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
TI-1	Impulsión B-01
TI-2	Salida carcasa E-01
TI-3	Salida tubos E-01
TI-4	Entrada carcasa E-01
TIC-5	Amina pobre hacia filtros
TI-7	Zona superior regeneradora
TI-8	Fondo regeneradora
TI-13	Salida vapores E-02
TI-14	Salida condensador E-03
TIC-15	Salida condensador E-03
TI-16	Zona inferior regeneradora
TI-18	Salida vapores de regeneradora
TI-19	Reflujo de columna

### 2.11.3.5. OTROS INSTRUMENTOS

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
HS-11	Selector
XV-1	Válvula todo/nada en la aspiración B-01
XV-2	Válvula todo/nada en la aspiración B-02
PSV-2	Válvula seguridad botellón V-01 para sobrepresión
LAL-11	Bajo nivel del fondo columna

### 2.11.4. PRINCIPALES LAZOS DE CONTROL

Se divide el sistema de control en cuatro apartados para una mayor claridad en los lazos y controladores principales:

- Circuito de carga.
- Regeneradora de amina.
- Circuito de amina.
- Filtración.

#### Circuito de carga

- La amina rica procedente del proceso de absorción entra por la línea de 10" al botellón de carga V-01. En la línea de carga está el lazo de control FIC-11/PIC-11 con un selector HS-11 para mover la válvula de control. Este lazo tiene la función de mantener el H<sub>2</sub>S disuelto en la amina aplicando el control de la presión. El FIC-11 sirve para conocer la cantidad de amina rica recibida.

- El botellón dispone de una línea de 2" de aporte de condensado, controlado por FIC-1. Este condensado sirve para diluir la amina pobre que se aporta al botellón.
- Del fondo del botellón V-01 aspira la bomba B-01. En la aspiración se encuentra la válvula todo/nada XV-1, para caso de fuego. La impulsión de las bombas se mide en FIC-3.
- El botellón dispone de una línea de 3" para el drenaje manual de los hidrocarburos líquidos. Para el control de estos hidrocarburos dispone del indicador de nivel LI-4.
- El nivel de amina rica en el botellón se conoce por LI-20.
- En la parte alta del botellón hay una salida de gases a antorcha de 3", en ella el caudal de gases se conoce por FI-2.
- El botellón dispone de la válvula de seguridad PSV-2 que actúa por sobrepresión del botellón. Su presión de disparo es de 3.55 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### Regeneradora de amina

- La carga de amina rica a la columna se controla mediante FIC-3, recibiendo aguas abajo de la válvula de control el reflujo de la columna. La válvula de control se encuentra situada lo más cerca posible de la columna.
- Por la cabeza de la columna salen los gases que abandonan la torre por una línea de 10" en la que se encuentra el TI-18 que controla la temperatura de cabeza de la columna. A continuación se encuentra la válvula de seguridad, con descarga a antorcha a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>.
- El producto gaseoso es refrigerado a su paso por el cambiador E-03 y enviado por la línea de 8" al botellón V-02. A la salida del cambiador se dispone de un indicador de temperatura TI-14 y del controlador TIC-15 que actúa sobre el caudal de agua refrigerante.
- En el botellón V-02 se separan los gases ácidos del agua la cual es devuelta al regenerador actuando de reflujo y al mismo tiempo para reposición de agua en el regenerador. En su camino se encuentra el medidor de caudal FI-5, pasando por la válvula automática LIC-12 y el indicador de temperatura TI-19.
- El gas ácido producido se divide en dos corrientes, una hacia la planta de azufre y la otra hacia la red de antorcha. El caudal de ésta última se controla con PIC-16 y es medido con FI-6, mientras que el gas enviado a la unidad de azufre se

controla con PIC-17 y es medido con FI-7. Ambos controladores son un rango partido del transmisor TI-16, es decir, cuando uno empieza a abrir, el otro ya estará completamente abierto.

- El calderín se calienta con vapor de  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$  regulado con el FIC-8. La corriente de vapor que va del calderín a la columna regeneradora cuenta con un indicador de temperatura TI-13.
- La regeneradora dispone de dos manómetros PI-13 y PI-14 que indican la presión en el fondo y cabeza de la columna respectivamente. Del PI-14 sale la señal que por alta presión activa el disparo en la sala de control.
- La columna dispone del indicador PDI-15 para conocer la pérdida de carga de la columna, del nivel de fondo LIC-5 que actúa en cascada sobre la carga a la columna, de la alarma de bajo nivel LAL-11 y de las indicaciones de temperatura en cabeza, TI-7, y en el fondo, TI-8.
- En el V-02 se mantiene el nivel gracias a LIC-12, regulando el caudal de agua que sale del fondo y que se envía como reflujos a la regeneradora. Además, dicho botellón dispone del indicador de nivel LI-13 que indica el nivel de hidrocarburos y cuya purga hacia drenajes es manual.

#### Circuito de amina

- A la salida del fondo de la columna C-01, la disolución de amina es impulsada por la bomba B-02, en cuya aspiración está la válvula todo/nada XV-2 de actuación en caso de fuego.
- La amina pobre procedente de E-01 se enfría en E-04, a cuya salida se encuentra TIC-5 que actúa sobre el caudal del agua de refrigeración.
- El cambiador de amina rica/pobre E-01 cuenta con los cuatro indicadores de temperatura TI-1, TI-2, TI-3 y TI-4, en los cuatro conductos principales de este equipo. El TI-1 en la entrada a carcasa, el TI-2 en la salida tubos, el TI-3 en la salida de la carcasa y el TI-4 en la entrada de los tubos.
- Cuanto más se enfríe la amina pobre, mejor será absorbido el  $\text{SH}_2$ . Sin embargo, si se baja la temperatura por debajo de la de entrada del gas puede provocar una condensación de hidrocarburos que conlleva la espumación. La corriente de amina pobre se mantiene 10 grados por encima de la del gas de alimentación al absorbedor. TI-3 permite bypassar la disolución de amina pobre por el precalentador E-01 para mantener esos 10 grados de diferencia.

### Filtración

- En el filtro F-01 se mantiene una diferencia de presión indicada por PDI-9. Esto es porque el mejor método de control de la operación del filtro es controlar la caída de presión a través de los mismos. Por ello, cuando se alcanza una presión diferencial próxima a  $1 \text{ Kg/cm}^2$ , se hace necesario una limpieza. En caso de alarma, las partes internas del filtro se pueden dañar si no se actúa con prontitud. Cuando la diferencia de presión alcanza de  $1.2$  a  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$  se debe dejar fuera de servicio el filtro para el cambio de los elementos filtrantes.
- El filtro de carbón dispone del indicador PDI-7 para conocer la pérdida de carga a través del carbón. Al igual que para el filtro mecánico, cuando la pérdida de carga sobrepasa  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$  se debe dejar fuera de servicio para su limpieza.
- Durante la operación normal el flujo de amina filtrada se controla mediante FIC-4, en tanto que la amina no filtrada se fija mediante la válvula de globo situada en el bypass del filtro de carbón.

### **2.11.5. VALVULAS DE CONTROL**

Las válvulas de control son el elemento final de control más ampliamente utilizado en la planta que se trata. Actúan como una resistencia variable en la línea de proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y, en consecuencia, el flujo mismo, siendo reguladores de flujo.

Cada una de ellas contiene un dispositivo neumático (motor de la válvula) que mueve el vástago de la válvula mediante la presión varía en el diafragma de la misma. El vástago posiciona el obturador en el orificio del cuerpo de la válvula. Al tiempo que la presión aumenta, el obturador se desplaza hacia abajo y disminuye el paso de fluido a través de la válvula. La válvula está también diseñada para aumentar el flujo a su través. El motor está construido para que la posición del vástago sea proporcional a la presión en la parte superior de la válvula. La mayoría de válvulas comerciales tienen su apertura y cierre total a las presiones de 3 y 15 psig.

El obturador y el asiento pueden dimensionarse según diversas relaciones entre la posición del vástago y el tamaño de la abertura.

### Construcción de las válvulas de control

El elemento final de control más común en los procesos químicos es la válvula neumática de control, la cual regula el caudal de los fluidos.

La válvula de control es en esencia una resistencia variable al flujo del fluido, en la cual el flujo puede cambiar por una señal del controlador del proceso. Sus componentes principales son el actuador y la válvula. La válvula se divide en cuerpo y asiento. El cuerpo consiste en una carcasa para montar el actuador y las conexiones de unión entre la válvula y las líneas de aporte y una línea de suministro. El asiento, que se encuentra junto al cuerpo, consiste en el vástago, una válvula de asiento y el obturador. El actuador mueve el vástago y la presión en un diafragma de carga por resorte varía. El vástago mueve el obturador en el asiento con el fin de cambiar la resistencia al flujo a través de la válvula.

Para la mayoría de los actuadores, el movimiento del vástago es proporcional a la presión aplicada en el diafragma. En general, este tipo de actuador puede usarse para hacer funcionar otros que muevan el vástago de las válvulas. A medida que la presión varía alrededor de su rango normal de operación (de 3 a 15 psig) el rango de movimiento del vástago varía de una fracción de pulgada hasta varias pulgadas dependiendo del tamaño del actuador.

Un aumento en la señal de presión sobre el diafragma y la placa de apoyo, provoca la bajada del vástago, lo que hace que disminuya el área transversal para el flujo entre el obturador y el asiento, y así reducir o incluso cortar el flujo. La acción contraria se consigue cuando se diseña el actuador de manera que la presión se aplique a la parte inferior del diafragma, de manera que un aumento de presión se traduce en una subida del vástago. Otra opción es dejar el actuador como está e invertir el obturador en el vástago colocándolo por debajo del asiento.

En las válvulas de un asiento, el obturador debe abrir en contra del salto de presión a través de la válvula. Si la caída de presión es grande, el actuador necesitado debe ser mayor y más caro. Otra manera de resolver este problema es mediante una válvula de

doble asiento, que cuenta con dos obturadores en el vástago cada uno de los cuales con un asiento. La válvula estará diseñada de forma que la caída de presión a través del asiento A tiende a abrir el obturador y la caída a través del asiento B tiende a cerrarlo. Este balance de fuerzas reduce el esfuerzo necesario para abrir la válvula y se necesitará un actuador menor y más barato. La desventaja de este tipo de válvulas es que es difícil que cierre herméticamente, lo cual la hace apropiada para procesos en los que la válvula se usa para reducir el flujo pero nunca debe operar cerca de la posición cerrada.

### Característica de las válvulas

La relación entre el flujo que pasa a través de la válvula y la posición del vástago (carrera) se denomina curva característica de la válvula, y debe ser convenientemente descrita por medio de un gráfico. Según esta característica, las válvulas se pueden clasificar en tres tipos: sensibilidad negativa, lineal y sensibilidad positiva.

Las curvas características de las válvulas se obtienen experimentalmente para cualquier válvula midiendo el flujo a través de la misma como una función de la carrera bajo condición de una presión aguas arriba y aguas abajo constantes. Se puede afirmar que el propósito de la caracterización del flujo, es obtener en el proceso completo una ganancia relativamente constante para la mayoría de las condiciones de operación del proceso.

Se debe distinguir entre la característica de flujo inherente y la característica de flujo en instalación. La primera se refiere a la característica que se observa cuando existe una caída de presión constante a través de la válvula. La segunda se refiere a la característica que se observa cuando la válvula esta en servicio y hay variaciones en la caída de presión, así como otros cambios en el sistema.

El retardo dinámico está causado por el espacio debajo del diafragma de la válvula, por la resistencia al flujo de aire en la parte superior y la inercia del vástago y el obturador. Por otro lado, la histéresis, causada por la fricción entre el vástago y la empaquetadura, es un fenómeno no lineal. La presencia de histéresis puede provocar que la señal de control muestre una oscilación o fluctuación denominada ciclo límite.

Para reducir los efectos de la histéresis y acelerar la respuesta de la válvula, se puede anexionar a la válvula un posicionador que actúa como un controlador de ganancia elevada que recibe una señal de set point del controlador primario y una medida de la posición del vástago en la válvula. En este sentido, se estaría introduciendo una forma de control en cascada. El posicionador, atornillado al actuador de la válvula, tiene un brazo que está unido al vástago para detectar la posición del mismo.

### **2.11.6. TIPOS DE CONTROL**

Un circuito típico de control de flujo basa su funcionamiento en que el valor real del flujo en la línea es transmitido al controlador. La presión del aire al diafragma de la válvula de control será regulada para dar el caudal necesario.

En cuanto al control de nivel, en una refinería se encuentran varias formas de llevarlo a cabo. En todos ellos el nivel de líquido se transmite al controlador, el cual cambia la presión de aire sobre la válvula de control para mantener el nivel deseado. Si el nivel es demasiado alto, el controlador incrementará la presión de aire sobre el diafragma de la válvula de control, causando así la disminución del nivel en el equipo. Mientras que el nivel en el equipo se mantiene dentro del rango normal de operación, el aire llega a la válvula de control a 9 psig ( $0.6 \text{ Kg/cm}^2$ ) y ésta se abre el 50%. Si el nivel subiera, el aire llega a la válvula de control a 15 psig ( $1.1 \text{ Kg/cm}^2$ ) y ésta se abre totalmente. Si por el contrario, el nivel bajara, el controlador envía una señal de 3-4 psig ( $0.2\text{-}0.3 \text{ Kg/cm}^2$ ) a la válvula de control y ésta se cierra hasta sólo un 10% de abertura.

El control en cascada incluye dos controladores y dos elementos medidores. En él la salida del controlador primario (por ejemplo, el controlador indicador de nivel LIC-5) se utiliza para ajustar el set point del secundario, el cual es utilizado a su vez para controlar la variable. Así, el controlador primario ejerce una acción indirecta sobre la variable de control. Este tipo de control es muy útil para reducir el efecto de las perturbaciones que discurren lentamente a través del sistema de control. El lazo interno produce el efecto de reducir el retardo en el lazo exterior, con el resultado de que el sistema en cascada responda más rápidamente con una mayor frecuencia de oscilación.

Los sistemas de alarma como el LAL-11 se instalan en áreas críticas donde se requiera atención inmediata cuando una variable de proceso se encuentra en una zona peligrosa en cuanto a operación. En las áreas críticas de proceso ciertas presiones, temperaturas y niveles activan el sistema de alarma. Cuando el operador lleve estas variables a una zona de operación segura, la luz de la alarma se apagará.

En general, el control que se lleva a cabo en las plantas de refinería es el de tipo distribuido, ya que son sistemas de proceso con cincuenta o cien lazos de control.

Los módulos de equipos de control son los siguientes:

- Procesador de control
- Procesador de aplicación
- Estación de trabajo
- Módulo bus

Los tres primeros se comunican entre sí a través de una línea bus de información. El modulo bus sirve como dispositivo de interconexión entre transductores y válvulas.

El procesador de aplicación es un microprocesador (u ordenador) en el que los programas (software) se almacenan para realizar las tareas necesarias y para gestionar la comunicación entre módulos.

La estación de trabajo está conectada a un teclado, ratón, monitor e impresora para que los operadores interactúen con el sistema. El operador puede así cambiar los set points y parámetros de control, cambiar de automático a manual, confirmar las alarmas, y realizar otras tareas necesarias para operar un sistema de control compuesto por varios lazos. A veces se necesitan varias estaciones de trabajo para garantizar la información en varios lugares de la planta, pero siempre es una la que en cada momento tiene la custodia del control del sistema.

### **2.11.7. TOMA DE MUESTRAS**

Es importante conocer las técnicas analíticas y pruebas que existen para estudiar la calidad de la disolución de amina. Para la mayoría de las pruebas, tanto los vendedores como los laboratorios comerciales cuentan con los procedimientos y equipos para su correcta realización.

Para tener la capacidad de realizar los análisis de la manera apropiada lo primordial es la experiencia adquirida. Es importante elegir unos laboratorios con las instalaciones precisas para llevarlos a cabo y que distinga los resultados que muestren que algo falla y cuándo se requiere repetir las pruebas para dar una solución más exacta al problema que se haya planteado. Unos datos incorrectos sólo conducen a localizar los fallos en la dirección equivocada y a la pérdida de mucho tiempo y dinero intentando atacar un problema que no existe, y, lo que es más importante, problemas que verdaderamente estén ocurriendo pueden no atacarse debido a unos resultados inadecuados, teniendo lugar la corrosión, espumación, la degradación de la disolución y la pérdida de capacidad en la planta de amina.

Cuanto más se conozcan las pruebas a realizar y cuales son los resultados a esperar, mayor será la probabilidad de mantener la disolución en las condiciones correctas de operación. Al menos una vez al año se debe realizar el conjunto completo de pruebas de análisis a las disoluciones de amina para asentar las bases o disponer de marcas históricas del sistema. Se deben realizar las pruebas importantes bastante a menudo para contar con unos valores de referencia ante desequilibrios en el sistema o cambios en las condiciones de operación para así poder relacionarlos con cambios en la calidad de la disolución. A menudo se encuentran casos en los que los resultados de los análisis muestran una disolución severamente degradada, debido a que la franja de tiempo entre las que se realizan los análisis es tan grande que la velocidad de degradación y los motivos que la provocaron no se determinaron con ninguna exactitud.

Un buen control de la disolución nos lleva a una operación más fiable, menores tiempos muertos, reducir la adición de disolvente puro y a reducir los costes de corrosión y mantenimiento. El dinero gastado en un buen programa de análisis se ve compensado en varias veces por lo que ganamos al obtenerlo.

La siguiente lista de análisis, aunque no es exhaustiva, incluye la mayor parte de pruebas que se realizan a las disoluciones de aminas. No es necesario realizarlas todas en cada intervalo de pruebas, y algunas pruebas pueden eliminarse del programa de pruebas si se detecta que los resultados históricos de dicha prueba muestran su incapacidad para detectar la presencia de un componente determinado en la amina.

#### Pruebas para la concentración de amina

- A) Nitrógeno total Kjeldahl (TKN)
- B) Titulación alcalina activa (AA)
- C) Cromatografía de gases (GC)

#### Cargas de gas ácido

Diariamente se debe llevar a cabo la determinación de estos valores mediante métodos químicos húmedos.

#### Análisis de agua de Karl Fischer

Este método se utiliza para determinar la cantidad de agua en las muestras de amina. Esta prueba puede realizarse trimestralmente o más frecuentemente si la instalación cuenta con un aparato de Karl Fischer.

#### Análisis de sales térmicamente estables (sales de amina residuales)

Mediante este método se calculan las sales de amina residuales totales y se expresan en tanto por ciento en peso de amina. Esta prueba no puede diferenciar entre sales orgánicas e inorgánicas, por lo que en el resultado se asume que todas las sales se presentan como unidas a la amina. Esto es mentira si existen otros cationes como es el caso del sodio presente en disolución.

### Análisis de aniones

- A) Cromatografía de iones.
- B) Cromatografía iónica de exclusión.

### Análisis de metales

Los metales se analizan mediante el plasma acoplado inductivamente. Valores elevados para el sodio o aluminio, sin la presencia de suficientes iones similares que los contrarresten, como cloruro o sulfato, indican que las bases (KOH o NaOH) se han añadido al sistema. El resto de metales indican generalmente la corrosión por los productos, sin embargo, su presencia no siempre está relacionada con el ataque corrosivo de la planta. Si están presentes, en especial el cromo y níquel, significa que tiene lugar un ataque al acero inoxidable. El contenido en hierro está menos relacionado con la corrosión, dado que el hierro puede entrar con la entrada de la corriente de gas.

Esta prueba es útil conocerla y se debe hacer de manera anual o cuando el color de la disolución haya cambiado de manera notable a un color primario (rojo, azul, verde, etc.) Las sales metálicas disueltas provocan que la disolución cambie de color al de la sal en cuestión.

### Análisis de sólidos totales en suspensión

Los resultados se dan en ppm máscas o mg/L e indican los sólidos libres presentes en la disolución.

### Contenido en cenizas – Sólidos disueltos totales

Para determinar el contenido en cenizas o el de sólidos disueltos totales. El resultado se da en ppm máscas o tanto por ciento en peso.

### Análisis para identificar los sólidos cualitativamente

El procedimiento de esta prueba se basa en tomar una muestra sólida e imbuirla en diferentes disolventes para determinar cuál disuelve al sólido. Varias pruebas puntuales

pueden hacerse a la muestra disuelta para determinar a presencia de hierro (+2 o +3), carbonatos, sulfuros, asfaltenos, ceras, cloruros, etc.

### Pruebas para espumas

Las pruebas para las espumas se realizan en la instalación haciendo pasar una porción de gas a través de un cristal cerámico sinterizado y anotando la altura y estabilidad de la espuma.

La ventaja de este método radica en que una gota de antiespumante que se añade a la disolución con espuma indicará la posibilidad de controlar dicha espuma con un determinado agente antiespumante. Se pueden probar varios tipos de antiespumante para encontrar el que sea mejor para la aplicación en cuestión.

### **2.11.8. CONTROL DE LA CALIDAD DE LA AMINA**

Cuando la formación de espuma tiene lugar, normalmente es necesario tomar una medida provisional consistente en usar agentes antiespumantes para reducir la tendencia de la disolución a formar espuma hasta que se encuentre el remedio definitivo. El uso de agentes antiespumantes debe considerarse una medida a corto plazo antes que una reparación del problema irreversible. La mejor solución decisiva es encontrar la fuente de la contaminación que provoca las espumas y prevenir una contaminación futura.

Puede ser necesario evaluar varios antiespumantes para determinar cuál será la mejor selección. Todo antiespumante considerado debe probarse antes de usarlo en el sistema de aminas. Un simple test de agitación es lo apropiado para prever los agentes antiespumantes más adecuados.

Los agentes antiespumantes son normalmente de dos tipos, con base de silicona o alcoholes de cadena larga. Las pautas de los fabricantes a seguir para la inyección de antiespumantes se deben tener en cuenta ya que su adición excesiva puede agravar el problema de las espumas. Comprobar si el filtro de carbón elimina dicho agente antiespumante.

Los antiespumantes con base de silicona normalmente se eliminan en el filtro de carbón. Con el filtro de carbón en servicio, se precisará la adición continua de este tipo de antiespumante. Por otro lado, es recomendable que el antiespumante se añada en pequeñas dosis periódicas a medida que se vaya necesitando para controlar de esta manera la espumación. Por todo ello, se debe tener mucho cuidado para prevenir la sobredosis de antiespumante en la disolución de amina.

Otra práctica común para el conocimiento de la calidad de la amina es la observación de la coloración de la misma, ya que cualquier problema en la unidad de aminas se mostrará primero por coloración de la amina que estará cargada con partículas. En la siguiente tabla se expone lo anterior:

APARIENCIA	CALIDAD DE LA AMINA EN CIRCULACIÓN
Agua clara (de transparente a amarillo claro)	Apariencia normal
De amarillo oscuro a naranja claro	Degradación de a mina en circulación. Programar el cambio del carbón activo en filtro.
Coloración azulada clara	Presencia de cianidas (Hierro-cianidas-complejo color azul prusia). Pequeño efecto en la amina excepto en el caso de un contenido elevado de SH <sub>2</sub> .
Grisáceo pálido claro	Aspecto de la amina aún correcto
Verde y transparente	Presencia de partículas finamente divididas de FeS (< 1 µm). Aspecto de la amina aún correcto.
Negro con presencia de depósitos	Presencia de partículas de FeS en grandes cantidades con un diámetro mayor de 3 µm. Formación de FeS (corrosión/erosión)
De marrón oscuro a rojo	Presencia de descomposición térmica de la amina. Oxidación de los componentes (O <sub>2</sub> )

## 2.12. CUESTIONES OPERACIONALES EN LA REGENERACION DE AMINA

Existen cierto número de cuestiones operacionales que se enumeran a continuación:

- A) Fallos al alcanzar las especificaciones del producto.
- B) Corrosión.
- C) Formación de espumas.

- D) Emulsiones/Remanentes.
- E) Perdidas excesivas de disolución.
- F) Sales térmicamente estables.
- G) Productos de degradación.
- H) Frecuencia de cambio de filtros.

A menudo una de estas dificultades provoca o influencia otra de ellas. No todos los sistemas de amina experimentan el mismo grado de dificultades operacionales. A veces un problema continuado que afecta a un sistema de amina ocurre sólo raramente en otro. Varias de estas dificultades operacionales (las más comunes) se discuten más abajo.

### **2.12.1. FALLOS AL ALCANZAR LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO**

Se trata de las dificultades para satisfacer las especificaciones del producto, típicamente la especificación para el  $H_2S$ , ya sea la corriente tratada líquida o gaseosa es el resultado de un contacto pobre (pérdida de eficiencia) entre el gas y el disolvente de la amina, provocado por problemas de espumas o de tipo mecánico en la columna regeneradora. En el caso de las espumas, el gas permanece encerrado en burbujas, incapaz de contactar con el disolvente, dando como resultado una escasa transferencia de materia del gas ácido a la amina. En términos de daño mecánico, si el relleno estuviese dañado, no hay suficiente superficie de contacto para un endulzamiento adecuado.

Otras explicaciones para este tipo de problema estarán relacionadas con la disolución de amina: la velocidad de circulación demasiado baja, una disolución muy diluida, la temperatura elevada o una carga de gas residual alta en la amina pobre debido a una regeneración defectuosa o un cambiador de calor amina rica/pobre con filtraciones. Los requerimientos de la regeneración para alcanzar una carga de la amina pobre que sea adecuada conlleva una relación de reflujo entre 1 y 3. Lo típico es que la corriente de reflujo sea del 10 al 14 % del caudal de la disolución de amina rica.

## 2.12.2. CORROSION

La mayor parte de las causas de problemas en las plantas de aminas provienen de deficiencias en el diseño o en la manera de operar de la unidad. Sin embargo, la experiencia muestra que aunque una unidad esté bien diseñada y opere correctamente, sufrirá algunos problemas relacionados con la corrosión durante su ciclo de vida. Por ello, el conocimiento de las causas de la corrosión en una planta de amina es esencial para encontrar la solución de dichos problemas.

Algunas zonas en los sistemas de amina son más propensas a experimentar la corrosión que otras. Los equipos que sufren mayores problemas de corrosión son el regenerador, calderín y el intercambiador de calor de amina rica/pobre. Hay numerosos factores que contribuyen a la corrosión los cuales revisaremos a continuación:

- A. Concentración de amina
- B. Carga de gas ácido
- C. Sales estables térmicamente
  - Controlarlo entre 1-2% en peso (3% en peso máximo)
- D. Temperaturas elevadas
  - Mantener amina rica por debajo del punto de separación
- E. Velocidades excesivas de la amina
  - < 3 ft/s en cambiadores
  - < 7 ft/s en conducciones

### Factores de la corrosión

1. Concentración de amina. Cuanto mayor sea la concentración de la amina, más corrosiva será la disolución.
2. Carga de gas ácido. Los límites de operación vienen establecidos por la carga de gas ácido de la amina rica con el fin de limitar la fuga del gas, lo que juega un papel significativo en la corrosión de la planta de amina. Si se da el caso de que la carga del disolvente sobrepase los límites adecuados, se necesitará algún medio de inhibición ante la corrosión o cambios en los materiales de construcción que no incluyan todos los que van del acero al carbono al inoxidable. La clave para determinar la máxima carga en la amina rica viene dada por la proporción  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  del gas de alimentación.
3. Salts térmicamente estables. Los HSS son los productos de reacción de la amina con ácidos más fuertes que el  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CO}_2$ , los cuales no se disocian en el

regenerador y son por ello térmicamente estables, corrosivos y aumentan la corrosividad de la disolución. La concentración de los aniones de HSS, en especial de los aniones de ácidos orgánicos (acetato, formato y oxalato) deben monitorizarse rutinariamente por un analizador de aniones de HSS.

<b>Acetato</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>Cloruro</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>Formato</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>Oxalato</b>	<b>500 ppm</b>
<b>Sulfato</b>	<b>500 ppm</b>
<b>Tiocianato</b>	<b>10000 ppm</b>
<b>Tiosulfato</b>	<b>10000 ppm</b>

#### Valores de control de HSS

4. Temperaturas elevadas. La existencia de temperaturas elevadas en el proceso promueve la fuga de gas ácido a la vez que afecta al pH de la disolución de amina, haciendo que éste descienda. Deben evitarse tanto los calderines de aceite caliente como los de encendido directo, aunque si son necesarios, debe tenerse sumo cuidado al diseñar el calderín.
5. Velocidades elevadas. La velocidad de la disolución tratada se limita para controlar la corrosión/erosión causada por la presencia de partículas sólidas así como la separación del gas ácido debido a una caída de presión excesiva. Los codos de radio largo deben utilizarse donde sea factible en la unidad de amina.

### 2.12.3. FORMACIÓN DE ESPUMAS

La espumación de la disolución de amina constituye, probablemente, el problema más persistente y preocupante que encontramos en las operaciones de endulzamiento en refinería. Contribuye significativamente a que se den pérdidas excesivas de disolución por la entrada y remanente de amina, y también a la reducción de la capacidad de tratamiento por operaciones inestables y productos fuera de especificación.

La espumación tiene un efecto directo sobre la capacidad debido a la pérdida del propio contacto vapor-líquido, a las pérdidas de amina y a una pobre distribución de la disolución. Los indicadores de que se ha producido espuma son una velocidad elevada de remanente de disolución, el cambio irregular del nivel del líquido, un aumento agudo

del flujo de gas separado o un cambio repentino en la eficiencia de la eliminación de gas. La espumación tiene lugar por cambios en la química de la superficie de la disolución. Los factores que provocan las características de esta espumación generalmente disminuyen la tensión superficial o aumentan la viscosidad del líquido. La espumación de las disoluciones de amina se atribuye a la contaminación por una de las siguientes:

- Sólidos suspendidos y materia particulada.
- Hidrocarburos líquidos.
- Ácidos orgánicos en el gas de entrada, que reacciona con la amina para formar un material jabonoso.
- Agentes surfactantes contenidos en los inhibidores, procesadores de fluidos, aceites de compresores, lubricantes de bombas y lubricantes de válvulas.
- La degradación de la amina y los productos de descomposición.
- Sales estables térmicamente (HSS).

Estos contaminantes junto con las condiciones del proceso, la temperatura y la presión, actúan perturbando las características de la capa superficial controlando la formación y estabilidad de la espuma y la elasticidad de la película y su drenaje. Una amina limpia nunca formará una espuma estable. Cualquier contaminante que disminuya la tensión superficial de la disolución y aumente la viscosidad puede provocar la estabilidad y la tendencia a formar espumas.

El  $H_2S$  reacciona no solamente con la amina, sino que también lo hace con la metalurgia de la planta de tratamiento de gas, que es de acero al carbono, y forma sulfuro de hierro. Adicionalmente, las partículas finamente divididas de sulfuro de hierro pueden entrar en el sistema de amina junto al gas ácido. Durante un cierto periodo de tiempo, el sulfuro se deposita a lo largo y ancho de la planta, formando una fina capa protectora que previene de la corrosión adicional y se mantiene inalterable. Sin embargo, si la velocidad de la disolución de amina es excesiva, una porción de esta capa se va eliminando continuamente lo que dejará el metal expuesto a sufrir un nuevo ataque corrosivo. El sulfuro de hierro forma partículas muy finas y tiende a acumularse en la

superficie de la disolución aumentando su viscosidad y retardando la migración del líquido a lo largo de la pared de las burbujas cuando se forma la espuma. Dichas partículas tienden a estabilizar la espuma retardando el drenaje de la película encapsulando las burbujas de gas, lo que da lugar a la espuma.

El sulfuro de hierro es el material particulado más comúnmente encontrado en disoluciones de amina. Sin embargo, en sistemas que no contengan  $H_2S$ , se forman carbonatos y óxidos de hierro. Adicionalmente, las partículas entran en el sistema de amina con el gas alimentado o con el agua aportada. Los sólidos que entran a través de la entrada de gas incluyen partículas de herrumbre, suciedad, escama de tubería, sales y sulfuro de hierro. La espumación de la amina es el problema operacional más común provocado por niveles de partículas elevados que pueden incluso dañar el relleno y contaminar los cambiadores de calor.

La eliminación de la materia particulada se lleva a cabo por la filtración de la amina circulante. Con una adecuada separación, preparación del gas de entrada y sistema de filtrado, la reducción de la contaminación por partículas es exitosa. Adicionalmente, se instala el filtro de carbón para eliminar también los contaminantes superficialmente activos como son los hidrocarburos.

**Remanentes en equipos aguas abajo.  
DP elevado o irregular en el absorbedor/desorbedor.  
Nivel irregular en absorbedor/desorbedor.  
Flujo de alimentación irregular en desorbedor.  
Disolución irregular en tanque separador.  
Nivel y separación del flujo gaseoso.  
Aumento repentino de la eficiencia de eliminación,  
Seguido de una caída pronunciada.**

#### **Síntomas de la espumación**

#### 2.12.4. PERDIDAS EXCESIVAS DE DISOLUCION

De mayor a menor importancia, las causas más comunes por las que hay pérdidas de disolvente son: 1) mecánicas, 2) arrastre debido a espumas y solubilidad, 3) vaporización, 4) degradación. La vaporización y la degradación comprenden tan sólo el 3% del total de las pérdidas.

Cuando se revisan los problemas de pérdida de disolución, las dos áreas en las que centrarse son A) arrastre y B) mecánica. Una espumación excesiva en la disolución puede contribuir a las pérdidas debido a que habrá arrastre mecánico. La integridad mecánica del relleno del desorbedor debe verificarse. Si el arrastre es persistente, se requiere la instalación de un equipo separador aguas abajo como puede ser un sistema de lavado con agua para eliminar la amina que ha entrado.

**MECÁNICOS:**

- Tamaño pequeño del desorbedor/absorbedor.
- Platos operando por encima de inundación.
- Platos obturados o dañados.
- Distribución pobre de amina.
- Eliminador de niebla dañado.

**ARRASTRE:**

- Espuma (G/L)
- Emulsión (L/L)
- Solubilidad.

**VAPORIZACIÓN**

**DEGRADACIÓN**

#### Fuentes de las pérdidas de disolución excesivas

#### 2.12.5. SALES TERMICAMENTE ESTABLES (HSS)

Entre los principales problemas asociados con la contaminación del sistema de amina por HSS se incluye: 1) disminución de la capacidad del sistema de amina, 2) corrosión excesiva, 3) problemas operacionales causados por espumación y corrosión, lo que resulta en unas pérdidas excesivas de amina, unos costes elevados de cambio de filtro y un bajo rendimiento del sistema de amina.

El contenido en HSS de la disolución de amina se determina por un método de intercambio de iones/titulación que determina el total de equivalentes de todos los aniones presentes en dicha disolución, y sirve para informar acerca de la cantidad de amina que se encuentra en forma de sal de amina. Este método no distingue entre HSS en amina y HSS inorgánico (sodio [Na] o potasio [K]). La comparación del HSS por titulación se complementa con cromatografía de iones (IC) y análisis de cationes con lo que se determina el Na y K, lo cual ayuda a su vez a determinar qué cantidad de HSS hay orgánica e inorgánica.

Los precursores del HSS se encuentran en gran número de aplicaciones en refinería, como por ejemplo en los ácidos carboxílicos (fórmico, oxálico y acético) responsables de la contaminación del HSS, proveniente a menudo de fuentes como el FCC y el coque. Algunos de los aniones que encontramos en el HSS son acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), formiato ( $\text{HCOO}^-$ ), tiocianato ( $\text{SCN}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) y tiosulfato ( $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$ ). El abastecedor de amina debe llevar a cabo un control rutinario de los siguientes aniones de HSS: 1) acetato, 2) glicolato, 3) formiato, 4) cloruro, 5) sulfito, 6) sulfato, 7) oxalato, 8) tiosulfato, 9) tiocianato. Adicionalmente, el proveedor debe realizar un análisis de cationes para determinar los niveles de K y Na.

## 2.13. BIBLIOGRAFIA

- “Operaciones unitarias en Ingeniería Química”. McCabe-Smith- Harriot. Editorial McGraw-Hill, 2001. Sexta edición.
- “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”. Robert H. Perry, Don W. Green. Editorial McGraw-Hill, 1999.
- “Petróleo y gas natural: industria, mercados y precios”. Enrique Parra Iglesias. Editorial Akal economía actual, 2003.
- “Operaciones de transferencia de masa”. Robert E. Treybal. Editorial McGraw-Hill, 1980. Segunda edición.
- “Process Systems Analysis and Control”. Donald R. Coughanowr. Editorial McGraw-Hill, 1991. Segunda edición.
- “Bombas. Selección, uso y mantenimiento”. Kenneth J. y el cuerpo de redactores de Chemical. Editorial McGraw-Hill, 1986.
- “Introducción a las operaciones de separación. Contacto continuo”. A. Marcilla Gomis. Publicación de la Universidad de Alicante, 1999. Textos docentes.
- “Control automático de procesos. Teoría y práctica”. Carlos A. Smith, Armando B. Corripio. Editorial Noriega Limusa, 1991.
- Apuntes sobre Diseño y Cálculo Mecánico de Intercambiadores de Calor Tubulares. Universidad de León. Año 2006.
- Apuntes sobre Diseño de Equipos e Instalaciones. Bombas y Compresores. Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingeniería Industrial. Año 2006.

- “Chemical Engineering Design Project. A Case Study Approach”. Martyn S. Ray, David W. Jonhston. Gordon and Breach Science Publishers, 1989.
- “Chemical Process Equipment, Selection and Design”. Stanley M. Walas. Editorial Butterworth-Heinemann, 1999.
- “Process Components Design”. P. Buthod & all, Universidad de Tulsa. Oklahoma, 1999.
- “Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”. Preparado por la división de Ingeniería de CRANE. Editorial McGraw-Hill.
- “Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor”. O. Levenspiel. Editorial Reverté, 1993.
- “Introducción a las Operaciones de Separación. Cálculo por etapas de equilibrio”. A. Marcilla Gomis. Publicación de la Universidad de Alicante, 1998. Textos docentes.
- “Plant Design and Economics for Chemical Engineers”. Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus. Editorial MacGraw-Hill, 1991. Cuarta Edición.
- “Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Cálculo”. Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa, 1992.
- “Procesos de Transferencia de Calor”. Donald Q. Kern. Editorial CECSA, 1965.
- “Procesos de transporte y Operaciones Unitarias”. C. J. Geankoplis. Editorial CECSA, 1998. Tercera Edición.
- “Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química”. E. J. Henley, J. D. Seader. Editorial Reverté, 2000.

- Apuntes sobre Diseño de equipos e instalaciones. Parte II: Equipos para Transporte de Fluidos. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ing. Química y Textil. Año 2006.
- Apuntes de la carrera de Ingeniería Química de la asignatura Proyectos y Oficina Técnica, 5º curso. Universidad de Cádiz.
- Apuntes de la carrera de Ingeniería Química de la asignatura Operaciones Básicas de Separación, 4º curso. Universidad de Cádiz.



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 3

**ANEXO: MEMORIA DE CÁLCULO**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

### 3.0. INDICE MEMORIA DE CÁLCULO

	<u>Página</u>
<b>3.0. Índice memoria de cálculo</b>	<b>1</b>
<b>3.1. Cálculos hidráulicos columna regeneradora</b>	<b>3</b>
3.1.1. Cálculo del diámetro de la columna	3
3.1.2. Cálculo de la altura de relleno	6
3.1.3. Cálculo del número de lechos	8
<b>3.2. Cálculos mecánicos columna regeneradora</b>	<b>8</b>
3.2.1. Cálculo de la presión de diseño	8
3.2.2. Cálculo de la temperatura de diseño	9
3.2.3. Cálculo de la presión de viento	9
3.2.4. Materiales y pesos	9
3.2.5. Cálculo de espesor mínimo de pared	10
3.2.6. Cálculo de espesores debidos a la presión interna	11
3.2.7. Cálculos de viento/sismo debido a presión externa	14
3.2.8. Cálculo de momentos de viento	14
3.2.9. Cálculo de esfuerzos admisibles (a tracción y compresión)	15
3.2.10. Cálculo de esfuerzos combinados	16
3.2.11. Cálculo del anillo de la base	18
3.2.12. Comprobación de los pernos de anclaje	20
3.2.13. Comprobación del equipo en la prueba hidráulica a nivel de línea de tangencia	21
3.2.14. Comprobación del faldón en la prueba hidrostática	23
<b>3.3. Cálculo térmico del cambiador E-01: Precalentador de la Alimentación</b>	<b>24</b>
<b>3.4. Cálculo térmico del cambiador E-02: Calderín de la Regeneradora</b>	<b>31</b>
<b>3.5. Cálculo térmico del cambiador E-03: Condensador de cabeza de la regeneradora</b>	<b>36</b>
<b>3.6. Cálculo térmico del cambiador E-04: Enfriador de amina pobre</b>	<b>41</b>
<b>3.7. Cálculo hidráulico botellón V-01: Separador de hidrocarburo</b>	<b>46</b>
<b>3.8. Cálculos mecánicos botellón V-01</b>	<b>49</b>
3.8.1. Cálculo de presión de diseño	49

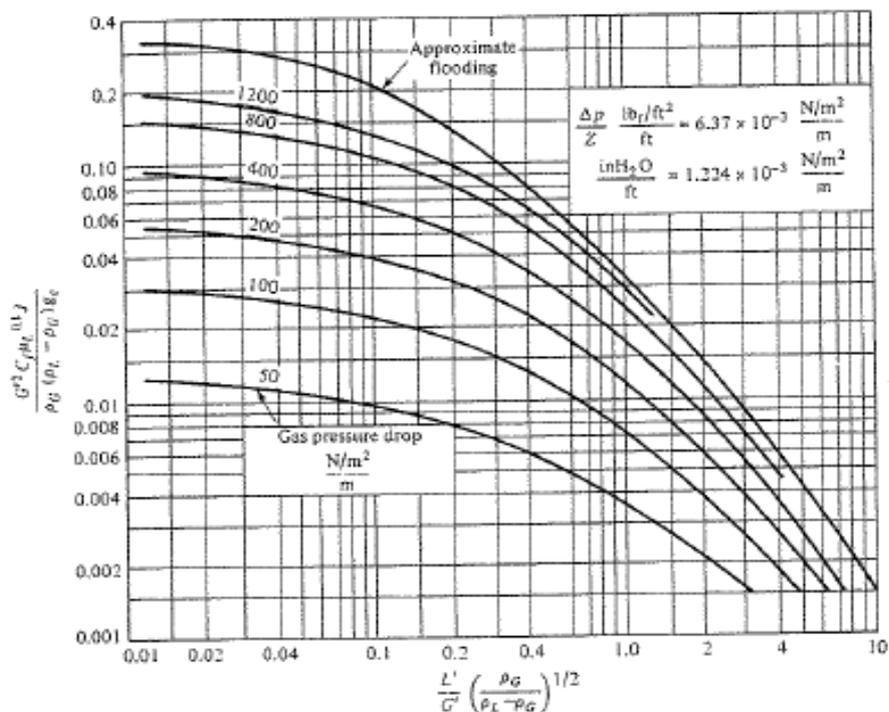
3.8.2. Cálculo de temperatura de diseño	49
3.8.3. Cálculo del espesor debido a la presión interna	49
<b>3.9. Cálculo hidráulico de botellón V-02: Botellón de reflujo</b>	<b>52</b>
<b>3.10. Cálculo mecánico del botellón V-02</b>	<b>57</b>
3.10.1. Cálculo presión de diseño	57
3.10.2. Cálculo temperatura de diseño	57
3.10.3. Cálculo de espesor debido a presión interna	58
<b>3.11. Cálculo de tuberías</b>	<b>60</b>
3.11.1. Cálculo de la pérdida de carga en las tuberías	60
3.11.2. Dimensionado de las tuberías	66

### 3.1. CÁLCULOS HIDRÁULICOS COLUMNA REGENERADORA

#### 3.1.1. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA

La determinación del diámetro de la columna regeneradora requiere de un cierto número de cálculos que dependen fundamentalmente del tipo de relleno elegido y de la caída de presión a lo largo de la columna. Este tipo de cálculos permitirán saber si la sección de la columna es la adecuada para el buen funcionamiento y garantiza el buen contacto entre el líquido y el vapor.

Existen diversas correlaciones en la bibliografía para poder estimar la caída de presión en torres de relleno. La relación más utilizada aparece recogida en la figura siguiente en donde se representa un parámetro de flujo (el subíndice L se refiere a la fase líquida y el G a la gaseosa) frente a un término que depende de los caudales en (lb/ft<sup>2</sup>h), la viscosidad (cP), la densidad (lb/ft<sup>3</sup>), el  $g_c$  ( $4.18 \cdot 10^8$  lbf/lbs<sup>2</sup>), un parámetro adimensional  $C_f$ , factor que depende del tipo y características del relleno seleccionado y J, una constante adimensional.



Este procedimiento nos permitirá una aproximación inicial al diámetro de la columna. En primer lugar, calculamos el valor para la expresión con el que entraremos en dicha gráfica que será el de la abcisa:

$$L'/G'(\rho_G / \rho_L - \rho_G)^{1/2}$$

Donde:

$L'$  = Caudal de líquido que sale de la etapa 12 (lb-mol / h)

$G'$  = Caudal de vapor que sale del calderín (lb-mol / h)

$\rho_G$  = densidad de la fase gas (lb / ft<sup>3</sup>)

$\rho_L$  = densidad de la fase líquida (lb / ft<sup>3</sup>)

Con la información obtenida con HYSYS podemos conocer los valores de dichos caudales y densidades:

$$G' = 1731 \text{ lb-mol / h}$$

$$L' = 22370 \text{ lb-mol / h}$$

$$\rho_G = 6.102 \cdot 10^{-2} \text{ lb / ft}^3$$

$$\rho_L = 60.89 \text{ lb / ft}^3$$

$$(22370/1731) \cdot (6.102 \cdot 10^{-2} / 60.89 - 6.102 \cdot 10^{-2})^{1/2} = 0.4093 \approx 0.41$$

Entro en la gráfica anterior con este valor y, llevo el punto de corte con la curva de 200 N/m<sup>2</sup> hacia el eje de ordenadas, obtengo el valor siguiente:

$$(G'^2 C_f \mu_L^{0.1} J) / [(\rho_G (\rho_L - \rho_G) g_C)] = 0.02$$

Donde:

$G'$  = Caudal de la fase gas (lb / ft<sup>2</sup> h)

$C_f$  = Factor adimensional dependiente del relleno

$\mu_L$  = viscosidad del líquido (cP)

$J$  = constante adimensional

$\rho_G$  y  $\rho_L$  = densidades del vapor y el líquido (lb / ft<sup>3</sup>)

$g_C$  = constante

A partir de este valor obtenido despejo  $G'$ , conociendo el resto de variables de la expresión:

$$C_f = 20 \text{ (anillos Pall de 2 inch metálicos)}$$

$$J = 1.502$$

$$\rho_G = 6.102 \cdot 10^{-2} \text{ lb / ft}^3$$

$$\rho_L = 60.89 \text{ lb / ft}^3$$

$$g_C = 4.18 \cdot 10^8 \text{ lb ft / lb s}^2$$

El valor de la viscosidad lo obtenemos de HYSYS:

$$\mu_L = 0.3002 \text{ cP}$$

Resultando un valor para  $G' = 1079.379 \text{ lb/h ft}^2$ . A partir de ahora y para diferenciar a este valor calculado del obtenido directamente de la simulación, al calculado se le denominará  $G''$ .

La sección (A) de la columna se despeja de la expresión:

$$G'' \cdot A = G'$$

Para ello, habrá que cambiar las unidades del caudal  $G'$  a lb/h, para lo que se necesita el peso molecular de dicha corriente, valor obtenido en HYSYS:

$$PM \text{ (salida de calderín)} = 18.34 \text{ lb-mol / lb}$$

Obtengo que:

$$G' = 31746.54 \text{ lb / h}$$

De la ecuación anteriormente indicada para obtener dicha sección y el diámetro (D) de la columna se tiene que:

$$A = 2.732 \text{ m}^2$$

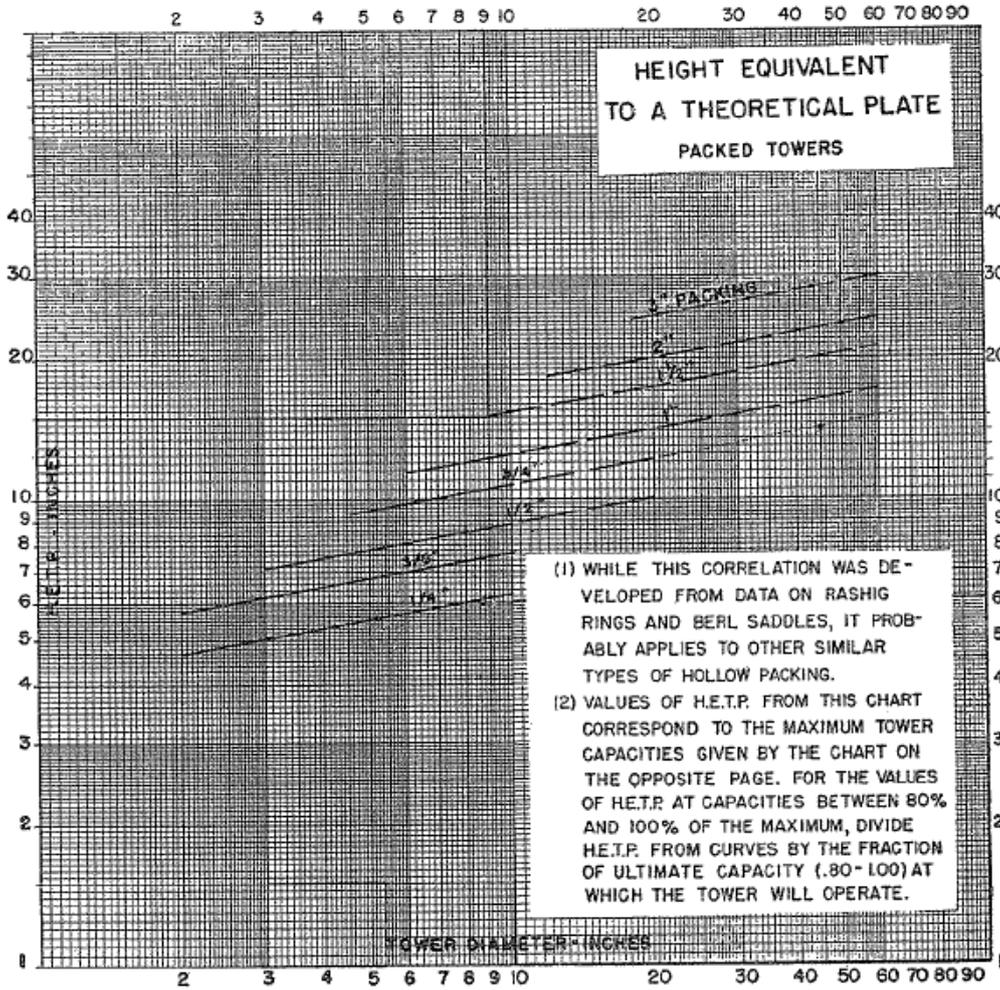
$$D = 1.865 \text{ m} = 1865 \text{ mm} = 6.118 \text{ ft}$$

HYSYS posee una herramienta de escalado denominada “Tray Sizing” con la que se obtiene un diámetro de la columna de 1830 mm, valor que utilizaremos como referencia dado que es más fiable.

### 3.1.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO

Podemos dividir la columna empacada en varias zonas, de forma que el vapor y el líquido que salen de cada una de ellas tengan concentraciones de equilibrio. Cada zona equivale a un plato teórico, y el número de zonas será el de platos teóricos a que equivale la columna. En términos aproximados, la altura de cada zona se denomina *altura equivalente de plato teórico* (HETP) y se define como la altura de relleno necesaria para que las concentraciones del líquido y el vapor que salen de él sean las correspondientes a las condiciones de equilibrio.

Este método, da buenos resultados prácticos, es el que aplicamos para obtener la altura de relleno a partir de la siguiente correlación gráfica, que relaciona el diámetro de la columna (en pulgadas) con el HETP.



El diámetro de la columna es de:

$$D = 72.05''$$

Con este dato y el tamaño de relleno elegido, 2'', se obtiene un valor de HETP en el eje de ordenadas de:

$$\text{HETP} = 25''$$

Ya que la columna tiene 12 etapas, la altura total de relleno es de:

$$\text{Altura total de relleno} = 12 \cdot 25'' = 300'' = 25 \text{ ft} = 7.62 \text{ m.}$$

### 3.1.3. CÁLCULO DEL NÚMERO DE LECHOS

Debido a que en la literatura se recomienda que la altura de un lecho de relleno nunca sobrepase los 20 ft, y dado que en este caso su valor es de 25 ft, se opta por una columna con 2 lechos de 12,5 ft cada uno.

### 3.2. CÁLCULOS MECÁNICOS COLUMNA REGENERADORA

En primer lugar, recordar las dimensiones del equipo, que figuran en la siguiente tabla:

DIÁMETRO	1830 mm
ALTURA ENTRE LÍNEAS DE TANGENCIA	11120 mm
ALTURA SOPORTE	2500 mm
ALTURA DE LECHOS	3810 mm
NÚMERO DE LECHOS	2

Este equipo debido a la naturaleza del producto con el que opera, es necesario tratarlo térmicamente una vez hecha la soldadura. El código de diseño por el que se rigen estos cálculos es el ASME Sección VIII, División 1.

#### 3.2.1. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DISEÑO

Presión que en todo caso debe ser mayor que la máxima de servicio, su valor se fija como el mayor de:

$$P \geq 1.1 \cdot \text{Presión máxima de operación (Kg/cm}^2) = 1.1 \cdot 1.75 = 1.92 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ Kg/cm}^2 = 1.75 + 2 = \underline{3.75 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$P \geq 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

La presión de diseño será, en este caso, de  $3.75 \text{ Kg/cm}^2$  (53 psig).

### **3.2.2. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE DISEÑO**

Debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual que adopte el siguiente valor:

$$T_{\text{diseño}} = \text{Temperatura máxima de operación} + 20 \text{ °C} = 115 + 20 = 135 \text{ °C} \rightarrow 136 \text{ °C (277 °F)}$$

### **3.2.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE VIENTO**

Considerando que el punto más alto de la torre se encuentra a unos 15 m de altura, que es una zona eólica de tipo “Y” y que al estar en la costa está expuesta, en las tablas obtenemos que la presión de viento (Pb) en este caso es de 110 Kg/m<sup>2</sup>.

### **3.2.4. MATERIALES Y PESOS**

Los materiales seleccionados para cada parte de la columna, así como los parámetros más importantes relacionados con estos se enumeran a continuación:

<b>CUERPO</b>	<b>A-516-60</b>
<b>FONDOS</b>	<b>A-516-60</b>
<b>FALDÓN</b>	<b>A-516-60</b>
<b>BRIDAS</b>	<b>A-105</b>
<b>PERNOS</b>	<b>A-193-B7</b>
<b>SOBRESPESESOR DE CORROSIÓN</b>	<b>6 mm</b>
<b>RADIOGRAFIADO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>EFICIENCIA DE JUNTA</b>	<b>100 %</b>

En todo momento se tienen juntas radiografiadas totalmente, consistentes en juntas a tope hechas por algún medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza, por ello la eficiencia de soldadura (E) es del 100%.

Considerando los materiales y las dimensiones anteriores, y siempre en concordancia con el código ASME Sección VIII División 1 se tiene que los pesos de la regeneradora son:

<b>PESO VACÍO</b>	<b>11400 Kg</b>
<b>BANDEJAS, RELLENO Y DISTRIBUIDORES</b>	<b>14500 Kg</b>
<b>LÍQUIDO DE OPERACIÓN</b>	<b>10700 Kg</b>
<b>PLATAFORMAS, TUBERÍAS Y VARIOS</b>	<b>3300 Kg</b>
<b> AISLAMIENTO Y CEMENTO ANTIFUEGO EN LA BASE</b>	<b>4100 Kg</b>
<b>AGUA (PRUEBA HIDROSTÁTICA)</b>	<b>30200 Kg</b>
<b>PESO OPERACIÓN</b>	<b>44000 Kg</b>

### 3.2.5. CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE PARED

Bien por norma o código, o por requerimientos de transporte, etc. se debe fijar un valor mínimo del espesor de la envolvente. Como guía práctica, el espesor mínimo, excluido el sobreespesor por corrosión admisible de las envolventes y fondos, será el mayor de los siguientes valores:

- exigido por el **código ASME** Sección VIII División 1:  $t_{min} = 2,5 + c$ , (mm)

Siendo el sobreespesor de corrosión de 6 mm, se tiene que  $t_{min} = 2.5 + c = 2.5 + 6 = 8.5$  mm

- según la **fórmula**:

$t_{min} = D_i/1000 + 2.54 + c$  (mm);  $D_i$  = diámetro interior

$t_{min} = 5 + c$  (mm); Para aceros al carbono

Con lo que se tiene que:  $t_{min} = 5 + c = 5 + 6 = \underline{11 \text{ mm}}$

$t_{min} = 3$  (mm); Para acero inoxidable

### 3.2.6. CÁLCULO DE ESPESORES DEBIDOS A LA PRESIÓN INTERNA

Conviene recordar que la presión interna en un determinado punto de la torre está compuesta por la presión interna medida en cabeza del recipiente (o parte más alta) más la debida a la columna de líquido del punto en cuestión, esto se debe tener en cuenta para cálculos posteriores.

#### Cuerpo:

Con los siguientes datos se sustituye en la fórmula suministrada por el código de diseño en UG-27 (c)(1) y se obtiene el espesor de la pared calculado para el cuerpo de la columna:

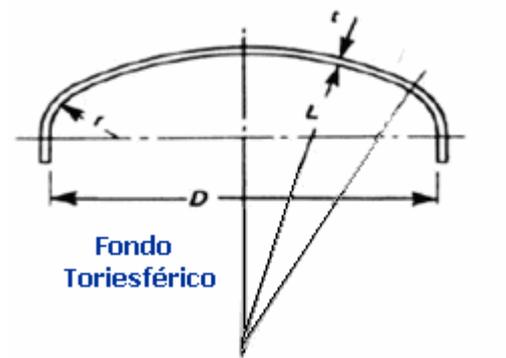
- Presión de diseño (P): 53 psig
- Radio exterior (R<sub>0</sub>): 926 mm
- Tensión admisible del acero A-516-60 (S): 17100 psi (a una temperatura de 136 °C)
- Eficiencia de soldadura (E): 100 %.
- Sobreespesor de corrosión (CA): 6 mm

$$t_c = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0.4 \cdot P} + CA$$

$$t_c = (53 \cdot 926) / [(17100 \cdot 1) + (0.4 \cdot 53)] + 6 = 8.87 \text{ mm}$$

Espesor calculado = 8.87 mm; Espesor adoptado = 11 mm

#### Fondo superior:



De la misma manera que se ha hecho con el cuerpo, actuamos con el fondo superior, utilizando la fórmula adecuada para ello:

- Presión de diseño (P): 53 psig
- Diámetro externo ( $D_0$ ): 1852 mm
- Factor M (M): 1.32, este factor se obtiene en tablas donde se relacionan los siguientes factores geométricos:

$$L = 0.8 \cdot D = 1.482 \text{ m}$$

$$r = D / 6.5 = 0.285 \text{ m}$$

$$M = 0.25 \left( 3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$

$$M = 1.320 \text{ m}$$

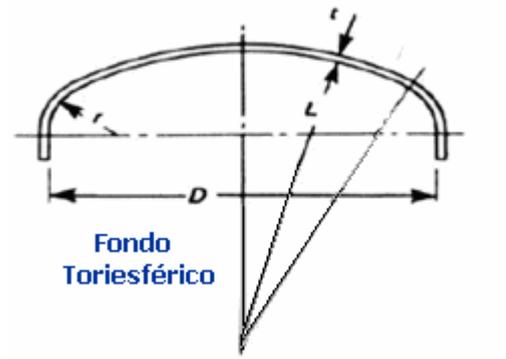
- Eficiencia (E): 100 %
- Sobreespesor de corrosión (CA): 6 mm
- Tensión admisible del material (S): 17100 psi
- Tipo de fondo: Toriesférico (Subtipo Korbbogen)
- Radio de curvatura ( $L_i$ ): 1475 mm

$$t = \frac{P \cdot L_i \cdot M}{2SE - 0.2P} + CA$$

$$t_s = (53 \cdot 1475 \cdot 1.32) / [(2 \cdot 17100 \cdot 1) - (0.2 \cdot 53)] + 6 = 9.02 \text{ mm}$$

Espesor calculado = 9.02 mm; Espesor adoptado = 11 mm

Fondo inferior:



El cálculo del espesor del fondo inferior es análogo al del superior pero con sus datos correspondientes que son los que a continuación se muestran:

- Presión de diseño (P):  $53 + 2 = 55$  psig
- Diámetro exterior ( $D_0$ ): 1852 mm
- Factor M (M): 1.32 (calculado igual que para el fondo superior)
- Eficiencia (E): 100 %
- Sobreespesor o margen de corrosión (CA): 6 mm
- Tensión admisible del material (S): 17100 psi
- Tipo de fondo: Toriesférico (Subtipo Korbbogen)
- Radio de curvatura o radio mayor ( $L_i$ ): 1475 mm

$$t = \frac{P \cdot L_i \cdot M}{2SE - 0.2P} + CA$$

$$t_1 = (55 \cdot 1475 \cdot 1.32) / [(2 \cdot 17100 \cdot 1) - (0.2 \cdot 55)] + 6 = 9.14 \text{ mm}$$

Espesor calculado = 9.14 mm; Espesor adoptado = 11 mm

### 3.2.7. CÁLCULOS DE VIENTO/SISMO DEBIDO A PRESIÓN EXTERNA

#### Carga debida al viento/sismo:

Para una altura de 0 a 15 metros, la presión básica del viento  $P_b$  es de  $110 \text{ Kg/m}^2$ , a partir de este dato se obtiene la presión global debida al viento. Para ello, se requiere el conocimiento de los siguientes datos:

- Factor de forma ( $C_s$ ): 0.8
- Coeficiente de accesorios ( $C_p$ ): 1.15
- Coeficiente de esbeltez ( $K$ ): 1.10

El factor de forma  $C_s$  se obtiene a partir de una tabla en función del área expuesta (cilíndrica, superficie rugosa), el coeficiente de esbeltez  $K$  proviene de una relación altura/diámetro exterior y el coeficiente de accesorios  $C_p$  se obtiene de forma similar y toma su valor dependiendo del diámetro exterior (en este caso  $>1000 \text{ mm}$ ). La expresión de la presión de diseño del viento es:

$$P_v = P_b \cdot C_s \cdot C_p \cdot K$$

$$P_v = 110 \cdot 0.8 \cdot 1.15 \cdot 1.10 = 111.30 \text{ Kg/m}^2$$

Debido a la ubicación del equipo, no se requiere el cálculo sísmico en el mismo.

### 3.2.8. CÁLCULO DE MOMENTOS DE VIENTO

Conociendo que el espesor de aislamiento es de  $50 \text{ mm}$ , se tiene que el diámetro externo de:

$$D_0 = 1852 + 2 \cdot 50 = 1952 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta que 1952 mm es el diámetro externo del equipo y que los momentos es la suma de cada carga por la distancia a la sección, para el nivel de elevación I (elevación de la línea de tangencia) se tiene que el momento de viento es:

$$Mv = \sum Pv \cdot D_0 \cdot h \cdot d$$

$$Mv_1 = 111.3 \cdot 1.952 \cdot 11.3 \cdot 5.65 = 1387080 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Para el nivel de elevación II (elevación de la base) el momento de viento es el siguiente:

$$Mv = \sum Pv \cdot D_0 \cdot h \cdot d$$

$$Mv_2 = 111.3 \cdot 1.952 \cdot 13.8 \cdot 6.9 = 2068727 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

### 3.2.9. CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES (A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN)

La línea de tangencia es justo la línea de transición que en los fondos actúa como paso de una figura bombeada a otra cilíndrica. Considerando los espesores corroídos, según las tablas del código ASME Sección VIII, las tensiones máximas de tracción / compresión en esta línea son las siguientes:

- Tracción = 17100 psi
- Compresión: La máxima compresión admisible que aguanta una carcasa se determina de acuerdo con el valor del coeficiente “A” calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{0.125}{\frac{R}{t}}$$

Siendo:

A = Factor función de las dimensiones del recipiente

R = Radio exterior (mm)

t = Espesor corroído (mm)

Se sustituye y se tiene:

$$A = 0.125 / (926 / 5) = 0.00068$$

Con el valor obtenido de A y con la ayuda de las gráficas UCS-28 de ASME correspondientes al tipo de material, obtenemos el valor de B, con lo que la compresión máxima admisible es de:

$$B = 9500 \text{ psi (a } 277 \text{ °F)}$$

Tensiones admisibles para el punto II (base):

De manera análoga al caso del punto I, las tensiones a tracción / compresión son:

- Tracción = 17100 psi
- Compresión:  $A = 0.125 / (926 / 6.5) = 0.00088$   
 $B = 11600 \text{ psi (a } 277 \text{ °F)}$

En este caso, al igual que en el anterior, el espesor es correcto.

### 3.2.10. CÁLCULO DE ESFUERZOS COMBINADOS

Esfuerzos combinados en el punto I (línea de tangencia):

- Tracción:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t_c} + \frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

Siendo:

$\sigma_t$  = Esfuerzo a tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Presión de diseño (psi)

D = Diámetro externo (cm)

$t_c$  = Espesor (cm)

$M_v$  = Momento de viento (Kg · cm)

$Z_x$  = Momento resistente en dirección del eje X (Kg · cm)

W = Peso desde punto superior hasta la línea de tangencia (Kg)

$A_x$  = Área normal al eje X (cm<sup>2</sup>)

Sustituyendo estos valores se tiene que:

$$\sigma_t = [(53 \cdot 185) / (4 \cdot 0.5 \cdot 14.22)] + [1387080 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.5)] - [(42100 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.5))] = 303.08 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 120.25 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \text{ (máximo admisible)}$$

- Compresión:

$$\sigma_c = -\frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$M_v$  = Momento de viento (Kg · cm)

$Z_x$  = Momento resistente en dirección del eje X (Kg · cm)

$W$  = Peso desde punto superior hasta la línea de tangencia (Kg)

$A_x$  = Área normal al eje X (cm<sup>2</sup>)

Sustituyendo se obtiene que:

$$\sigma_c = - [1387080 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.5)] - [42100 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.5)] = 247.76 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 668 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \text{ (máximo admisible)}$$

Esfuerzos combinados en el punto II (base):

- Tracción:

$$\sigma_t = \frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

Donde:

$\sigma_t$  = Esfuerzo ante tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

$M_v$  = Momento de viento (Kg · cm)

$Z_x$  = Momento resistente en dirección del eje X (Kg · cm)

$W$  = Peso total en operación (Kg)

$A_x$  = Área normal al eje X (cm<sup>2</sup>)

Una vez conocidos estos valores, se realiza el cálculo del esfuerzo a tracción:

$$\sigma_t = [2068727 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.65)] - [(44000 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.65))] = 1.86 \text{ Kg / cm}^2 < 1202.5 \text{ Kg / cm}^2 \text{ (máximo admisible)}$$

- Compresión:

$$\sigma_c = -\frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$M_v$  = Momento de viento (Kg · cm)

$Z_x$  = Momento resistente en dirección del eje X (Kg · cm)

$W$  = Peso total en operación (Kg)

$A_x$  = Área normal al eje X (cm<sup>2</sup>)

Se sustituye y se obtiene:

$$\sigma_c = - [2068727 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.65)] - [44000 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.65)] = 234.54 \text{ Kg / cm}^2 < 815.75 \text{ Kg / cm}^2 \text{ (máximo admisible)}$$

### 3.2.11. CÁLCULO DEL ANILLO DE LA BASE

Tenemos las expresiones:

$$L_o = \frac{W_x}{\pi \cdot D_m} \quad \text{y} \quad L_m = \frac{M_v}{0.785 \cdot D_m^2}$$

Siendo:

$L_o$  = Carga unitaria debida al peso (Kg / cm)

$L_m$  = Carga unitaria debida al viento (Kg / cm)

$W_x$  = Carga total según la dirección del eje X (Kg)

$D_m$  = Diámetro mínimo (cm)

$M_v$  = Momento de viento (Kg · cm)

Estas fórmulas que se siguen están basadas en las consideraciones siguientes:

- La superficie de asiento del anillo de la base es suficientemente grande para que la carga se distribuya uniformemente en la cimentación de concreto y así no se rebasa la capacidad de carga de ésta.
- El espesor del anillo de la base resiste el esfuerzo a flexión inducido por viento o sismo.

Se sustituyen los datos resultando:

$$L_o = 44000 / (\pi \cdot 185.2) = 75.7 \text{ Kg / cm}$$

$$L_m = 2068727 / (0.785 \cdot 185.2^2) = 76.83 \text{ Kg / cm}$$

Con lo que se tiene que:

$$W = L_m + L_o = 75.7 + 76.83 = 152.53 \text{ Kg / cm}$$

Este cálculo es básico para calcular el resto de datos importantes para la soportación del equipo.

Presión sobre la base del asiento:

Teniendo en consideración que el ancho del anillo (b) es de 15 cm, realizando el cálculo correspondiente se halla que:

$$W1 = \frac{W}{b}$$

Donde:

W1 = Presión sobre la base del asiento (Kg / cm<sup>2</sup>)

Se determina que tiene un valor de:  $W1 = 152.53 / 15 = 10.17 \text{ Kg / cm}^2$

### Espesor de la placa base:

Para este cálculo se debe conocer la proyección exterior del anillo (a), que en este caso mide 8.5 cm. Así se extrae que:

$$T = 0.0488 \cdot a \cdot \sqrt{W1}$$

Donde:

T = espesor de la placa base (cm)

Se obtiene el siguiente resultado:

$$T = 0.0488 \cdot 8.5 \cdot (10.17)^{1/2} = 1.32 \text{ cm}$$

Espesor adoptado 24 mm > 13.2 mm (requerido)

### **3.2.12. COMPROBACIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJE**

El anclaje de la torre consiste en 8 pernos M32 de diámetro. El diámetro del círculo de pernos mide 202 cm. La carga por perno se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$B = \frac{4 \cdot M_v}{N \cdot D_m} - W_x$$

Donde se tiene que:

B = Carga por cada perno (Kg)

N = Número de pernos

Sustituyendo se obtiene que:

$$B = [(4 \cdot 2068727) / (8 \cdot 202)] - 11400 = 3696 \text{ Kg}$$

Destacando que la sección (As) correspondiente al núcleo de un perno de tipo M32 es de 6.6 cm<sup>2</sup>, se calcula la tensión en los pernos, que resulta de dividir la carga por perno entre dicha superficie unitaria:

$$Tensión = \frac{B}{A_s}$$

De lo anterior resulta que:

$$\begin{aligned} \text{Tensión} &= 3696 / 6.6 = 559.9 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \\ \text{Tensión} &= 559.9 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 950 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \text{ (máxima admisible)} \end{aligned}$$

### 3.2.13. COMPROBACIÓN DEL EQUIPO EN LA PRUEBA HIDRÁULICA A NIVEL DE LÍNEA DE TANGENCIA

La presión (Pp) a la que se efectúa la prueba hidráulica en el fondo superior es de 5.36 Kg / cm<sup>2</sup> · g (76.3 psig). La altura de la columna de agua se obtiene y es de 12000 mm. Siendo lo anterior así, la presión Pp en la zona inferior es de:

$$Pp \text{ (zona inferior)} = 5.36 + 1.2 = 6.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

De estos tres datos nos ayudamos para obtener los esfuerzos en la prueba hidráulica tanto circunferencial como longitudinal que se describen en detalle a continuación.

#### Esfuerzo en la prueba hidráulica (circunferencial):

Dicha tensión se obtiene a partir de la siguiente expresión proporcionada por el código de diseño ASME en la División VIII:

$$S = \frac{P \cdot (Ro - 0.4 \cdot t)}{t \cdot E}$$

Donde:

S = Tensión circunferencial a la T<sup>a</sup> de diseño (Kg / cm<sup>2</sup>)

P = Presión a la que se lleva a cabo la prueba hidráulica en la zona inferior (Kg / cm<sup>2</sup>)

Ro = Radio exterior (cm)

t = Espesor (cm)

E = Eficiencia de la soldadura (%)

Se sustituyen los datos anteriores y se llega a:

$$S = 6.56 \cdot (92.6 - 0.4 \cdot 1.1) / (1.1 \cdot 1) = 547.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$S = 547.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 2025 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \text{ (máxima admisible)}$$

Esfuerzo en la prueba hidráulica (longitudinal) con un 50% del momento del viento:

Al considerarse el 50% de momento de viento tenemos un momento ( $M_v$ ) de  $2068725 \cdot 0.5 = 1034362 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$ . El peso en la prueba hidrostática es de  $W_p = 40200 \text{ Kg}$ , con esto presente podemos comprobar que para la prueba a tracción se tiene la misma expresión que los que se utilizaron para el cálculo de esfuerzos combinados, apartado en el que ya se explicó el significado de cada una de las variables de dicha expresión, por ello, sustituimos directamente:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t_c} + \frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

$$\sigma_t = [(6.56 \cdot 185.2) / (4 \cdot 1.1)] + [1034362 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 1.1)] - [40200 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 1.1)] = 276.1 + 46.8 - 62.8 = 260.1 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Para la prueba a compresión ocurre lo mismo, que la expresión se utilizó también en el apartado de esfuerzos combinados a compresión, por lo que se abrevian las explicaciones:

$$\sigma_c = - \frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

$$\sigma_c = - [1034362 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 1.1)] - [40200 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 1.1)] =$$

$$= 109.6 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_c = 109.6 \text{ Kg} / \text{cm}^2 < 815.75 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \text{ (máxima admisible)}$$

### 3.2.14. COMPROBACIÓN DEL FALDÓN EN LA PRUEBA HIDROSTÁTICA

El faldón deberá ser comprobado tanto a tracción como a compresión. En ambos casos se considera un momento de viento del 50%, con lo que este tendrá el valor de  $M_v = 1034362$  Kg · cm. Para la tracción se tiene que la tensión es de  $\sigma_t = 17100$  psi (1202.5 Kg / cm<sup>2</sup>), aunando todos estos datos, calculamos con la misma expresión con la que calculamos los esfuerzos en la base:

$$\sigma_t = \frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

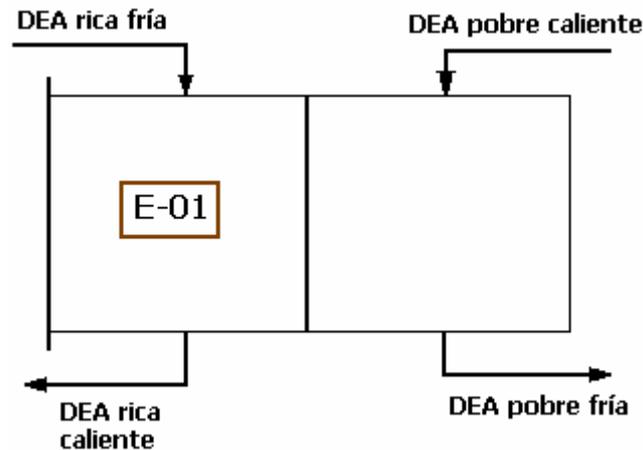
$$\begin{aligned} \sigma_t &= [1034362 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.8)] - [(41600 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.8))] = \\ &= 48 - 89.4 = - 41.4 \text{ Kg / cm}^2 \end{aligned}$$

Para la compresión ocurre lo mismo, así que se omite entrar en una explicación de cada componente de la fórmula:

$$\sigma_c = -\frac{M_v}{Z_x} - \frac{W}{A_x}$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= - [1034362 / (0.785 \cdot 185.2^2 \cdot 0.8)] - [41600 / (\pi \cdot 185.2 \cdot 0.8)] = \\ &= - 48 - 89.4 = 137.4 \text{ Kg / cm}^2 < 815.75 \text{ Kg / cm}^2 \text{ (máxima admisible)} \end{aligned}$$

### 3.3. CÁLCULO TÉRMICO DEL CAMBIADOR E-01: PRECALENTADOR DE LA ALIMENTACIÓN



**Figura: Diagrama del intercambiador E-01**

El intercambiador E-01 es de carcasa y tubos, por lo que presenta el inconveniente de ser menos eficaces que el flujo en pistón en contracorriente, ya que se tienen varios modelos de flujo diferentes del de flujo en pistón en paralelo y en contracorriente. Esto significa que se necesita más área superficial del intercambiador para las condiciones dadas. A pesar de este inconveniente, este tipo de intercambiadores se utiliza ampliamente en la industria, ya que con frecuencia es el más conveniente, más compacto y menos caro de construir para una finalidad dada. El E-01 se trata como una unidad de flujo en pistón en contracorriente con un factor de corrección  $F$ , entre 0 y 1, para tener en cuenta la disminuida eficacia de contacto. En el E-01 el fluido corrosivo (DEA rica) fluye por los tubos para no dañar la carcasa.

Entre las principales ventajas que tienen los cambiadores de carcasa y tubos (E-01, E-02, E-03, E-04) destacan las siguientes:

- a. Configuración que proporciona una relación área de intercambio/volumen de fluido a tratar muy favorable.
- b. Buena disposición mecánica, soporta presiones elevadas, sin más que darle espesor a la carcasa o a los tubos.
- c. Medidas de fabricación estándares.

- d. Gran variedad de materiales de construcción.
- e. Fácil de limpiar.
- f. Técnicas de diseño bien establecidas.

El diseño de los cambiadores de calor de este proyecto se efectuará siguiendo las recomendaciones de la norma TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

Para el cálculo de la superficie total requerida para el intercambio de calor, utilizamos la expresión general de diseño para el flujo de calor intercambiado a través de la pared de los tubos que se encuentran en el interior de la carcasa.

$$Q = U \cdot A \cdot LTMD \cdot F$$

Donde:

Q = Flujo de calor intercambiado entre el fluido frío y el caliente (W)

U = Coeficiente global de intercambio de calor, que tiene en cuenta la resistencia global a la transferencia ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

A = Superficie total de intercambio ( $m^2$ )

LTMD = Fuerza impulsora de temperatura media logarítmica ( $^\circ C$ )

F = Factor de corrección de LTMD

Dicha ecuación se utiliza suponiendo las siguientes hipótesis:

- Flujo de pistón ideal de todas las corrientes;
- No hay gradientes de temperatura a lo largo de la trayectoria de flujo de ambos fluidos;
- Igual área de transmisión de calor para cada paso;
- Valor de U constante a través del intercambiador;
- Calor específico constante y sin cambio de fase en los fluidos, es decir, sin vaporización o condensaciones dentro del intercambiador;
- Pérdidas de calor hacia el entorno despreciables; y no hay conducción a lo largo de las paredes del intercambiador en las direcciones de flujo de los fluidos.

El flujo de calor se obtiene directamente de los valores de la simulación en HYSYS por diferencia entre los de la corriente caliente y fría:

$$Q = Q_{\text{DEA rica caliente}} - Q_{\text{DEA rica fría}} = 3.844 \cdot 10^7 \text{ KJ/h} = 1.067 \cdot 10^7 \text{ W}$$

El coeficiente U para este servicio está en el rango de 300 a 440 W/m<sup>2</sup> °C, tomando el valor medio del intervalo adoptamos el valor de:

$$U = (300 + 440)/2 = 370 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

Para el cálculo de LTMD nos ayudamos de la siguiente tabla:

E - 01	Fluido caliente (DEA pobre)	Fluido frío (DEA rica)	Diferencia	
T <sup>a</sup> alta	115.8	90	25.8	$\Delta T_2$
T <sup>a</sup> baja	70.14	43.07	27.07	$\Delta T_1$
			-1.27	$\Delta T_2 - \Delta T_1$

La expresión para el LTMD es la siguiente:

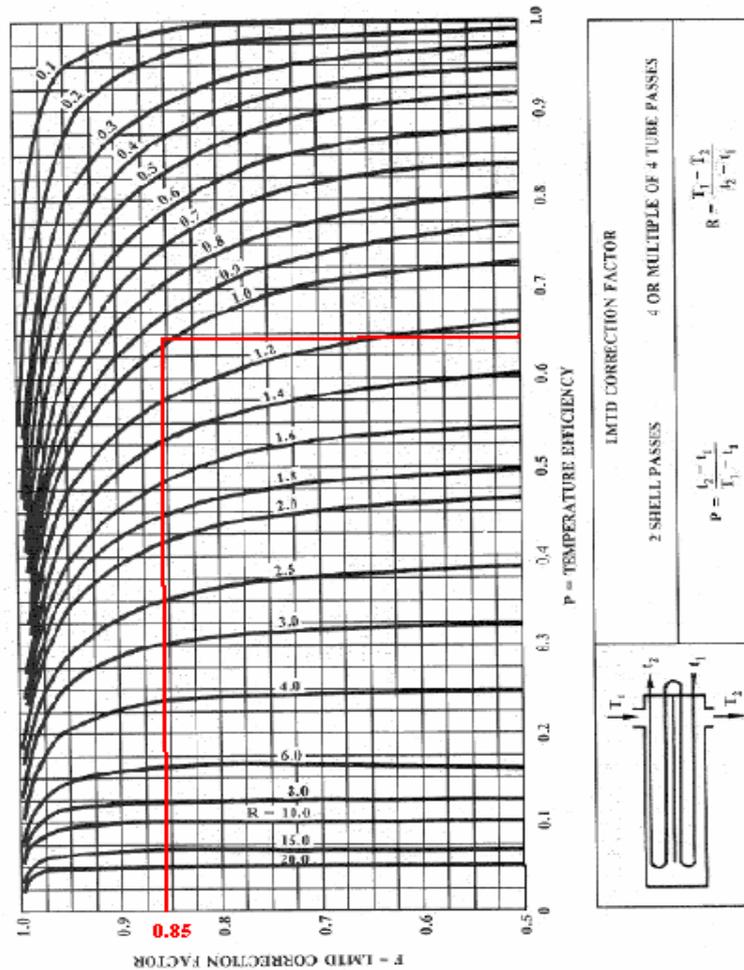
$$\text{LTMD} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)$$

$$\text{LTMD} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2) = -1.27 / -0.0485 = 26.43 \text{ °C}$$

Para el factor F buscamos en la bibliografía la gráfica que proporciona un valor aceptable para éste factor, al hacerlo se aceptan las siguientes suposiciones:

- Igual área de transmisión de calor por paso.
- U constante en cada paso.
- La temperatura del fluido que discurre por la carcasa es constante para cada sección transversal.
- No existen fugas de fluido entre los pasos de carcasa.

Una vez supuesto lo anterior entramos en la gráfica con los parámetros R (cociente entre la diferencia de temperaturas del fluido en la carcasa y en los tubos) y P (cociente entre la diferencia de temperaturas del fluido en los tubos y la máxima diferencia de temperaturas), y obtenemos:



Por lo tanto, para  $R = 0.97$  y  $P = 0.645$  obtenemos un valor de 0.85 para F y que el cambiador de carcasa y tubos estará conformado por 2 cambiadores en serie (2 pasos por carcasa del fluido) y 4 pasos por tubos (de un extremo al otro). Para 4 pasos se tiene que los tubos se disponen según el siguiente gráfico:



**Figura: Placas de partición en los cabezales**

Despejando obtenemos el valor de la superficie A:

$$A = Q / (U \cdot \text{LMTD} \cdot F) = 1283.65 \text{ m}^2$$

Para poder obtener el diámetro de cada carcasa así como las diferentes características de este cambiador, debemos realizar los siguientes cálculos:

1.- Área por carcasa:

Teniendo en cuenta que el número de carcasas ( $N_S$ ) es de 2, se tiene que:

$$A_S = A / N_S = 1283.65 / 2 = 641.825 \text{ m}^2 = 6908.547 \text{ ft}^2$$

2.- Características del cambiador E-01:

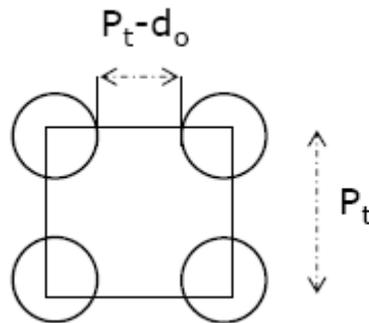
Considerando el servicio que realiza este cambiador y que se trata de un servicio sucio así como de un cambiador de carcasa y tubos, los valores típicos y que se adoptan para varias de sus características geométricas son las siguientes:

$L$  = Longitud de los tubos = 6 m = 19.685 ft

$d_o$  = Diámetro de tubo = 19 mm = 0.748 inches

$P_t$  = Pitch o espaciado entre tubos =  $1.25 \cdot d_o = 0.935$  inches

Disposición: cuadrada (su limpieza es más fácil por el lado de la carcasa)



**Figura: Características geométricas de la disposición cuadrada**

BWRG = espesor de pared de tubo = 2,1 mm = 0.082 inches

3.- Número de tubos en cada carcasa ( $N_T$ ):

$$N_T = (3.82 \cdot A_S) / [(L - 0.5) \cdot d_o] = (3.82 \cdot 6908.547) / [(19.685 - 0.5) \cdot 0.748] = 1839.02 \approx 1840 \text{ tubos}$$

4.- NTC (para disposición cuadrangular):

$$NTC = 1.19 \cdot (N_T)^{1/2} = 1.19 \cdot (1840)^{1/2} = 51.045 \approx 51$$

5.- Diámetro nominal de carcasa (DOT):

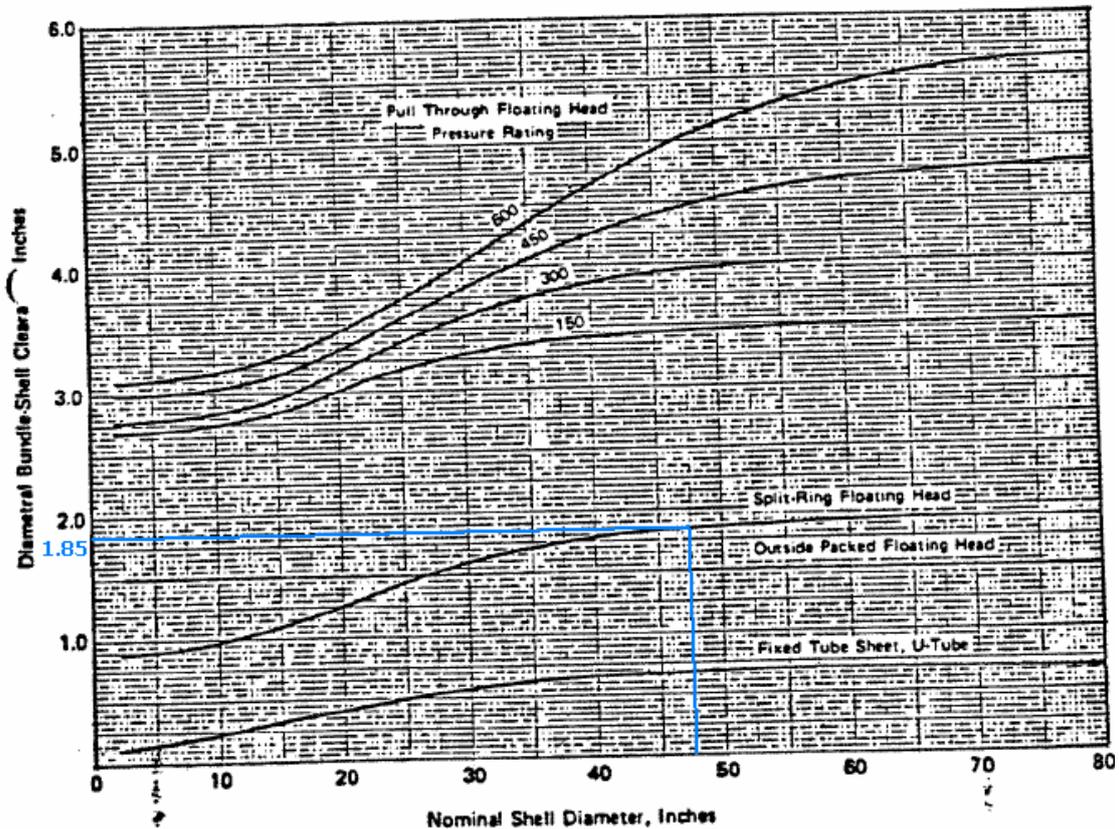
$$DOT = (NTC - 1) \cdot P_t + d_o = (51 - 1) \cdot 0.935 + 0.748 = 47.498 \text{ inches} = 1206.45 \text{ mm}$$

6.- Diámetro interno de la carcasa (DIS):

$$DIS = DOT + LCDD$$

Siendo LCDD la holgura entre carcasa y el haz de tubos, interesa que su valor sea pequeño para evitar cortocircuitos (by-pass por fuera de la bancada). Dicho valor se obtiene de la gráfica que relaciona DOT con LCDD y el tipo de fijación de los tubos, así que entrando en

esta gráfica con el valor de DOT anteriormente obtenido y con el tipo de tubos el de cabezal flotante con soporte, tenemos un valor de LCDD de 1.85, de la siguiente manera:



Se tiene de esta manera que:

$$DIS = 47.5 + 1.85 = 49.35 \text{ inches} = 1253.5 \text{ mm.}$$

#### 7.- Número de deflectores:

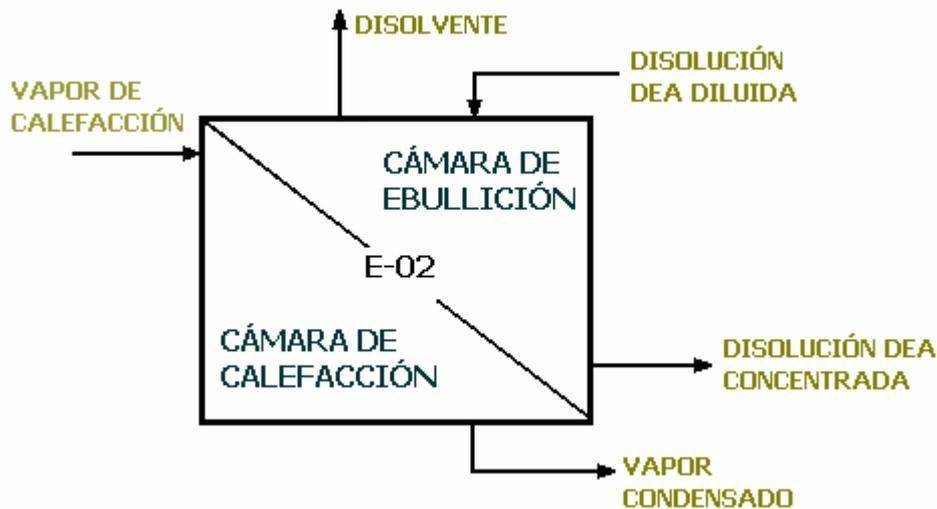
Los deflectores son necesarios en el cambiador para poder redireccionar el flujo de la carcasa, aumentando de esa manera la turbulencia y poder conseguir así un flujo transversal a los tubos (y no paralelo), contribuyendo a mejorar la transferencia de calor. Considerando que los deflectores del E-01 son de tipo segmentado sencillo se tiene que:



**Figura: Placas deflectoras de tipo segmentado sencillo**

$N^{\circ}$  deflectores =  $L / DIS = 19.685 / (49.35/12) = 4.78 \approx 5$  deflectores.

### 3.4. CÁLCULO TÉRMICO DEL CAMBIADOR E-02: CALDERÍN DE LA REGENERADORA



**Figura: Diagrama del intercambiador E-02**

El intercambiador de calor E-02 es un evaporador tipo kettle (caldera con bancada de tubos en U), es decir, un tipo de cambiador de carcasa y tubos que en la regeneradora genera vapor, concentrando así la disolución de amina procedente del plato de fondo de la regeneradora que fluye por la carcasa donde alcanza su punto de ebullición, lo que provoca que, a su vez, el vapor de calefacción condense a su paso por los tubos.

El vapor generado tiene dos funciones:

- 1) Calentar la amina alimentada a la regeneradora para así alcanzar la temperatura de la reacción que libera el H<sub>2</sub>S, atrapado por la amina y
- 2) Proporcionar un exceso de vapor (stripping) que arrastre el H<sub>2</sub>S liberado, impidiendo que la reacción anterior alcance el equilibrio y, por tanto se siga liberando H<sub>2</sub>S. La evaporación es, a diferencia de la destilación, un proceso controlado únicamente por el mecanismo de transmisión de calor.

La ecuación para diseñar un evaporador es la siguiente:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q = Calor intercambiado entre ambas cámaras (W)

U = Coeficiente global de transmisión de calor, que va a depender de las diferentes resistencias del equipo, como son la convección en ambas cámaras o la conducción a través de la pared y de las incrustaciones o depósitos de partículas sólidas (W/m<sup>2</sup> °C)

A = Área disponible para el intercambio de calor (m<sup>2</sup>)

ΔT = Diferencia de temperatura entre ambas cámaras (°C)

Como se puede observar, en el caso del evaporador el factor de corrección F es 1, ya que hay cambio de estado. Al tratarse de una disolución de compuestos orgánicos, se considera que no hay aumento en el punto de ebullición.

El flujo de calor se obtiene directamente de los valores de la simulación en HYSYS que se muestran en el diagrama del proceso de la pantalla inicial:

$$Q = 3.195 \cdot 10^7 \text{ W}$$

El coeficiente U para este servicio adopta el valor de:

$$U = 860 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La diferencia de temperaturas se calcula restando la de ebullición de la amina a la presión del sistema, a la de saturación del vapor a la presión de 3,5 Kg/cm<sup>2</sup>, numéricamente son las siguientes:

$$\Delta T = 147.5 - 115.5 = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De la ecuación de diseño anteriormente descrita obtenemos el área necesaria para el intercambio:

$$A = Q / (U \cdot \Delta T) = 1161 \text{ m}^2$$

A continuación, y del mismo modo que se ha hecho con el cambiador E-01, se obtienen las distintas características del E-02 para poder calcular el diámetro de la carcasa.

### 1.- Área por carcasa:

Asumiendo que el número de carcasas ( $N_S$ ) es de 1, se tiene que:

$$A_S = A / N_S = 1161 / 1 = 1161 \text{ m}^2 = 12497 \text{ ft}^2$$

### 2.- Características del cambiador E-02:

Considerando el servicio que realiza este cambiador y que se trata de un servicio sucio así como de un cambiador de carcasa y tubos, los valores típicos y que se adoptan para varias de sus características geométricas son las siguientes:

$L =$  Longitud de los tubos = 6 m = 19.685 ft

$d_o =$  Diámetro de tubo = 19 mm = 0.748 inches

$P_t =$  Pitch o espaciado entre tubos =  $1.25 \cdot d_o = 0.935$  inches

Disposición: cuadrada (su limpieza es más fácil por el lado de la carcasa)

BWRG = espesor de pared de tubo = 2,1 mm = 0.082 inches

3.- Número de tubos en cada carcasa ( $N_T$ ):

$N_T = (3.82 \cdot A_S) / [(L - 0.5) \cdot d_o] = (3.82 \cdot 12497) / [(19.685 - 0.5) \cdot 0.748] = 3326.64 \approx 3327$   
tubos

4.- NTC (para disposición cuadrangular):

$NTC = 1.19 \cdot (N_T)^{1/2} = 1.19 \cdot (3327)^{1/2} = 68.64 \approx 69$

5.- Diámetro nominal de carcasa (DOT):

$DOT = (NTC - 1) \cdot P_t + d_o = (69 - 1) \cdot 0.935 + 0.748 = 64.33$  inches = 1634 mm

Aunque se suele limitar el diámetro del haz de tubos a 1500 mm, puede aceptarse el tamaño obtenido de 1634 mm ya que, económicamente, se justifica una sola carcasa tipo kettle frente a dos.

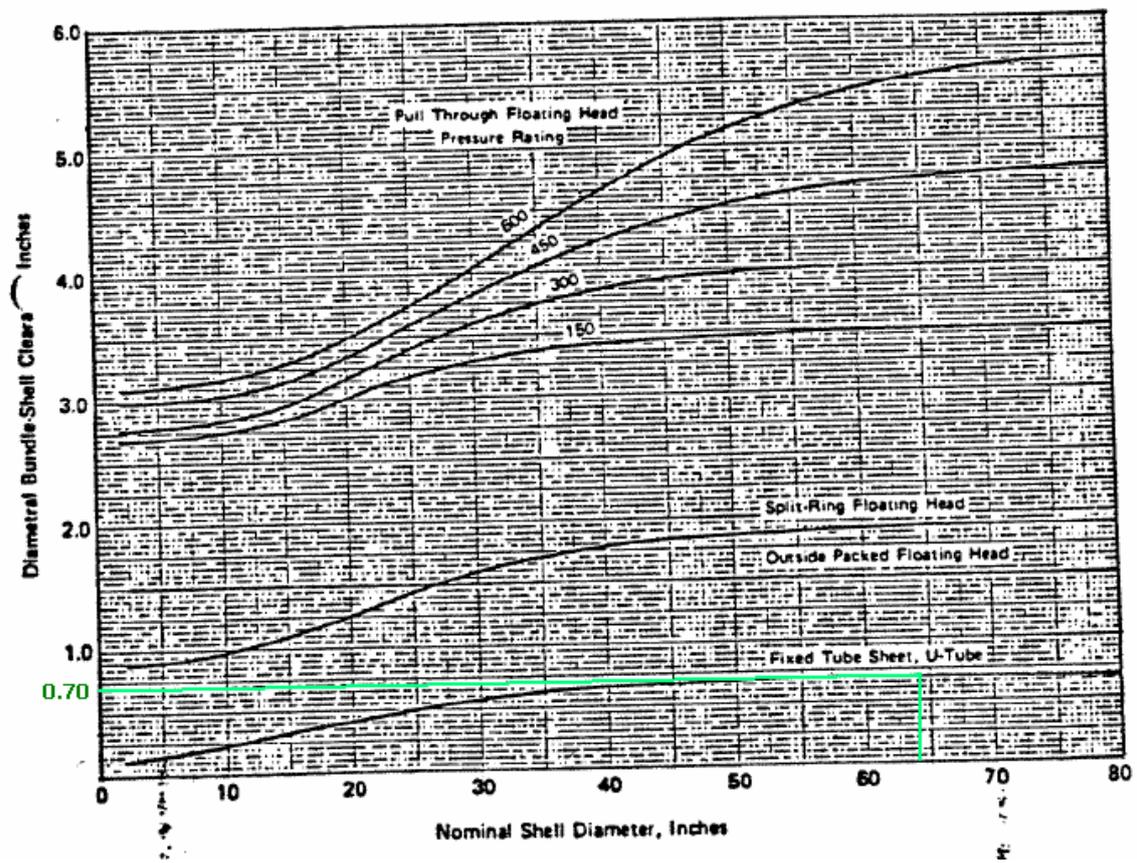
6.- Diámetro interno de la carcasa (DIS):

Para la deducción del diámetro de carcasa de un cambiador kettle, habrá que modificar el método anterior de cálculo realizado para el cambiador E-01.

En primer lugar se calcula el diámetro DIS de manera análoga a como se hizo en el caso anterior, y luego se llevan a cabo unos cálculos adicionales para tener en cuenta la configuración específica del reboiler kettle, atendiendo a criterios relacionados con la separación líquido-vapor que tiene lugar en este equipo.

$$DIS = DOT + LCDD$$

Se entra en la gráfica con el valor de DOT anteriormente obtenido y con el tipo de tubos el de tubos en U, se obtiene un valor de LCDD de 0.70, tal y como se muestra a continuación:



Se tiene así que:

$$DIS = 64.33 + 0.70 = 65 \text{ inches} = 1651 \text{ mm.}$$

Al tratarse de un calderín tipo AKU, el valor del diámetro interno se calcula según el número necesario de tubos para conocer el diámetro de la carcasa. Para asegurar que todos los tubos estén inundados de DEA, la altura del rebosadero ( $h_w$ ) es de 4 pulgadas (101.6 mm) por encima del DIS, así se evita el secado y el calentamiento local:

$$h_w = DIS + 4 = 65 + 4 = 69 \text{ inches}$$

Por último, el valor mínimo del diámetro exterior del calderín  $d_K$  se calcula a partir de la expresión:

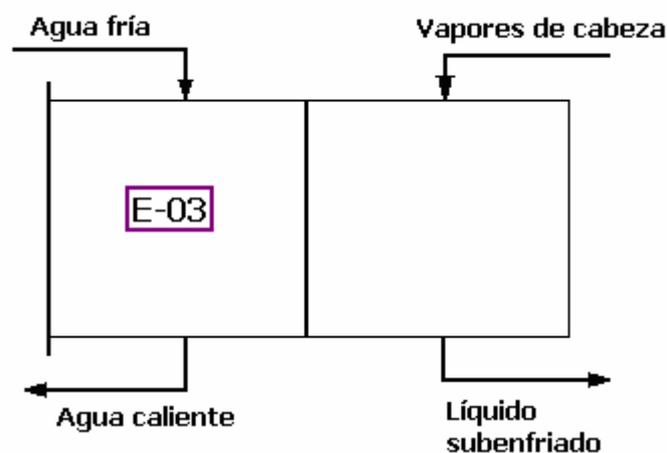
$$d_K = 2.93 \cdot h_w^{0.788}$$

$$d_K = 2.93 \cdot 69^{0.788} = 82.4 \text{ inches} = 2092.73 \text{ mm}$$

#### 7.- Número de deflectores:

En este tipo de cambiador no se instalan deflectores, solamente placas soportes de tubos.

### 3.5. CÁLCULO TÉRMICO DEL CAMBIADOR E-03: CONDENSADOR DE CABEZA DE LA REGENERADORA



**Figura: Diagrama del intercambiador E-03**

La función principal del intercambiador de calor E-03 de carcasa y tubos refrigerado por agua, es la de enfriar y condensar el producto gaseoso que sale por la cabeza de la columna regeneradora, producto formado por H<sub>2</sub>S y vapor de agua principalmente, que se dirige hacia el botellón de reflujo.

Los cálculos para el diseño térmico de este cambiador son análogos a los realizados para el precalentador de amina rica que entra en la regeneradora. Por ello se obviarán las consecuentes explicaciones de las ecuaciones y fórmulas utilizadas, procediéndose directamente a su sustitución.

Tenemos la ecuación fundamental para la transmisión de calor en este tipo de equipo:

$$Q = U \cdot A \cdot LTMD \cdot F$$

Donde:

Q = Flujo de calor intercambiado entre el fluido frío y el caliente (W)

U = Coeficiente global de intercambio de calor, que tiene en cuenta la resistencia global a la transferencia (W/m<sup>2</sup> °C)

A = Superficie total de intercambio (m<sup>2</sup>)

LTMD = Fuerza impulsora de temperatura media logarítmica (°C)

F = Factor de corrección de LTMD

Los valores para estas variables serán:

$$Q = Q_{\text{Agua caliente}} - Q_{\text{Agua fría}} = 1383 \text{ KW} = 1.383 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$U = 570 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

F = 1, al tratarse de una transmisión de calor que da lugar a un cambio de estado, en este caso la condensación de los vapores ácidos procedentes de la cabeza de la columna regeneradora.

Para el cálculo de LTMD se utiliza la siguiente tabla:

<b>E - 03</b>	Fluido caliente (Vapores ácidos)	Fluido frío (Agua refrigeración)	Diferencia	
T <sup>a</sup> alta	93.37	40	<b>53.37</b>	<b>ΔT<sub>2</sub></b>
T <sup>a</sup> baja	46	30	<b>16</b>	<b>ΔT<sub>1</sub></b>
			<b>37.37</b>	<b>ΔT<sub>2</sub> - ΔT<sub>1</sub></b>

La expresión para el LTMD es la siguiente:

$$LTMD = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)$$

$$LTMD = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_2 / \Delta T_1) = 37.37 / 1.205 = 31.02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Despejando el área y sustituyendo en la ecuación el resto de datos, se tiene:

$$A = Q / (U \cdot LMTD \cdot F) = 1.383 \cdot 10^6 / (570 \cdot 31.02 \cdot 1) = 78.21 \text{ m}^2$$

Las características que definen a este cambiador E-03 y que permiten hallar el diámetro de la carcasa, se exponen a continuación:

#### 1.- Área por carcasa:

Asumiendo que el número de carcasas (N<sub>S</sub>) es de 1, se tiene que:

$$A_S = A / N_S = 78.21 / 1 = 78.21 \text{ m}^2 = 841.84 \text{ ft}^2$$

#### 2.- Características del cambiador E-03:

Los valores que se adoptan para varias de sus características geométricas son las siguientes:

L = Longitud de los tubos = 6 m = 19.685 ft

d<sub>o</sub> = Diámetro de tubo = 19 mm = 0.748 inches

P<sub>t</sub> = Pitch o espaciado entre tubos = 1.25 · d<sub>o</sub> = 0.935 inches

Disposición: cuadrada (su limpieza es más fácil por el lado de la carcasa)

BWRG = espesor de pared de tubo = 2,1 mm = 0.082 inches

3.- Número de tubos en cada carcasa ( $N_T$ ):

$$N_T = (3.82 \cdot A_S) / [(L - 0.5) \cdot d_o] = (3.82 \cdot 841.84) / [(19.685 - 0.5) \cdot 0.748] = 224.1 \approx 225 \text{ tubos}$$

4.- NTC (para disposición cuadrangular):

$$NTC = 1.19 \cdot (N_T)^{1/2} = 1.19 \cdot (225)^{1/2} = 17.85 \approx 18$$

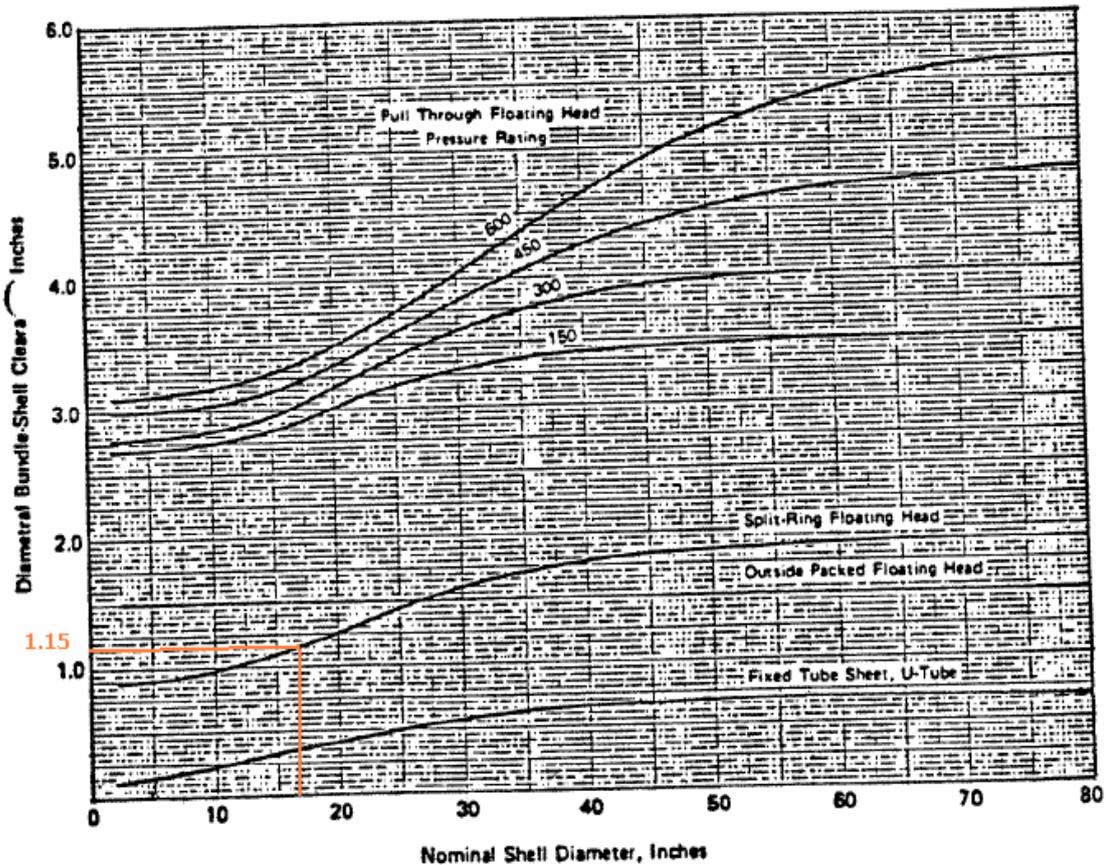
5.- Diámetro nominal de carcasa (DOT):

$$DOT = (NTC - 1) \cdot P_t + d_o = (18 - 1) \cdot 0.935 + 0.748 = 16.65 \text{ inches} = 423 \text{ mm}$$

6.- Diámetro interno de la carcasa (DIS):

Para la deducción del diámetro de carcasa, se necesita la gráfica que relaciona el valor del DOT, el tipo de haz de tubos y el espacio libre entre la carcasa y los tubos. Teniendo en cuenta que el cambiador tiene los tubos con cabezal flotante con soporte, se obtiene lo siguiente:

$$DIS = DOT + LCDD$$



Se obtiene así que el diámetro de la carcasa, que nos define el diseño térmico del cambiador, es:

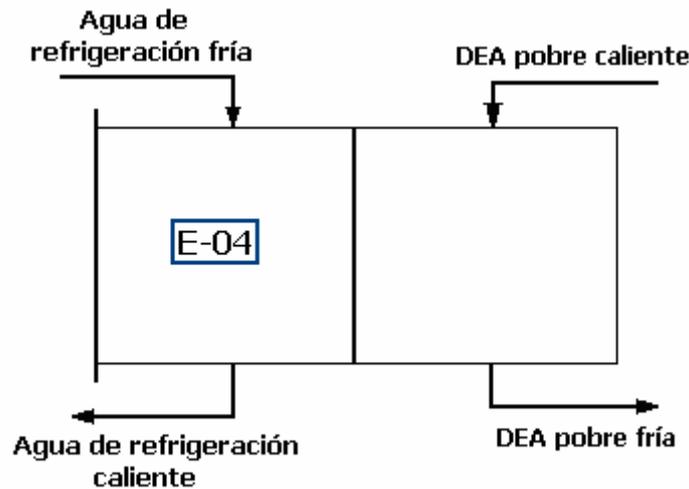
$$DIS = 16.65 + 1.15 = 17.8 \text{ inches} = 452.12 \text{ mm.}$$

#### 7.- Número de deflectores:

Los deflectores son necesarios en el cambiador para poder redireccionar el flujo de la carcasa, aumentando de esa manera la turbulencia y poder conseguir así un flujo transversal a los tubos (y no paralelo), contribuyendo a mejorar la transferencia de calor. Considerando que los deflectores del E-03 son de tipo segmentado sencillo se tiene que:

$$N^{\circ} \text{ deflectores} = L / DIS = 19.685 / (17.8/12) = 13.27 \approx 14 \text{ deflectores}$$

### 3.6. CÁLCULO TÉRMICO DEL CAMBIADOR E-04: ENFRIADOR DE AMINA POBRE



**Figura: Diagrama del intercambiador E-04**

El intercambiador E-04 es, según su construcción, de carcasa y tubos, por lo que presenta los mismos inconvenientes y ventajas que los tres calculados anteriormente. Su cálculo térmico es muy similar al de los anteriores, por lo que se evitará la descripción detallada del mismo, centrándose la descripción de dicho cálculo en aquéllos puntos que se consideren más significativos para su comprensión.

Para hacer posible la obtención de la superficie total requerida para el intercambio de calor, utilizamos la expresión general de diseño para el flujo de calor intercambiado a través de la pared de los tubos que se encuentran en el interior de la carcasa.

$$Q = U \cdot A \cdot LTMD \cdot F$$

Donde:

Q = Flujo de calor intercambiado entre el fluido frío y el caliente (W)

U = Coeficiente global de intercambio de calor, que tiene en cuenta la resistencia global a la transferencia ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

A = Superficie total de intercambio ( $m^2$ )

LTMD = Fuerza impulsora de temperatura media logarítmica (°C)

F = Factor de corrección de LTMD

El flujo de calor se obtiene directamente de los valores de la simulación en HYSYS por diferencia entre los de la corriente caliente y fría:

$$Q = Q_{\text{Agua refrigeración caliente}} - Q_{\text{Agua refrigeración fría}} = 6.754 \cdot 10^6 \text{ W}$$

El coeficiente U para este servicio toma el valor de:

$$U = 680 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

Para el cálculo de LTMD nos ayudamos de la siguiente tabla:

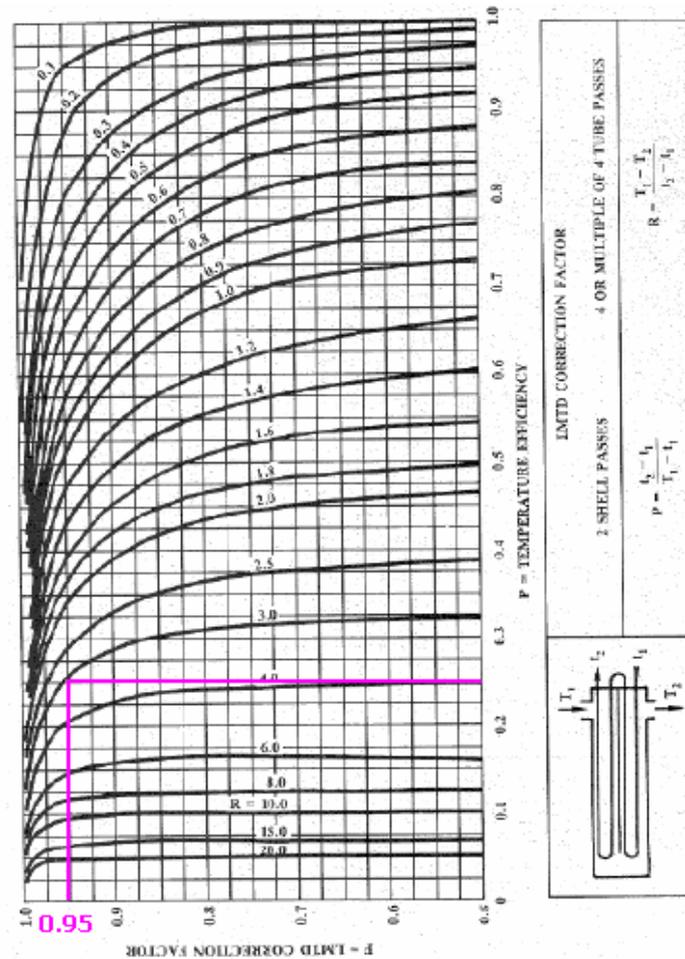
<b>E - 01</b>	Fluido caliente (DEA pobre)	Fluido frío (Agua de refrigeración)	Diferencia	
T <sup>a</sup> alta	70.32	40	<b>30.32</b>	<b>ΔT<sub>2</sub></b>
T <sup>a</sup> baja	40	30	<b>10</b>	<b>ΔT<sub>1</sub></b>
			<b>20.32</b>	<b>ΔT<sub>2</sub> - ΔT<sub>1</sub></b>

La expresión para el LTMD es la siguiente:

$$\text{LTMD} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)$$

$$\text{LTMD} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln (\Delta T_2 / \Delta T_1) = 20.32 / 1.109 = 18.32 \text{ °C}$$

Para el factor F buscamos en la bibliografía la gráfica que proporciona un valor aceptable para éste factor, entrando en la gráfica y se tiene que:



Por lo tanto, para  $R = 3.032$  y  $P = 0.250$  se obtiene un valor de 0.95 para F así como que el cambiador de carcasa y tubos estará conformado por 2 cambiadores en serie (2 pasos por carcasa del fluido) y 4 pasos por tubos (de un extremo al otro). Despejando y sustituyendo obtenemos el valor de la superficie A:

$$A = Q / (U \cdot \text{LMTD} \cdot F) = 570.70 \text{ m}^2$$

Para poder obtener el diámetro de cada carcasa así como las diferentes características de este cambiador, debemos realizar los siguientes cálculos:

1.- Área por carcasa:

Teniendo en cuenta que el número de carcasas ( $N_S$ ) es de 2, se tiene que:

$$A_S = A / N_S = 570.70 / 2 = 285.35 \text{ m}^2 = 3071.50 \text{ ft}^2$$

2.- Características del cambiador E-04:

Considerando el servicio que realiza este cambiador y que se trata de un servicio sucio así como de un cambiador de carcasa y tubos, los valores típicos y que se adoptan para varias de sus características geométricas son las siguientes:

$$L = \text{Longitud de los tubos} = 6 \text{ m} = 19.685 \text{ ft}$$

$$d_o = \text{Diámetro de tubo} = 19 \text{ mm} = 0.748 \text{ inches}$$

$$P_t = \text{Pitch o espaciado entre tubos} = 1.25 \cdot d_o = 0.935 \text{ inches}$$

Disposición: cuadrada (su limpieza es más fácil por el lado de la carcasa)

$$\text{BWRG} = \text{espesor de pared de tubo} = 2,1 \text{ mm} = 0.082 \text{ inches}$$

3.- Número de tubos en cada carcasa ( $N_T$ ):

$$N_T = (3.82 \cdot A_S) / [(L - 0.5) \cdot d_o] = (3.82 \cdot 3071.5) / [(19.685 - 0.5) \cdot 0.748] = 817.62 \approx 818$$

tubos

4.- NTC (para disposición cuadrangular):

$$\text{NTC} = 1.19 \cdot (N_T)^{1/2} = 1.19 \cdot (818)^{1/2} = 34.03 \approx 34$$

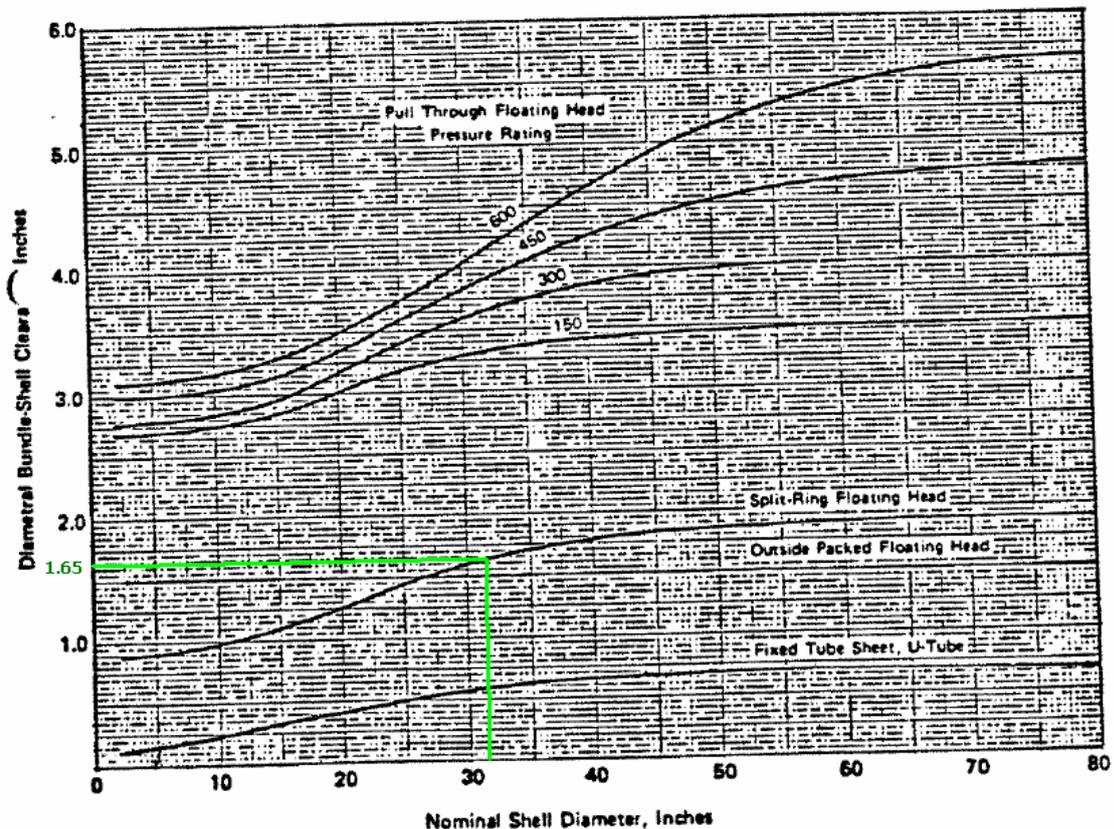
5.- Diámetro nominal de carcasa (DOT):

$$DOT = (NTC - 1) \cdot P_t + d_o = (34 - 1) \cdot 0.935 + 0.748 = 31.60 \text{ inches} = 802.72 \text{ mm}$$

6.- Diámetro interno de la carcasa (DIS):

$$DIS = DOT + LCDD$$

Siendo LCDD la holgura entre carcasa y el haz de tubos, interesa que su valor sea pequeño para evitar cortocircuitos (by-pass por fuera de la bancada). Dicho valor se obtiene de la gráfica que relaciona DOT con LCDD y el tipo de fijación de los tubos, así que entrando en esta gráfica con el valor de DOT anteriormente obtenido y con el tipo de tubos el de cabezal flotante con soporte, tenemos un valor de LCDD de 1.85, de la siguiente manera:



Se tiene de esta manera que:

$$DIS = 31.60 + 1.65 = 33.25 \text{ inches} = 844.55 \text{ mm.}$$

7.- Número de deflectores:

Los deflectores son necesarios en el cambiador para poder redireccionar el flujo de la carcasa, aumentando de esa manera la turbulencia y poder conseguir así un flujo transversal a los tubos (y no paralelo), contribuyendo a mejorar la transferencia de calor, en el E-04 son de tipo segmentado sencillo:

$$N^{\circ} \text{ deflectores} = L / DIS = 19.685 / (33.25/12) = 7.10 \approx 8 \text{ deflectores}$$

### **3.7. CÁLCULO HIDRÁULICO BOTELLÓN V-01: SEPARADOR DE HIDROCARBURO**

La amina rica disminuye su presión en este recipiente el cual está diseñado para separar cualquier hidrocarburo pesado o ligero que esté contaminando la amina rica, haciendo que los pesados formen una fase líquida separada, para poder ser luego enviados a otra planta de aceites para su tratamiento y que los ligeros formen una fase gaseosa que se enviará a la antorcha de gases ácidos para ser quemados.

Para calcular el diámetro y la longitud de este botellón de carga, los criterios a seguir son que:

- 1) El líquido esté contenido en su interior al menos durante 20 minutos. En la mayoría de los decantadores este tiempo es suficiente para lograr una buena separación entre las fases líquidas.
- 2) La relación geométrica L/D sea de 5, pues para decantadores conviene que el líquido tenga que recorrer grandes longitudes para aumentar el tiempo de separación entre las fases líquidas (hidrocarburos y agua).
- 3) El área de paso para el líquido sea el 90% de la total. En estos recipientes la fase vapor, producida al reducirse la presión de la amina rica, es de poca magnitud.

Los cálculos realizados para este recipiente se diferencian de los ya realizados para el botellón de reflujo, ya que tenemos tres condiciones a considerar en lugar de dos, lo cual facilita los cálculos, aun así, se necesitarán datos procedentes de la simulación en HYSYS para poder llevarlos a cabo. En particular, los caudales, tanto de la corriente líquida como gaseosa, y las densidades de ambas corrientes, siendo las siguientes:

- ❖ La corriente de gas ácido estará constituida por una mezcla de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, metano, etileno, etano, propeno, propano y agua. El valor de su caudal será de  $Q_V = 11.66 \text{ m}^3/\text{h} = 3.239 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .
- ❖ La corriente de líquido está compuesta por H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, metano, etano, propeno, DEA y agua. Su valor según la simulación es de  $Q_L = 196.60 \text{ m}^3/\text{h} = 5.461 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ . En el balance de materia de este proyecto, esta corriente se identifica como la de DEA rica que sale del botellón de carga.
- ❖ El valor de la densidad de la corriente gaseosa es de  $\rho_V = 1.2535 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .
- ❖ El valor correspondiente a la densidad de la corriente líquida es de  $\rho_L = 1056.6 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

Las expresiones matemáticas utilizadas para llegar a obtener los datos requeridos son las mismas que para el caso anterior, por lo que se condensarán las explicaciones para que el procedimiento no resulte repetitivo.

Para obtener la velocidad crítica necesaria, se tiene:

$$V_c = 4.57 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V} - 1\right)}$$

De donde se extrae el valor de la velocidad máxima recomendada que es de  $V_c = 132.602 \text{ cm/s} = 1.326 \text{ m/s}$ .

Como lo necesario es diseñar con una capacidad de retención de líquido equivalente a 20 minutos del caudal de líquido, se tiene que el volumen necesario para el líquido es el siguiente:

$$V_L = \tau_L \cdot Q_L$$

Sustituyendo los datos en sus unidades correspondientes, se tiene el volumen para el líquido en m<sup>3</sup>:

$$V_L = 20 \cdot 60 \cdot 5.461 \cdot 10^{-2} = 65.532 \text{ m}^3$$

Para poder hallar las características geométricas (diámetro y longitud) del botellón de reflujo, quedan por aplicar el resto de condiciones. Con la condición de que la sección ocupada por el líquido sea el 90% de la sección total, (el resto es para el vapor) y que L/D es 5 para este decantador, utilizando la expresión para el volumen de un recipiente cilíndrico y horizontal, resulta:

$$V = [(\pi \cdot D^2) / 4] \cdot L = [(\pi \cdot D^2) / 4] \cdot 5 \cdot D = 65.532 \text{ m}^3$$

Despejando el diámetro se tiene que su valor es de 2.64 m, por lo que su longitud y el área de paso para el líquido y el vapor serán:

$$L = 5 \cdot D = 5 \cdot 2.64 = 13.234 \text{ m.}$$

$$A_T = (\pi \cdot D^2) / 4 = (\pi \cdot 2.64^2) / 4 = 5.4739 \text{ m}^2$$

$$A_L = 0.9 \cdot A_T = 0.9 \cdot 5.4739 = 4.9265 \text{ m}^2$$

$$A_V = A_T - A_L = 5.4739 - 4.9265 = 0.5474 \text{ m}^2$$

### **3.8. CÁLCULOS MECÁNICOS BOTELLÓN V-01**

A partir del cálculo realizado para el dimensionado del V-01, se procede a la obtención de los principales datos de diseño, así como al diseño mecánico de dicho botellón de carga para la determinación del espesor del material tanto de los fondos como del cuerpo siguiendo en todo momento las instrucciones del código ASME, Sección VIII – Div.1, aplicado a separadores de tipo líquido-líquido.

#### **3.8.1. CÁLCULO DE PRESIÓN DE DISEÑO**

La presión de diseño (P) es la que se emplea para diseñar el recipiente, y su valor se fija como el mayor de entre los tres siguientes:

$$P \geq 1.1 \cdot \text{Presión máxima de operación (Kg/cm}^2\text{)} = 1.1 \cdot 1.55 = 1.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ Kg/cm}^2 = 1.55 + 2 = 3.55 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \geq 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que el valor para la presión de diseño queda fijada en  $3.55 \text{ Kg/cm}^2 = 50 \text{ psig}$ .

#### **3.8.2. CÁLCULO DE TEMPERATURA DE DISEÑO**

Debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual que adopte un valor seguro ante las condiciones de trabajo del equipo, se toma así como temperatura de diseño  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### **3.8.3. CÁLCULO DEL ESPESOR DEBIDO A LA PRESIÓN INTERNA**

A continuación se detallan los cálculos para el V-01 ante presión interna, en primer lugar para hallar el espesor del cuerpo y posteriormente, para los fondos.

### A) Cuerpo

Considerando que según el código ASME, la fórmula para obtener el espesor del cuerpo de un recipiente a presión cilíndrico ante tensión longitudinal es:

$$t_1 = \frac{P \cdot R_o}{0.4 \cdot P + E \cdot S_d} + CA$$

Donde:

- P (Presión de diseño) = 50 psig
- R<sub>o</sub> (Radio exterior) = 1320 mm
- S<sub>d</sub> (Tensión admisible) = 1202.5 Kg/cm<sup>2</sup> = 17100 psig
- E (Eficiencia de junta) = 85%
- CA (Corrosión admisible) = 6mm

Sustituyendo dichos datos se tiene que:

$$t_1 = \frac{50 \cdot 1320}{0.4 \cdot 50 + 0.85 \cdot 17100} + 6$$

$$t_1 = 4.54 + 6 = 10.54 \text{ mm}$$

Aunque según el código ASME, para aceros al carbono en una envolvente cilíndrica:

$t_{\min} = 5 + CA = 5 + 6 = 11 \text{ mm}$  (espesor mínimo adoptado), que se acepta como el espesor final de la envolvente.

### A) Fondos

Para calcular el espesor de los fondos de tipo toriesférico, el código de diseño proporciona la siguiente expresión:

$$t_s = \frac{P \cdot L \cdot M}{S_d \cdot 2 \cdot E - 0.2 \cdot P} + CA$$

Teniendo que:

- P (Presión de diseño) = 50 psig
- L (Radio de curvatura) = 780 mm
- $S_d$  (Tensión admisible) = 17100 psig
- E (Eficiencia de junta) = 100%
- CA (Sobreespesor de corrosión) = 6 mm

Y siendo M un factor geométrico definido como:

$$M = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L}{R}} \right)$$

En donde:  $L = 0.8 \cdot D = 0.8 \cdot 2640 = 2112$  mm

$$R = D / 6.5 = 2640 / 6.5 = 406.15$$
 mm

Para estos valores se obtiene un  $M = 1.32$ .

Sustituyendo se obtiene:

$$t_s = \frac{50 \cdot 2112 \cdot 1.32}{17100 \cdot 2 \cdot 1 - 0.2 \cdot 50} + 6$$

$$t_s = 4.1 + 6 = 10.1$$
 mm

Al igual que para el cuerpo de este recipiente, el código ASME para aceros al carbono indica que:

$t_{\min} = 5 + CA = 5 + 6 = 11$  mm (espesor mínimo adoptado en los fondos), que será el espesor finalmente adoptado para los fondos del botellón.

### Comprobación como viga

Para los equipos horizontales de grandes dimensiones, hay que tener presente el efecto de los mismos cuando se encuentran soportados por dos cunas. Para que el equipo trabaje mejor en estas condiciones, se debe dimensionar dichos soportes de acuerdo con los siguientes requisitos:

- Cada soporte está ubicado a 850 mm de la línea de tangencia de las virolas.
- El ángulo que abarca el soporte respecto al recipiente es de 160°.

En base a estos datos junto con las exigencias del recipiente, considerándolo como una viga apoyada en dos puntos, existe un método de cálculo según L. P. Zick para hallar el espesor mínimo para que el cuerpo del recipiente (la viga), no flexione en el centro del equipo ni se aplaste en las zonas correspondientes a los soportes. Según este método de cálculo, el espesor del equipo sería de 10 mm como mínimo excluido el sobreespesor de corrosión. Por lo tanto, el espesor mínimo necesario será de 16 mm en el cuerpo y de 11 mm en los fondos.

## **3.9. CÁLCULO HIDRÁULICO DE BOTELLÓN V-02: BOTELLÓN DE REFLUJO**

Al botellón de reflujo llega el producto de cabeza de la columna regeneradora después de pasar por el condensador de cabeza E-03, y en él se produce la separación del H<sub>2</sub>S. Dado que los botellones de reflujo con gas como producto de cabeza normalmente son horizontales, este también lo es.

Para el cálculo de su diámetro y longitud, se procederá según lo descrito a continuación, teniendo presente que los criterios a seguir son que el tiempo de residencia del líquido en su interior (holdup) sea de al menos 10 minutos y el valor de la relación geométrica L/D. Esta relación está siempre en un rango comprendido entre 2.5 y 5.0, con diámetros pequeños para presiones elevadas y para separadores líquido-líquido.

<b>P (psig)</b>	0-250	251-500	501+
<b>L/D</b>	3	4	5

En este caso se considera un valor de 2.5, debido a que es la elección más adecuada para la presión de trabajo (menor de 50 psig).

Para estos cálculos, será necesario extraer varios datos de la simulación en HYSYS, en concreto, los caudales tanto del líquido como del vapor y las densidades de ambas corrientes.

- ❖ La corriente de vapor estará constituida por una mezcla de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, metano, etileno, etano, propeno, propano y agua. Su valor será de  $Q_V = 2402.9 \text{ m}^3/\text{h} = 0.6674 \text{ m}^3/\text{s}$ . En el balance de materia esta corriente se denomina como la corriente de gas ácido hacia la planta de azufre.
- ❖ La corriente de líquido está compuesta por H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y agua. Su valor según la simulación es de  $Q_L = 1.4528 \text{ m}^3/\text{h} = 4.035 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . En el balance de materia de este proyecto se identifica como la corriente de reflujo hacia la regeneradora.
- ❖ El valor para la densidad de la corriente gaseosa es de  $\rho_V = 1.9467 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .
- ❖ El valor correspondiente a la densidad de la corriente líquida es de  $\rho_L = 989.58 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

En separación de líquidos y gases tenemos unas partículas cayendo a una determinada velocidad dentro de una corriente en sentido perpendicular o contracorriente, si la velocidad del flujo es mayor que la de caída, este hecho evitará la separación. Si se considera las partículas como esferas rígidas, la velocidad de sedimentación se obtiene por:

$$V = \sqrt{\frac{4gD_p}{3C_D} \left( \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)}$$

Donde:

- V : Velocidad de sedimentación.
- g: Aceleración de la gravedad.
- $D_p$ : Diámetro de partícula.
- $\rho_L, \rho_V$ : Densidades del líquido y vapor.
- $C_D$ : Coeficiente de caída, depende del número de Reynolds.

$$C_D = \frac{64}{Re} \quad Re = \frac{D_p V \rho_V}{\mu_V}$$

El problema de determinar el tamaño de partícula dificulta el uso de esta ecuación, simplificada por Souders y Brown obteniéndose, la velocidad crítica del vapor:

$$V_c = K \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V} - 1\right)}$$

Donde K es el coeficiente de Souders-Brown y que para este caso vale 4.57 cm/s.

Una vez obtenida la expresión para la velocidad crítica, esta se calcula para obtener la sección de paso del vapor. En la fórmula correspondiente se sustituyen las densidades en Kg/m<sup>3</sup> y se obtiene la velocidad crítica en cm/s.

$$V_c = 4.57 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V} - 1\right)}$$

Se obtiene una velocidad máxima recomendada de 102.935 cm/s = 1.029 m/s. A partir de esta velocidad, podemos obtener el área de paso de la corriente gaseosa tal y como se muestra a continuación:

$$A_v = \frac{Q_v}{V_c}$$

De donde se extrae que  $A_V$  es de  $0.6486 \text{ m}^2$  en este equipo.

El tiempo de retención (holdup) es el que determina el volumen del recipiente. Como lo usual es diseñar con una capacidad de retención de líquido equivalente a 10 minutos del caudal de líquido, se tiene que el volumen necesario para el líquido es el siguiente:

$$V_L = \tau_L \cdot Q_L$$

Donde  $\zeta_L$  es el tiempo de retención del líquido en segundos y  $Q_L$  el caudal de líquido en  $\text{m}^3/\text{s}$ . Se calcula así el volumen en  $\text{m}^3$ . Sustituyendo se tiene que:

$$V_L = 10 \cdot 60 \cdot 4.035 \cdot 10^{-4} = 0.2421 \text{ m}^3$$

A partir de los cálculos y datos anteriores, para poder hallar las características geométricas (diámetro y longitud) del botellón de reflujo, se procede a un proceso de cálculo de prueba-error hasta lograr la convergencia del mismo. Se explica con más detalle la primera repetición, efectuándose las siguientes de manera análoga.

#### Cálculo n°1:

Primeramente, se elige un diámetro para el recipiente, por ejemplo,  $D = 1 \text{ m}$ . Con este diámetro se calcula el área total de paso del recipiente:

$$A_T = (\pi \cdot D^2)/4 = (\pi \cdot 1)/4 = 0.7854 \text{ m}^2$$

Con la diferencia entre esta sección total y la destinada para el paso del vapor, se obtiene la de paso para el líquido.

$$A_L = A_T - A_V = 0.7854 - 0.6486 = 0.1368 \text{ m}^3$$

Dado que la relación longitud/diámetro para equipos como este, que trabajan a bajas presiones, está entre 2.5 y 3, se elige  $L/D = 2.5$  por ser la opción más conservadora, así obtenemos que la longitud es de:

$$L = 2.5 \cdot D = 2.5 \cdot 1 = 2.5 \text{ m}$$

La iteración se comprueba si la anterior longitud es del mismo valor que la calculada a continuación:

$$L = \frac{V_L}{A_L}$$

$L = 0.2421 / 0.1368 = 1.77 \text{ m} \neq 2.5 \text{ m}$ , al ser diferentes, se aumenta o disminuye el diámetro elegido inicialmente hasta que ambas longitudes sean iguales. Para que el proceso no resulte demasiado repetitivo, los resultados de las sucesivas iteraciones se muestran en la siguiente tabla, a manera de resumen.

	Cálculo nº 2	Cálculo nº 3	Cálculo nº 4	Cálculo nº 5
D (m)	1.125	0.950	0.980	0.975
$A_T$ (m <sup>3</sup> )	0.994	0.700	0.754	0.746
$A_L$ (m <sup>3</sup> )	0.345	0.051	0.106	0.098
$L = 2.5 \cdot D$ (m)	2.812	2.375	2.450	2.437
$L = V_L / A_L$ (m)	0.700	4.710	2.300	2.470
¿Resultado final?	NO	NO	NO	SI

De esta manera se llega a la obtención de un diámetro para el botellón de reflujo de 0.975 m y una longitud de 2.453 m, media aritmética de las dos anteriores. Por tanto, el volumen de este recipiente es de 1.83 m<sup>3</sup>.

### 3.10. CÁLCULO MECÁNICO DEL BOTELLÓN V-02

A partir del cálculo anterior para el dimensionado del recipiente V-02, se procede ahora a la obtención de los datos principales de diseño, así como al diseño mecánico básico del botellón para la determinación de los espesores tanto de los fondos como del cuerpo siguiendo en todo momento las instrucciones del código ASME, Sección VIII – Div.1, aplicado a separadores gas-líquido.

#### 3.10.1. CÁLCULO PRESIÓN DE DISEÑO

La presión de diseño (P) es la máxima presión de trabajo permitida, (MAWP) cuyo valor se fija como el mayor de entre:

$$P \geq 1.1 \cdot \text{Presión máxima de operación (Kg/cm}^2\text{)} = 1.1 \cdot 1.55 = 1.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ Kg/cm}^2 = 1.55 + 2 = 3.55 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \geq 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que el valor para la presión de diseño queda fijada en  $3.55 \text{ Kg/cm}^2 = 50 \text{ psig}$ .

#### 3.10.2. CÁLCULO TEMPERATURA DE DISEÑO

Debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual que adopte un valor seguro ante las condiciones de trabajo del equipo, se toma así como temperatura de diseño  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$T_{\text{mínima diseño}} = \text{Temperatura máxima de operación} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 47 + 20 = 67 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se puede aceptar por tanto, una temperatura de diseño de  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.10.3. CÁLCULO DE ESPESOR DEBIDO A PRESIÓN INTERNA

A continuación se detallan los cálculos para el recipiente sometido a presión interna, en primer lugar para hallar el espesor del cuerpo y posteriormente, para los fondos.

#### A) Cuerpo

Considerando que según el código ASME, la fórmula para obtener el espesor del cuerpo de un recipiente a presión cilíndrico ante tensión longitudinal es:

$$t_1 = \frac{P \cdot R_o}{0.4 \cdot P + E \cdot S_d} + CA$$

Donde:

- P (Presión de diseño) = 50 psig
- $R_o$  (Radio exterior) = 487.5 mm
- $S_d$  (Tensión admisible) =  $1202.5 \text{ Kg/cm}^2 = 17100 \text{ psig}$
- E (Eficiencia de junta) = 85%
- CA (Corrosión admisible) = 6mm

Sustituyendo se tiene que:

$$t_1 = \frac{50 \cdot 487.5}{0.4 \cdot 50 + 0.85 \cdot 17100} + 6$$

$$t_1 = 1.66 + 6 = 7.66 \text{ mm}$$

Aunque según el código ASME, para aceros al carbono en una envolvente cilíndrica:

$t_{\min} = 5 + CA = 5 + 6 = 11 \text{ mm}$  (espesor mínimo adoptado), que se acepta como el espesor final de la envolvente.

B) Fondos

Para calcular el espesor de los fondos de tipo toriesférico, el código de diseño proporciona la siguiente expresión:

$$t_s = \frac{P \cdot L \cdot M}{S_d \cdot 2 \cdot E - 0.2 \cdot P} + CA$$

Teniendo que:

- P (Presión de diseño) = 50 psig
- L (Radio de curvatura) = 780 mm
- S<sub>d</sub> (Tensión admisible) = 17100 psig
- E (Eficiencia de junta) = 100%
- CA (Sobreespesor de corrosión) = 6 mm

Y siendo M un factor geométrico definido como:

$$M = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L}{R}} \right)$$

En donde: L = 0.8 · D = 0.8 · 975 = 780 mm (radio interior corroído de la parte central del fondo).

R = D / 6.5 = 975 / 6.5 = 150 mm (radio interior corroído de la parte de radio de acuerdo del fondo).

Para estos valores se obtiene un M = 1.32.

Sustituyendo se obtiene:

$$t_s = \frac{50 \cdot 780 \cdot 1.32}{17100 \cdot 2 \cdot 1 - 0.2 \cdot 50} + 6$$

$$t_s = 1.5 + 6 = 7.5 \text{ mm}$$

Al igual que para el cuerpo de este recipiente, el código ASME para aceros al carbono indica que:

$t_{\min} = 5 + CA = 5 + 6 = 11$  mm (espesor mínimo adoptado en los fondos), que será el espesor finalmente adoptado para los fondos del botellón.

Al igual que para el recipiente V-01 y debido al tipo de soportes con que cuenta este recipiente, el espesor final adoptado para el cuerpo es de 16 mm mientras que para los fondos es de 11 mm.

### 3.11. CÁLCULO DE TUBERÍAS

Los cálculos relacionados con las líneas de tuberías tienen como objetivo hallar la caída de presión o pérdida de carga total, es decir, incluyendo tanto las líneas como los accesorios asociados a ellas, así como el dimensionado de las mismas. Se entiende por dimensionado el espesor, el Schedule y el diámetro externo de cada una de las tuberías principales de la unidad, dado que las tuberías se identifican por su diámetro externo y su espesor.

Los resultados mostrados en la memoria descriptiva son consecuencia de cálculos realizados con los procedimientos y ecuaciones que se exponen a continuación.

#### 3.11.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN LAS TUBERÍAS

Las ecuaciones básicas o fórmulas principales para el cálculo de una instalación de tuberías son las siguientes.

##### Número de Reynolds

Es una ecuación adimensional que indica el grado de turbulencia del movimiento de un fluido y es la siguiente:

$$\text{Re} = \frac{D \cdot v}{\nu} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu \cdot g}$$

Donde:

- $D$  = diámetro interno de la tubería (m)
- $V$  = velocidad de flujo (m/s)
- $\mu$  = viscosidad dinámica (Ns/m<sup>2</sup>)
- $g$  = aceleración de la gravedad (m<sup>2</sup>/s)
- $\nu$  = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)
- $\rho$  = densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

### Determinación de la pérdida de carga en tuberías

La pérdida de carga en tuberías se calcula mediante la expresión:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde  $f$  es el factor de fricción o factor de fanning y se obtiene con las siguientes ecuaciones.

- Para flujo laminar ( $Re < 2000$ ), se usa la ecuación propuesta por Poseuille (aceites, fuel, etc.):

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Para flujo turbulento ( $Re > 2000$ ) se utiliza la ecuación de Colebrook y White que necesita de iteración para resolverse aunque una buena aproximación de la solución es la siguiente:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( 0.27027 \cdot \frac{\varepsilon}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

La rugosidad del material  $\varepsilon$  obtiene a partir de diferentes tablas que se pueden encontrar en la bibliografía. En este caso al ser todas las tuberías de acero al carbono calmado, se toma un valor de 0.00015.

#### Determinación de la pérdida de carga en válvulas y accesorios

Existen dos métodos que posibilitan el cálculo de la pérdida de carga en los diferentes accesorios de las líneas.

1.- Por medio de la longitud equivalente de tubería. Se entiende por longitud equivalente a la longitud de tubería recta que produciría la misma caída de presión que un accesorio si lo reemplazara por este. Este método se basa en estimar el valor de  $L_e$ , utilizando tablas que relacionan el diámetro interior del tubo con el accesorio del que se trate, se obtiene la pérdida de carga expresada en longitud equivalente (ft).

2.- Por medio del coeficiente de resistencia (K) o método de las cargas de velocidad. Consiste en asignar a cada accesorio un valor K tal que al multiplicarlo por la carga de velocidad circulante por la tubería sea igual a la pérdida de carga debida al accesorio. Luego se suman todos los valores para el conjunto de accesorios presente en cada tubería.

La carga de velocidad se define como la energía cinética por unidad de masa circulante, es decir,  $v^2/2g$ .

$$h_{fa} = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Al igual que para el caso de la longitud equivalente, el valor de K se puede obtener de tablas presentes en la bibliografía donde se entra con el diámetro del tubo y el tipo de accesorio y se obtiene el coeficiente de resistencia para diferentes accesorios.

### Pérdida de carga total

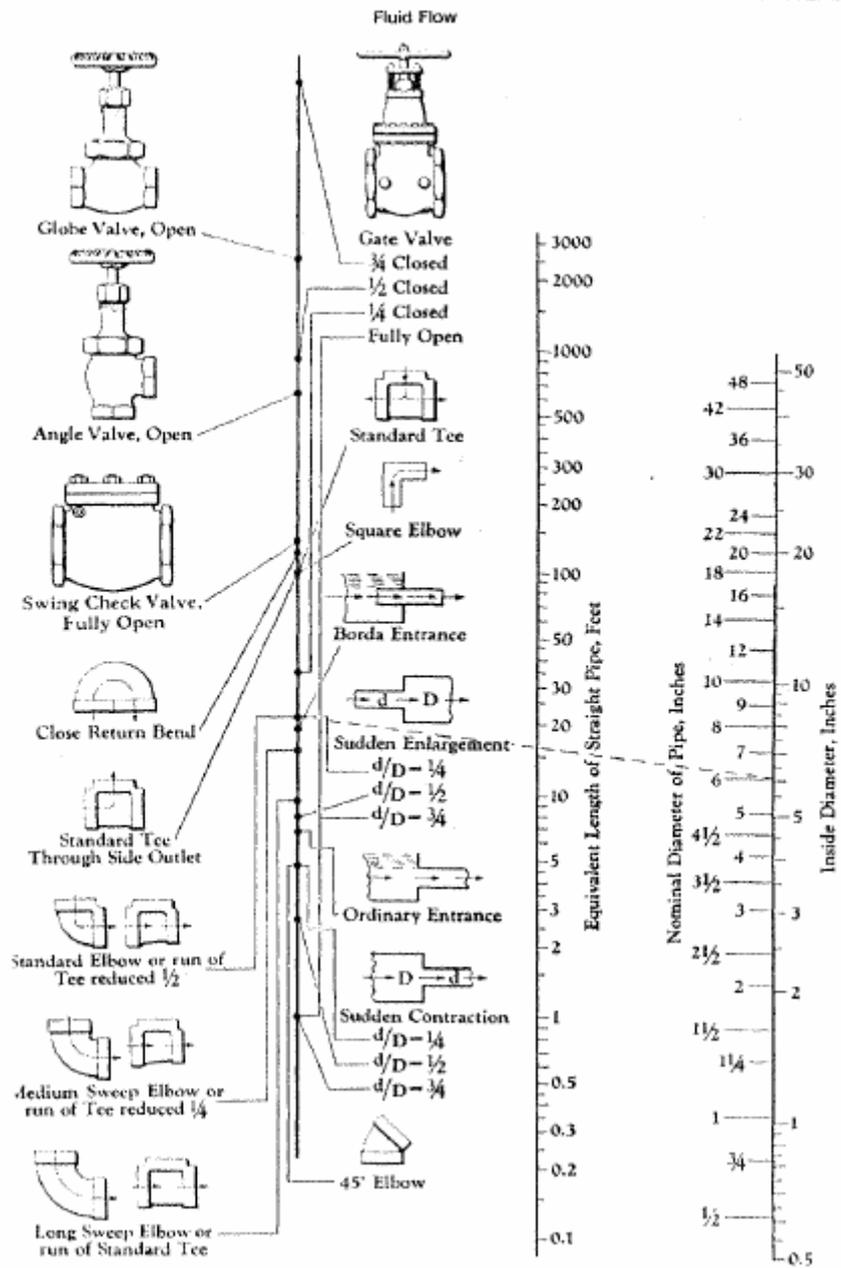
Según lo anteriormente dicho, la pérdida de carga total será la resultante de sumar la de la tubería con la de los accesorios que se encuentren en ella. Lo que es lo mismo:

$$h_{f-TOTAL} = \left[ f \cdot \frac{L}{D} + K \right] \cdot \frac{v^2}{2g} = h_f + h_{fa}$$

Para obtener la pérdida de carga en los accesorios, se utiliza el método de cálculo de la longitud equivalente de tubería, dicho valor se estima utilizando la siguiente tabla, en la que se obtienen valores aproximados, ya que el valor específico variará con el tipo de accesorio (por ejemplo, roscado o con pletina), las dimensiones geométricas reales y el sistema de construcción (por ejemplo, forjado o fundido). En particular, esta tabla se utiliza para diámetros mayores de 2 pulgadas, se debe tener en cuenta que son valores empíricos:

Diámetro interior del tubo en pulgadas		2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°		4-5	6-7	9-10	12-14	18	21	26	31	35	40	45	62
Codo largo de 90°		2.5-4	5	6-7	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°		2.5	3.5	4.5	7.5	10	12.5	15	17	19	21	23	28
Coso largo de 45°		1.5	2	2.7	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°					36	46	60	75	-	-	-	-	-
Curva de 180°, de gran radio					20	25	30	40	-	-	-	-	-
Curva de 90°, soldadas	= 0.5	7	10	12	19	25	32	38	44	50	56	-	-
	= 1.0	3	5	6	8	11	14	17	20	23	26	-	-
	= 1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	-	-
	= 2.0	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	-	-
	= 3.0	1	1.5	2.5	4	6	7	9	11	13	15	-	-
Tes		10	15	20	32	41	55	65	75	85	100	115	130
Válvula de compuerta	Abierta	1.25	1.7	2.3	3.5	4.5	6	7	8	9	10	12	14
	Cerrada	7	10	13	19	26	33	40	-	-	-	-	-
	¼												
	Cerrada	33	50	70	100	130	160	190	-	-	-	-	-
Válvula de globo	½												
	Cerrada	140	200	280	400	540	700	800	-	-	-	-	-
Válvula de globo		56	80	107	160	215	270	320	375	430	480	540	640
Válvula de retención		13	20	27	40	53	67	80	93	107	120	135	160
Válvula de pie		4	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Entrada típica		3	4.5	6	9	12	15	18	21	24	27	30	35

Para estimar la pérdida de carga en los accesorios de menos de 2 pulgadas, se sigue el siguiente gráfico:



Los resultados, según todo lo anterior, para la pérdida de carga en tuberías y en accesorios etiquetados en el plano nº 2 (diagrama de proceso) y que conforman las principales del sistema son:

NÚMERO LÍNEA	NOMBRE	VELOCIDAD (m/s)	ΔP TUBERIA (m)	ΔP ACCESORIOS (m)	ΔP TOTAL (m)
1	AMR-5	1.1417	0.098	19.66	19.76
2	AMR-1	1.0777	0.1722	27.90	28.07
3	AMR-2	1.0780	0.1845	36.12	36.30
4	AMR-3	1.1106	0.1326	19.66	19.80
5	AMP-2	1.1456	0.0741	40.08	40.15
6	HV-1	9.7997	0.045	21.50	21.54
7	AA-2	0.0884	0.006	14.32	14.37
8	GS-1	13.0173	0.0726	36.42	36.50
9	AMP-7	17.0045	0.0069	69.34	69.35
10	AMP-3	1.1073	0.0312	14.63	14.66
11	AMP-4	1.0902	1.968	50.14	52.11

### 3.11.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

Se deben establecer las bases para el diseño (material, diámetro, espesor) de las tuberías del sistema, cuyos puntos básicos se ven a continuación.

A) ESPESOR DE TUBERÍA.- Según ASME B31.3 Sec.304, el cálculo del espesor de pared se realiza utilizando la fórmula:

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (SE + PY)}$$

Para  $t < D/6$  o  $P/SE \leq 0.385$ .

La expresión que se utiliza en este proyecto es la que tiene en cuenta el sobreespesor de corrosión, para la que el espesor mínimo resulta:

$$t = \left[ \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (SE + PY)} + C \right]$$

Para ambas expresiones se tiene:

- $t$  = espesor del tubo requerido por presión en pulgadas.
- $t_m$  = espesor mínimo de la tubería en pulgadas, que se requiere por presión y para compensar por material removido por roscado, rasurado, etc. Y como provisión para resistencia mecánica, corrosión y erosión, incluyendo 12,5% de tolerancia de fabricación.
- $P$  = Presión interna de diseño (psig). Es normal añadir aproximadamente el 10% sobre el máximo anticipado.
- $D$  = Diámetro externo de la tubería en pulgadas.
- $S$  = Coeficiente básico de trabajo o tensión admisible del material a la temperatura de diseño. Se ha tomado un valor de 15000 psi.
- $E$  = es el joint efficiency o quality factor, factor de eficiencia de la soldadura (en tuberías soldadas), o factor de calidad. Este valor viene indicado para cada tipo de tubería, en la norma ASME B31.3. Para los tubos de esta planta se toma  $E = 0.85$ .
- $SE$  = es el máximo coeficiente de trabajo que el código permite para la tensión circunferencial debido a presión interna.
- $Y$  = es el coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura, sus valores vienen dados en la norma. Para este caso el adecuado es de  $Y = 0,40$ .
- $C$  = Tolerancia de corrosión admisible en pulgadas. Las tolerancias de corrosión se basa en la clase de fluido que circula y no están especificadas en el código. Para el tratamiento de aminas se toma el valor de 6 mm.

B) NÚMERO DE LISTA O SCHEDULE.- El número de lista se calcula según:

$$Sch = \frac{P_s \cdot 1000}{\sigma_s}$$

Expresión en la que:

- $P_s$  = Presión de trabajo
- $\sigma_s$  = Tensión de trabajo segura.

C) **DIAMETRO DE TUBERÍA.**- El diámetro se establece inicialmente en función del caudal del fluido que circula por la tubería y de la elección de una velocidad del fluido que se estima en base a la experiencia, para evitar problemas mecánicos tales como golpes de ariete, erosión del tubo, etc.

Una vez conocidos el caudal y la velocidad del flujo que discurre por una tubería, se obtiene el diámetro de la misma mediante un sencillo cálculo. Siempre se considera el caudal máximo y no el nominal (el nominal aumentado en un 20 – 50%).

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

O lo que es lo mismo:

$$D = 18.8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Expresión en la que el diámetro se obtiene en mm, el caudal está en m<sup>3</sup>/h y la velocidad del fluido en m/s.

A partir del conocimiento de las características del fluido que circula por cada una de estas líneas, así como de las condiciones de diseño de las mismas, se halla el espesor y el diámetro de las tuberías. Según dicho espesor y diámetro, se utiliza una tabla de correspondencia entre ambos parámetros y el Schedule de la tubería y se halla este último. Dicha tabla seguirá las medidas de las dimensiones y peso del tubo soldado y sin soldadura según ANSI B 36.10 M-2000 y ANSI B 36.19 M-1985.

En base a todo lo anterior se tienen las siguientes características relativas a las dimensiones de las principales líneas de la planta:

LÍNEA	FLUIDO	DIÁMETRO	SCHEDULE
AMP-1	Amina pobre	10"	30
AMP-2	Amina pobre	10"	40
AMP-3	Amina pobre	10"	40
AMP-4	Amina pobre	10"	40
AMP-5	Amina pobre	6"	40
AMP-6	Amina pobre	8"	40
AMP-7	Amina pobre	22"	20
AMP-8	Amina pobre	1 1/4"	160
AMP-9	Amina pura	2"	160
AMR-1	Amina rica	10"	30
AMR-2	Amina rica	10"	40
AMR-3	Amina rica	10"	40
AMR-4	Amina rica	2"	160
AMR-5	Amina rica	10"	30
CB-1	Condensado baja	6"	40
CB-2	Condensado baja	2"	160
GS-1	Gas sulfhídrico	10"	30
GA-1	Gas de antorcha	3"	80
HV-1	HC + vapor agua	10"	30
HA-1	HC + agua	8"	30
R-1	Residuos	3"	80
VB-1	Vapor de baja	12"	30
AA-1	Aguas ácidas	3"	80
AA-2	Aguas ácidas	3"	80
AA-3	Aguas ácidas	3"	80
AA-4	Aguas ácidas	3"	80



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO N° 4

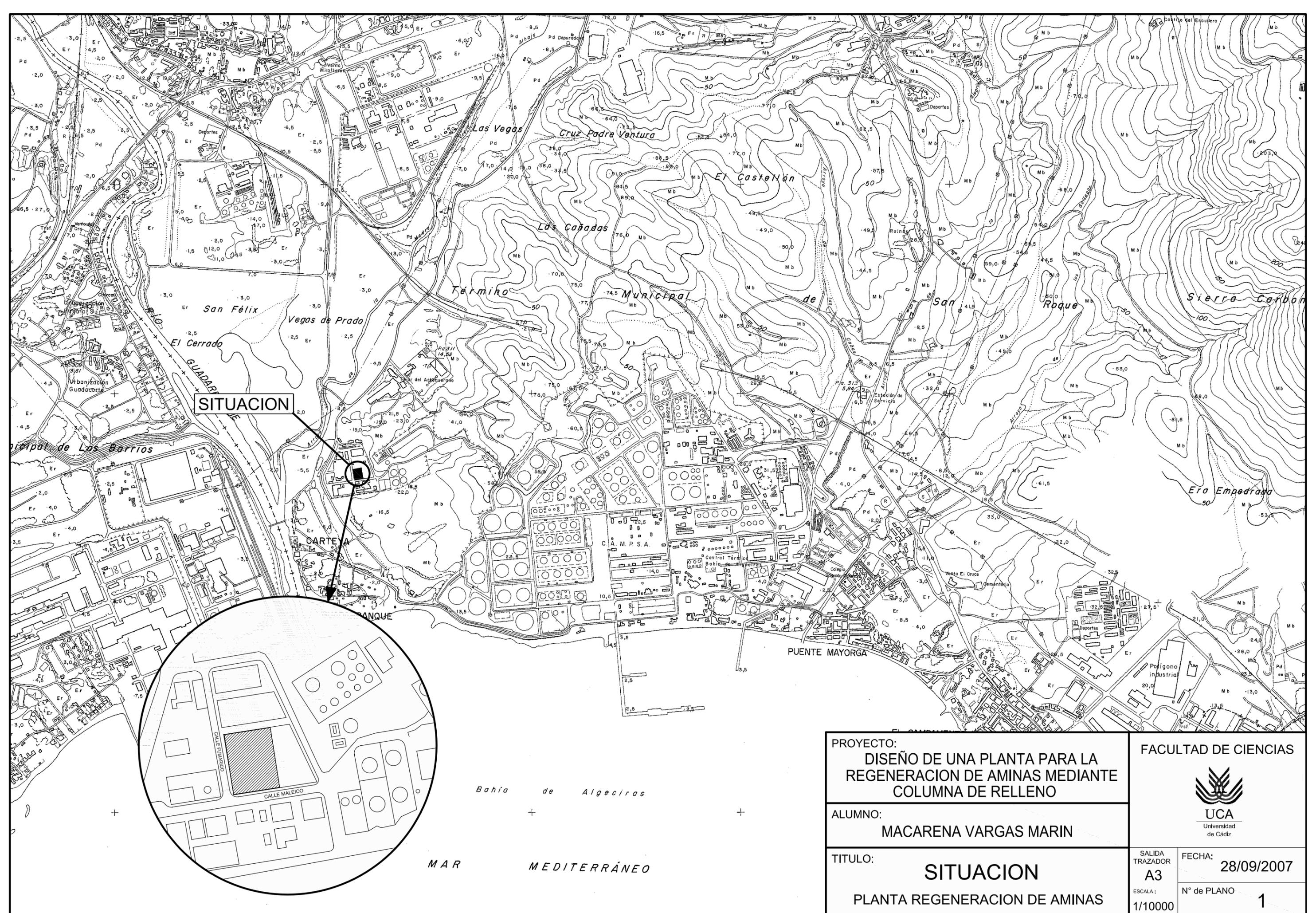
**PLANOS**

Macarena Vargas Marín

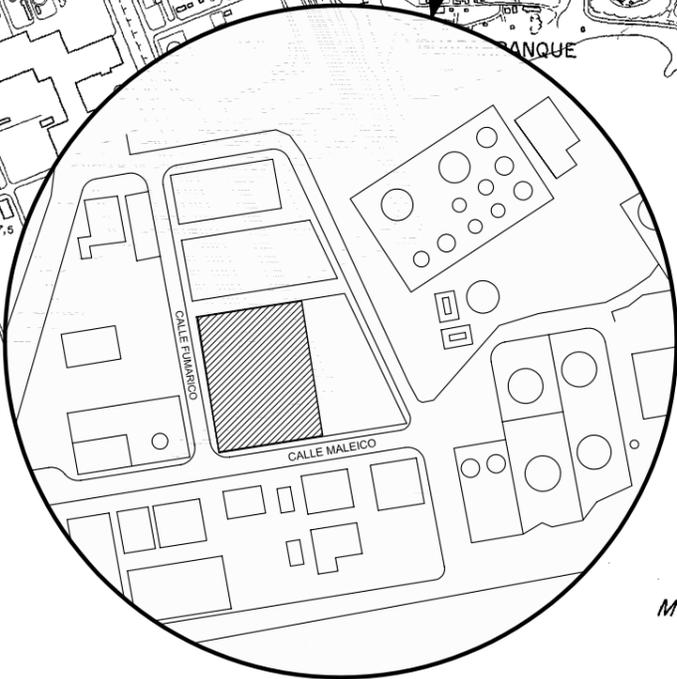
Septiembre, 2007

## 4. PLANOS

	<u>Nº Plano</u>
<b>4.0. Índice planos</b>	
<b>4.1. Plano de situación</b>	<b>1</b>
<b>4.2. Diagrama de proceso</b>	<b>2</b>
<b>4.3. Plano de implantación</b>	<b>3</b>
<b>4.4. Plano de diseño de columna regeneradora de amina C-01</b>	<b>4</b>
<b>4.5. Plano de diseño de intercambiador de amina rica/pobre E-01</b>	<b>5</b>
<b>4.6. Plano de diseño de hervidor de la regeneradora E-02</b>	<b>6</b>
<b>4.7. Plano de diseño de condensador de cabeza de la regeneradora E-03</b>	<b>7</b>
<b>4.8. Plano de diseño de enfriador de amina pobre E-04</b>	<b>8</b>
<b>4.9. Plano de diseño de separador de hidrocarburo V-01</b>	<b>9</b>
<b>4.10. Plano de diseño de botellón de reflujo V-02</b>	<b>10</b>
<b>4.11. Plano de diseño de filtro de amina rica F-01</b>	<b>11</b>
<b>4.12. Plano de diseño de filtro de carbón activo F-02</b>	<b>12</b>



**SITUACION**



PROYECTO:  
**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA  
 REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE  
 COLUMNA DE RELLENO**

ALUMNO:  
**MACARENA VARGAS MARIN**

TITULO:  
**SITUACION**  
 PLANTA REGENERACION DE AMINAS

FACULTAD DE CIENCIAS



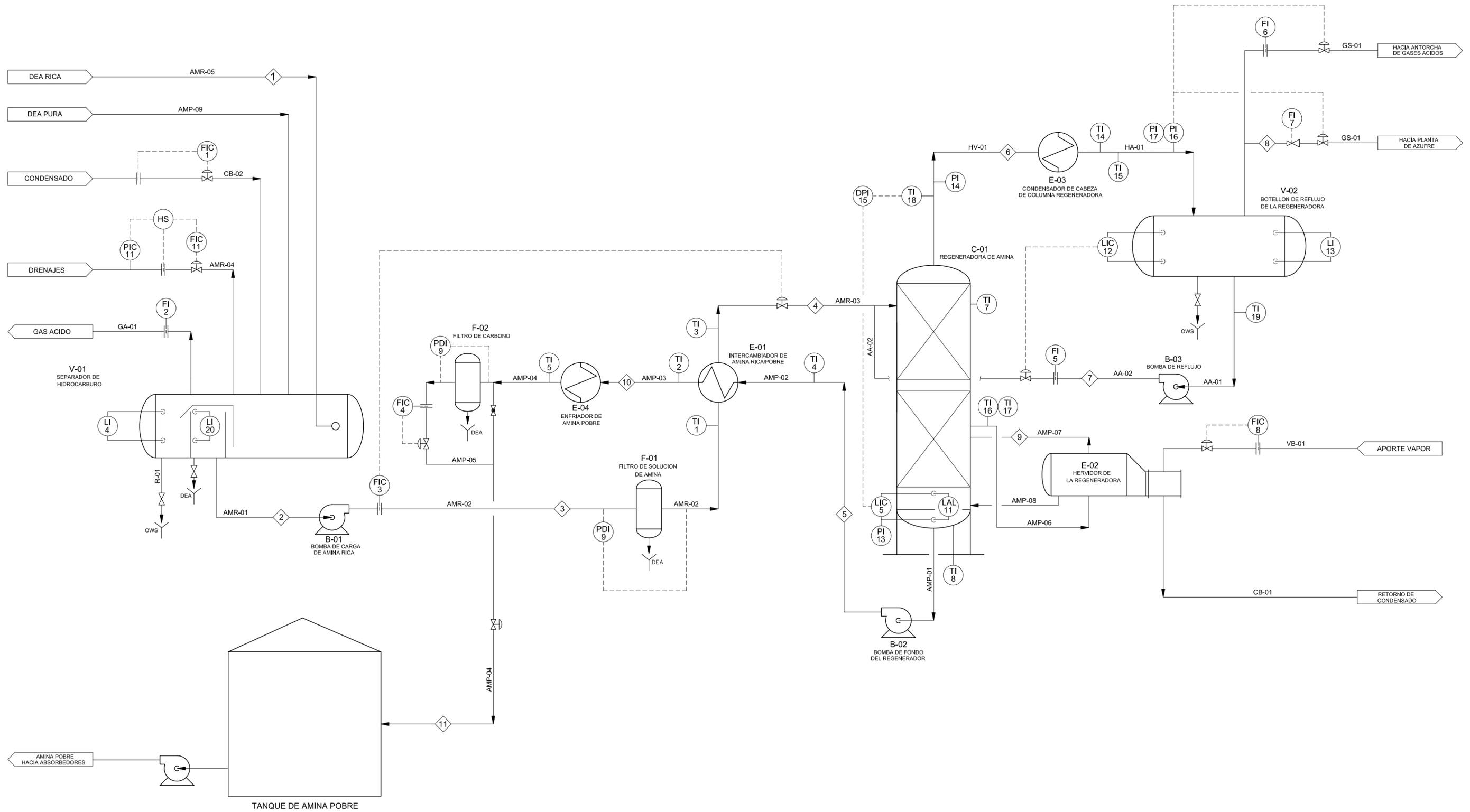
UCA  
 Universidad  
 de Cádiz

SALIDA  
 TRAZADOR  
**A3**

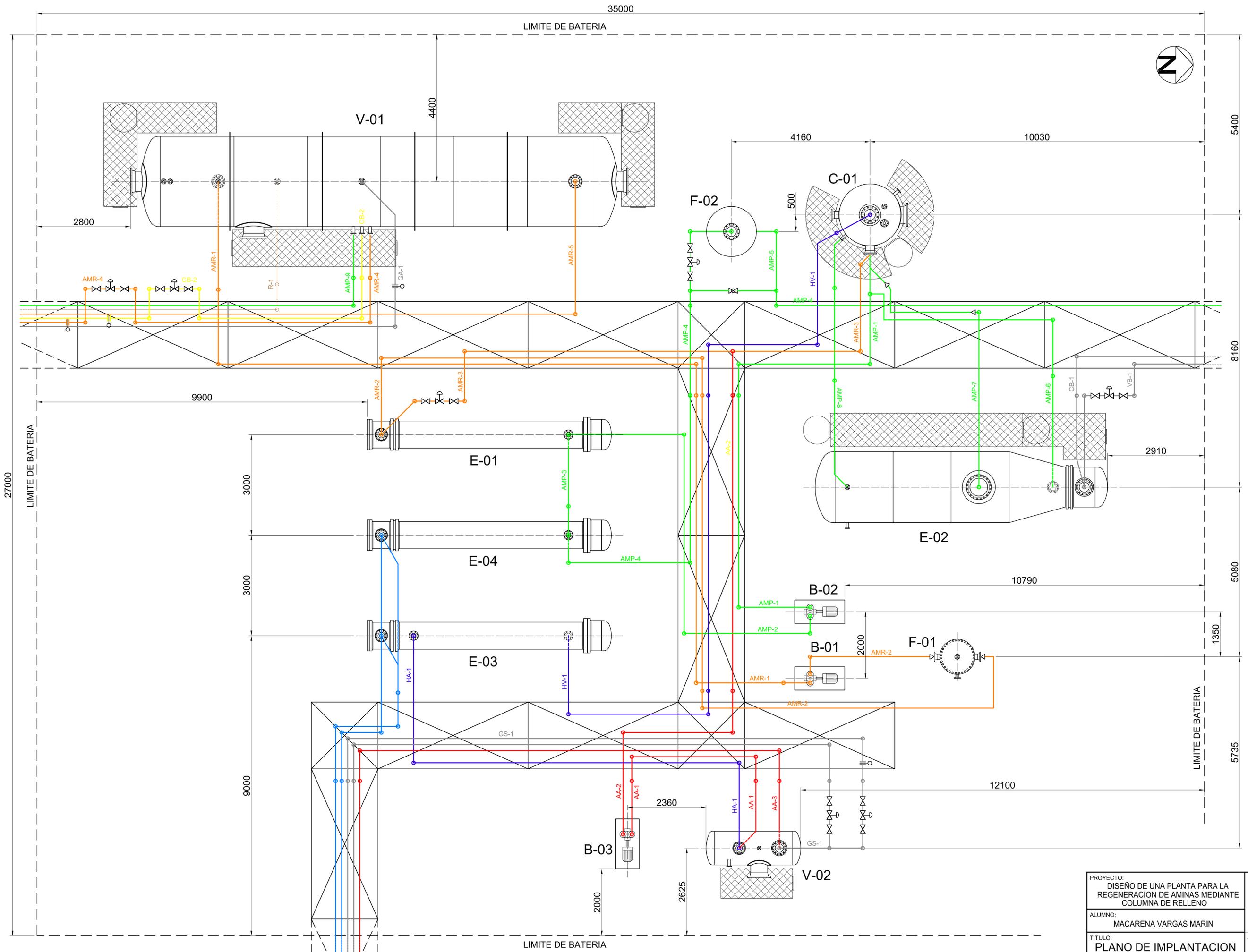
ESCALA:  
**1/10000**

FECHA:  
**28/09/2007**

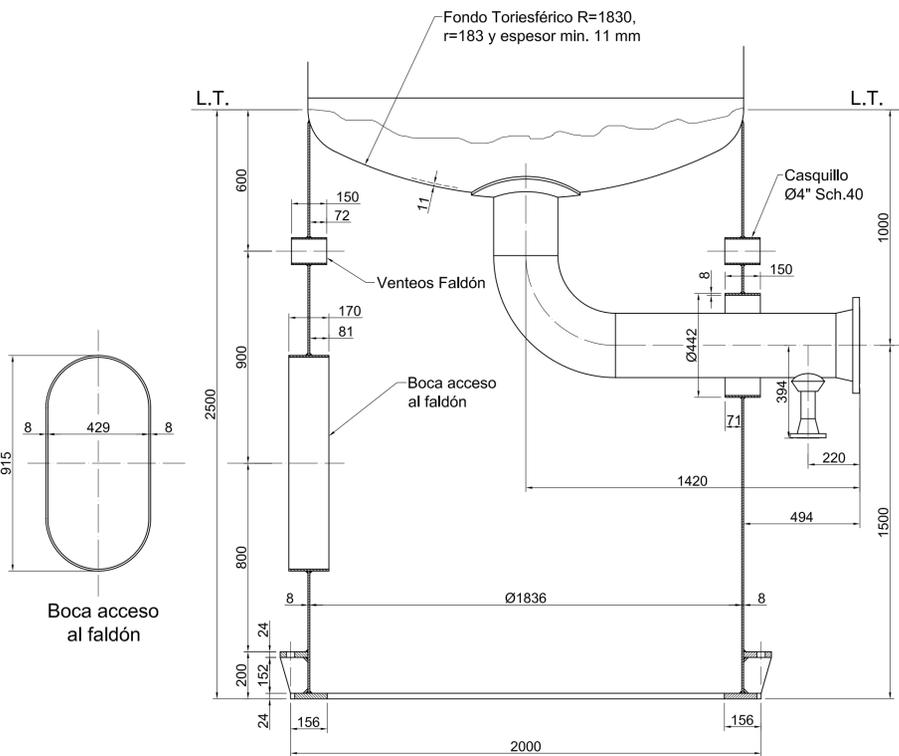
Nº de PLANO  
**1**



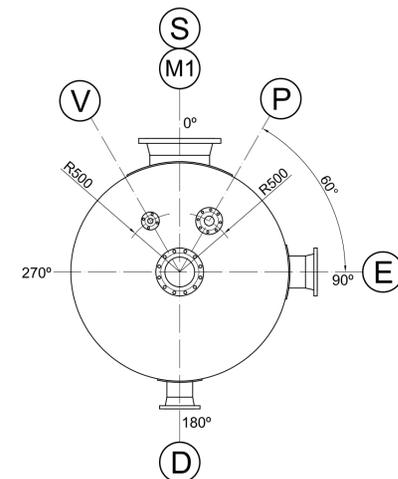
PROYECTO: <b>DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA          REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE          COLUMNA DE RELLENO</b>		FACULTAD DE CIENCIAS  UCA Universidad de Cádiz	
ALUMNO: <b>MACARENA VARGAS MARIN</b>		SALIDA TRAZADOR: <b>A2</b>	
TITULO: <b>DIAGRAMA DE PROCESO          PLANTA REGENERACION DE AMINAS</b>		FECHA: <b>28/09/2007</b>	
		ESCALA: <b>S/E</b>	
		N° de PLANO <b>2</b>	



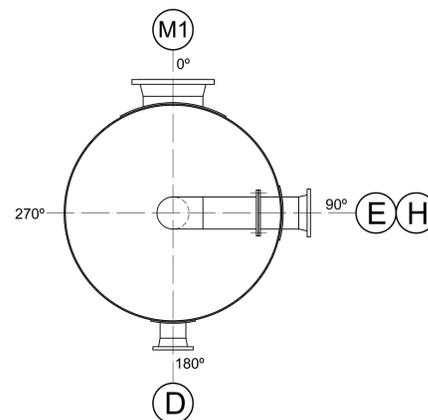
PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO		FACULTAD DE CIENCIAS  UCA Universidad de Cádiz
ALUMNO: MACARENA VARGAS MARIN		
TITULO: PLANO DE IMPLANTACION PLANTA REGENERADORA DE AMINA		SALIDA TRABAJADOR: A1 ESCALA: 1/50
		FECHA: 28/09/2007 N° de PLANO 3



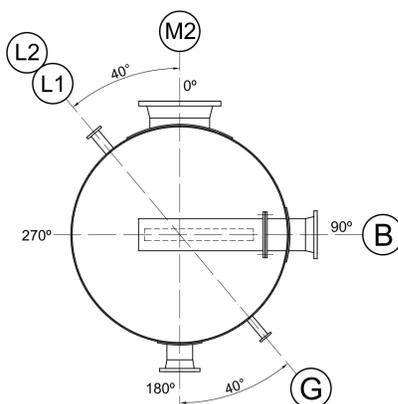
SECCION ALZADO FALDON



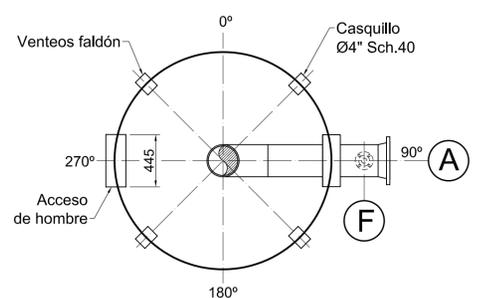
VISTA SUPERIOR



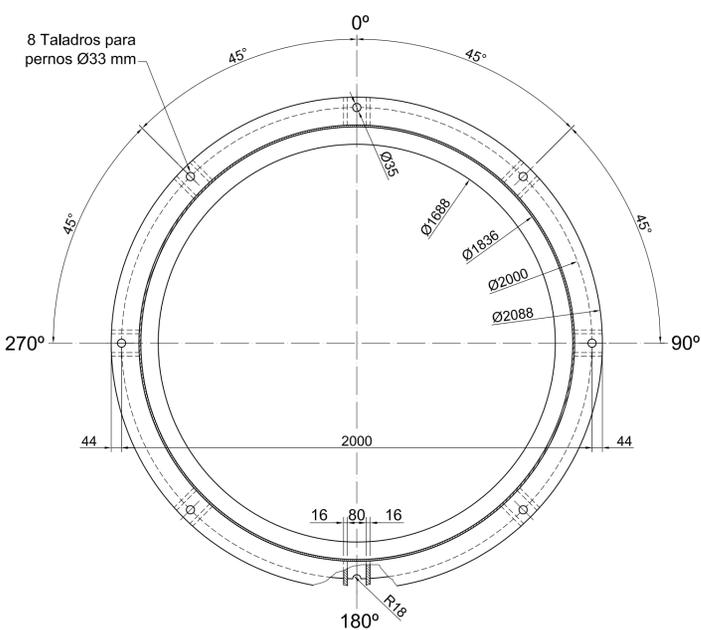
SECCION C-C



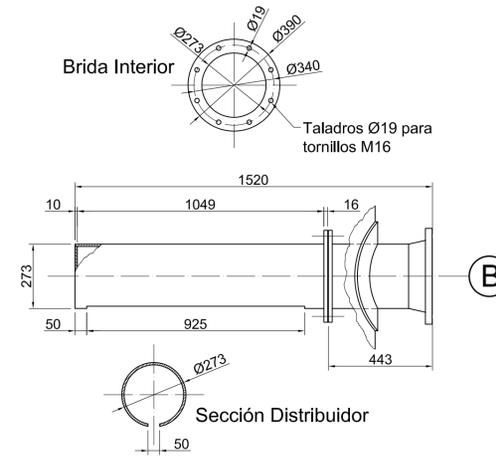
SECCION B-B



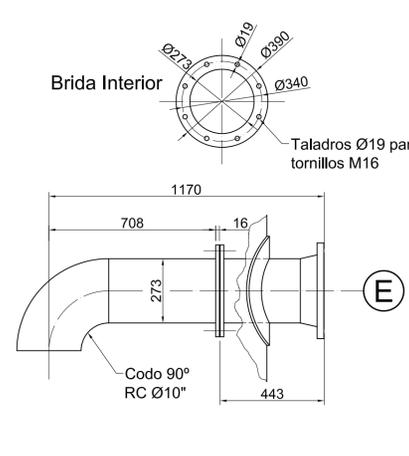
SECCION A-A



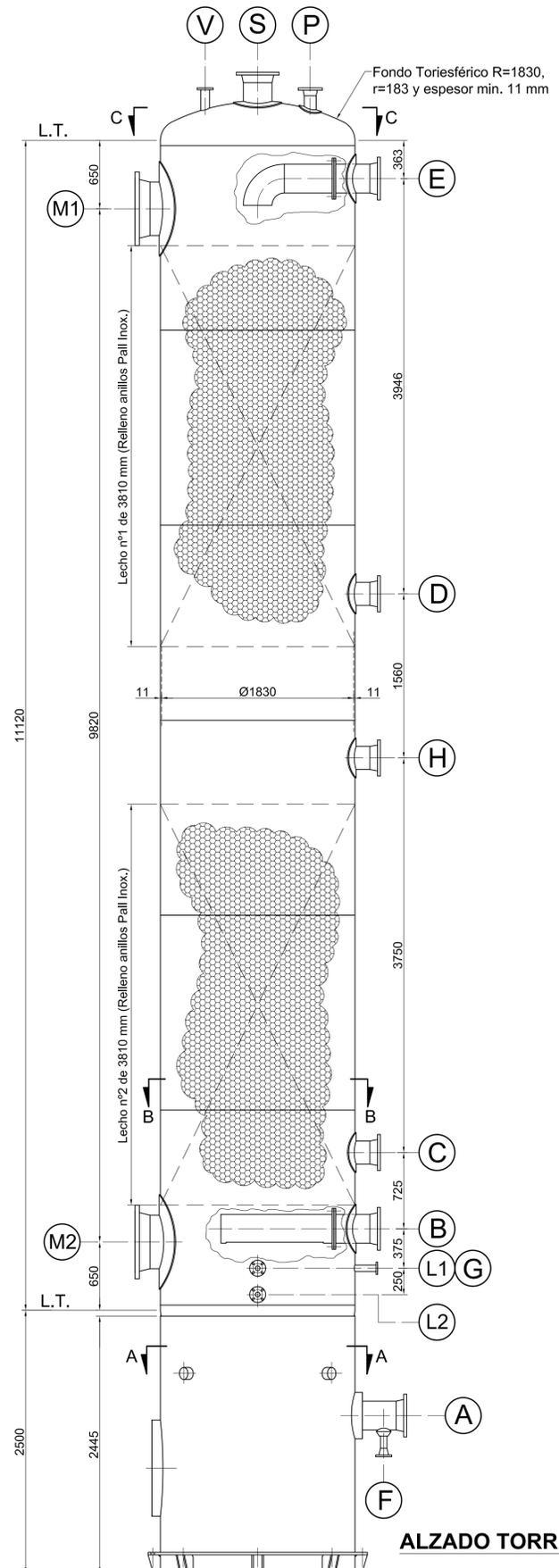
DETALLE SILLETA DE ANCLAJE



DETALLE DISTRIBUIDOR "B"



DETALLE DISTRIBUIDOR "E"

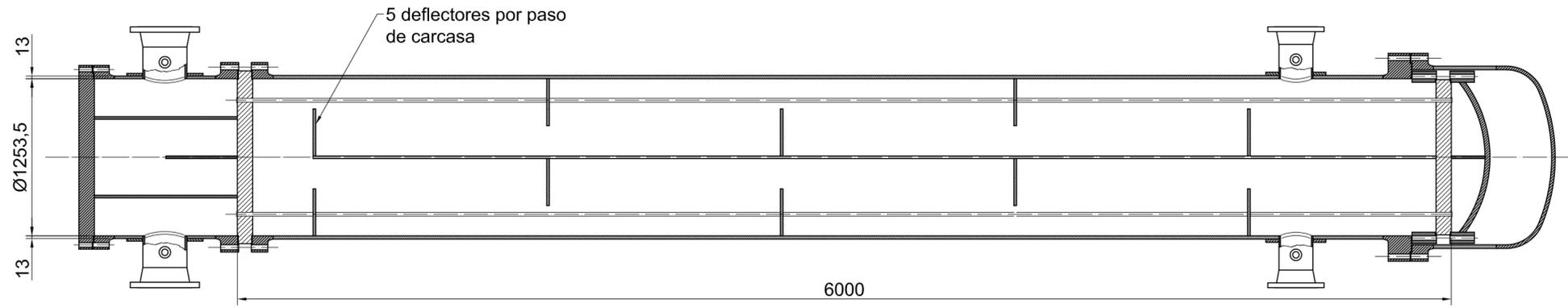
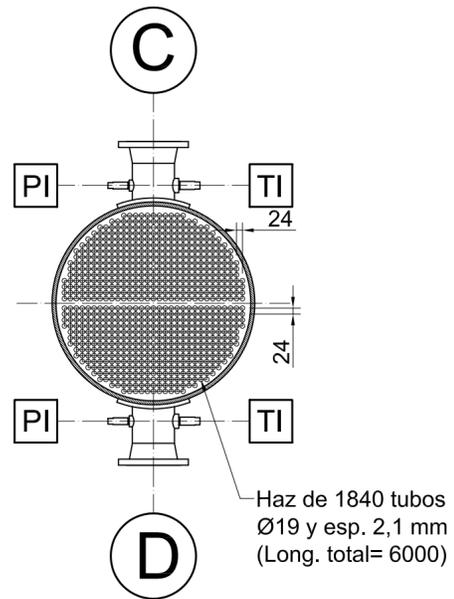


ALZADO TORRE

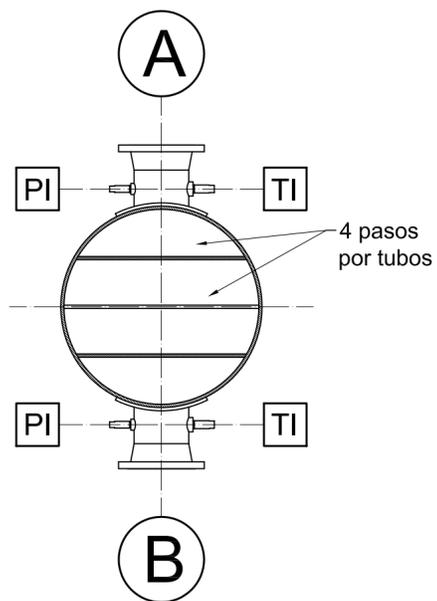
MATERIALES			DATOS DE DISEÑO			CONEXIONES				PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO	FACULTAD DE CIENCIAS	
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	FLUIDO	DEA, H <sub>2</sub> S y Vapor	RELLENO	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION			REFUERZO
VIROLAS	A-516 Gr.60	-	DISTANCIA ENTRE L.T. (mm)	11120	PESO EN TRANSPORTE (kg)	11400	A	10" Sch.30 150# WN	Salida amina pobre hacia calderín	1420 mm	Ø465 x 11 mm	EL.-1.000
FONDOS	A-516 Gr.60	-	CODIGO	ASME VIII Div.1	PESO EN SERVICIO (kg)	44000	B	10" Sch.30 150# WN	Entrada vapor de calderín	1170 mm	Ø465 x 11 mm	EL.+775
FALDON	A-516 Gr.60	-	TEMPERATURA (°C)	SERVICIO	PESO EN SERVICIO SIN LIQUIDO (kg)	33300	C/D	8" Sch.40 150# WN	Retirada de relleno lecho n°2 / n°1	1170 mm	Ø380 x 11 mm	EL.+1.500
SILETA	A-285 Gr.C	-	DISEÑO	SI	ANILAMIENTO	SI	E	10" Sch.40 150# WN	Entrada alimentación líquida	1170 mm	Ø465 x 11 mm	EL.+10.757
BRIDAS	A-106	A-516 Gr.60	PRESIONES BASICAS (kg/cm²)	SERVICIO	IGNIFUGADO	EXTERIOR	F	2" 150# LWN	Drenaje	395 mm	-	EL.+1.395
TUBOS	A-106 Gr.B	A-106 Gr.B	DISEÑO	SI	PINTURA DE IMPRIMACION	INTERIOR	G	1 1/2" 150# LWN	Entrada de amina pobre	1145 mm	-	EL.+400
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	ESPAZADOR DE CORROSION (mm)	6	OBSERVACIONES:	SI	H	8" Sch.40 150# WN	Salida de amina pobre	1170 mm	Ø380 x 11 mm	EL.+5.250
JUNTAS	TUERCAS	-	EFICIENCIA DE VIROLA (%)	100	(EXTERIOR E INTERIORMENTE)	-	L1/L2	2" 150# LWN	Nivel	1145 mm	-	EL.+1504+400
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB	A-234 Gr.WPB	FONDOS	100			M1/M2	24" esp.16 mm 150# WN	Bocas de hombre	1170 mm	Ø900 x 11 mm	EL.+10.470+650
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-	RADIOGRAFIADO	100			P	4" Sch.80 150# WN	Conexión válvula de seguridad	500 mm	Ø215 x 11 mm	EL.+11.620
BOCAS DE CHAPA	A-516 Gr.60	-	TRATAMIENTO TERMICO	SI			S	10" Sch.30 150# WN	Salida vapor hacia enfriador	650 mm	Ø465 x 11 mm	EL.+11.770
			CAPACIDAD (m³)	7.5			V	2" 150# LWN	Venteo	500 mm	-	EL.+11.620



## HAZ DE TUBOS



**SECCION LONGITUDINAL**



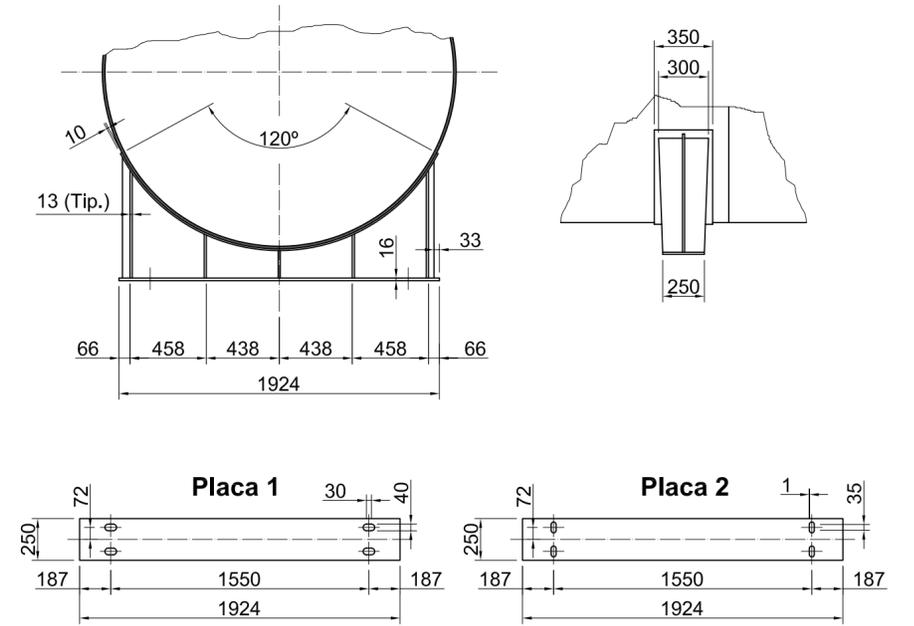
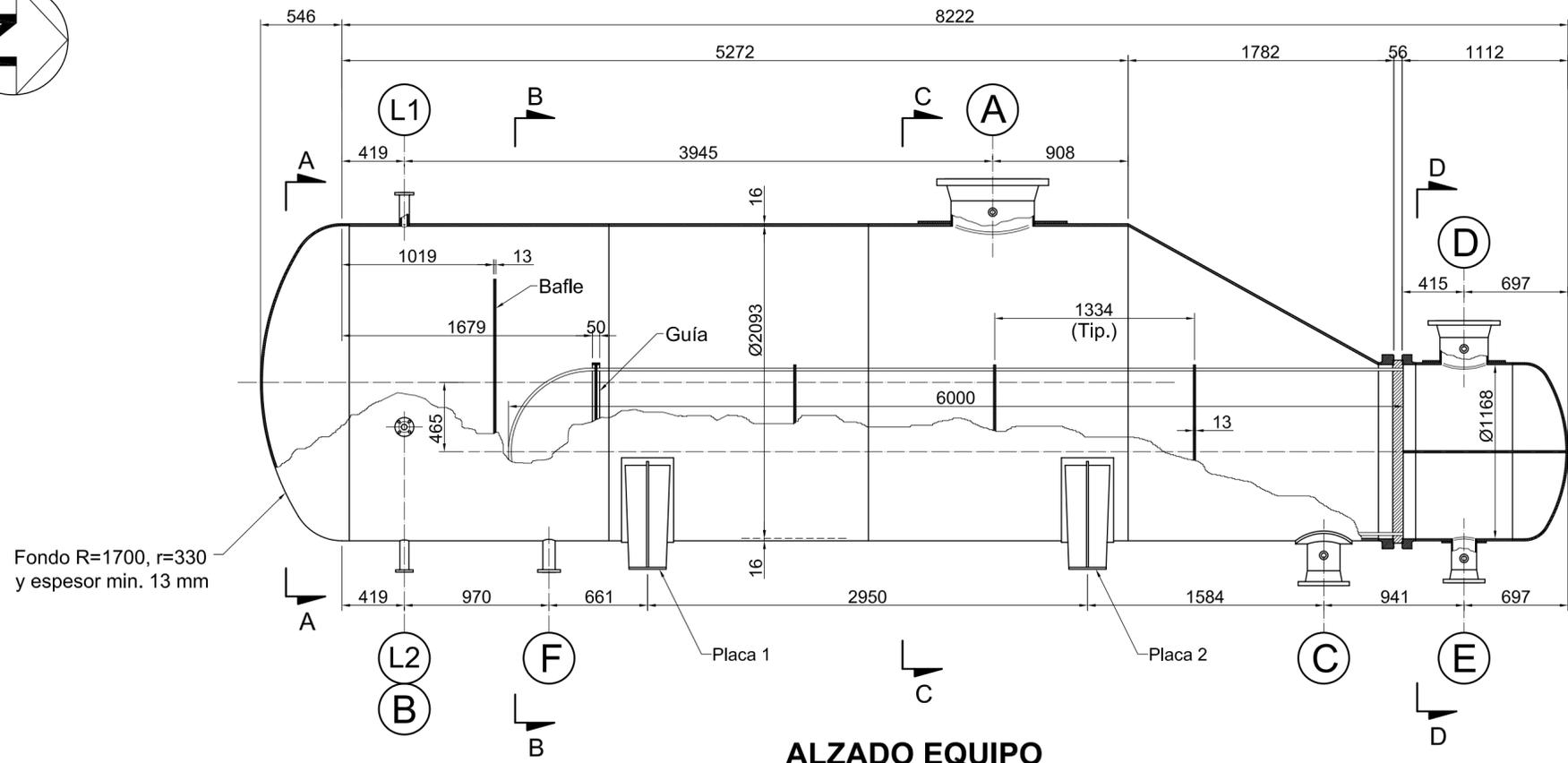
**SECCION A-A**



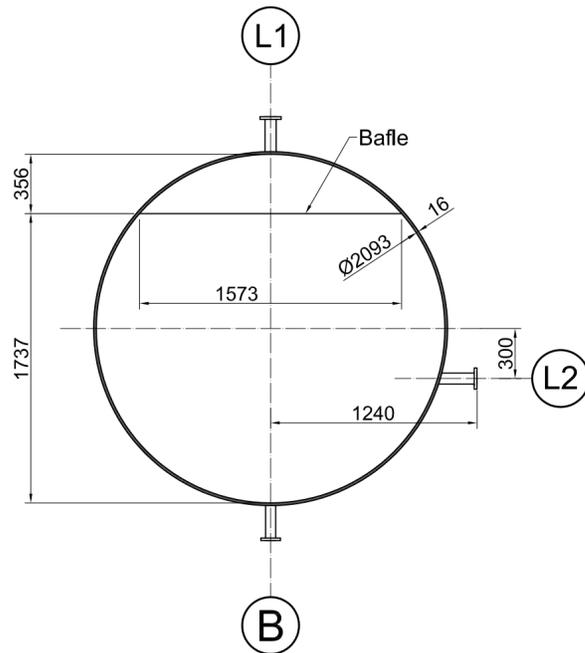
**ALZADO ESQUEMA CAMBIADOR**

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO		CONEXIONES			PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO	FACULTAD DE CIENCIAS
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	Fluidos	Tubos/Carcasa	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO		
VIROLAS	A-516 Gr.60		FLUIDO	DEA rica/DEA pobre	A	10" Sch.40 150# WN	Entrada amina rica	870 mm	Ø465 x 13 mm
FONDOS	A-516 Gr.60		CODIGO	TEMA	B	10" Sch.40 150# WN	Salida amina rica	870 mm	Ø465 x 13 mm
HAZ DE TUBOS	TP-321		TIPO DE CAMBIADOR	AES	C	10" Sch.40 150# WN	Entrada amina pobre	870 mm	Ø465 x 16 mm
BAFLES	A-516 Gr.60		TEMPERATURA ENTRADA (°C)	43,07 / 115,8	D	10" Sch.40 150# WN	Salida amina pobre	870 mm	Ø465 x 16 mm
BRIDAS	A-105		TEMPERATURA SALIDA (°C)	90 / 70,14					
TUBOS	A-106 Gr.B		PRESIONES (Kg/cm²)	13 / 20					
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	NUMERO DE PASOS	4 / 2					
	TUERCAS	-	ESPESOR DE CORROSION (mm)	3					
JUNTAS	-	-	EFICIENCIA DE VIROLA	100					
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB		SOLDADURAS	FONDOS (%)					
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-	RADIOGRAFIADO	POR PUNTOS					
CUNAS	A-285 Gr.C		TRATAMIENTO TERMICO	SI					

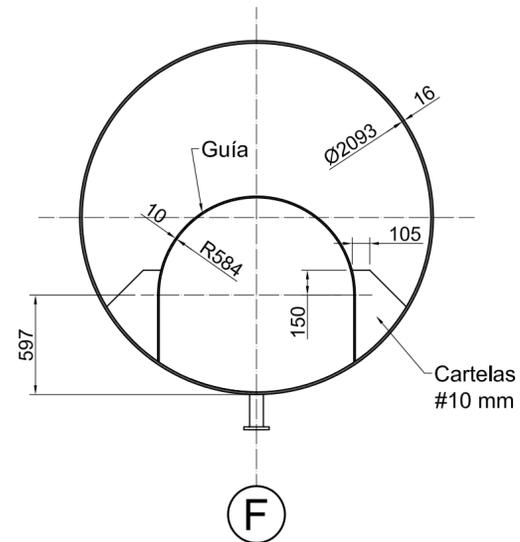
ALUMNO: MACARENA VARGAS MARIN	SALIDA TRAZADOR A2	FECHA: 28/09/2007
TITULO: PLANO DE DISEÑO INTERCAMBIADOR DE AMINA RICA/POBRE E-01	ESCALA: 1/20	Nº de PLANO 5



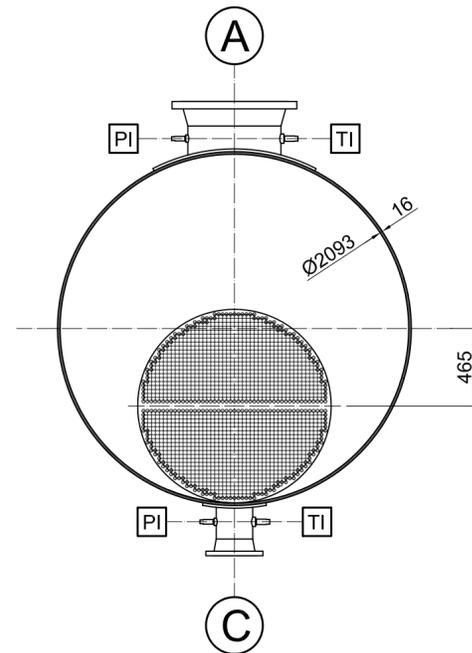
**DETALLE CUNAS**



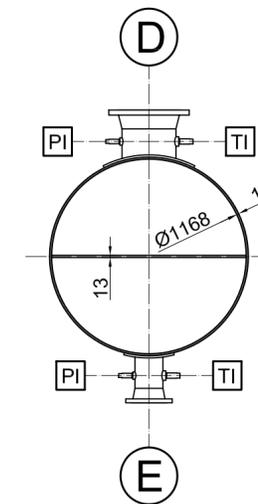
**SECCION A-A**



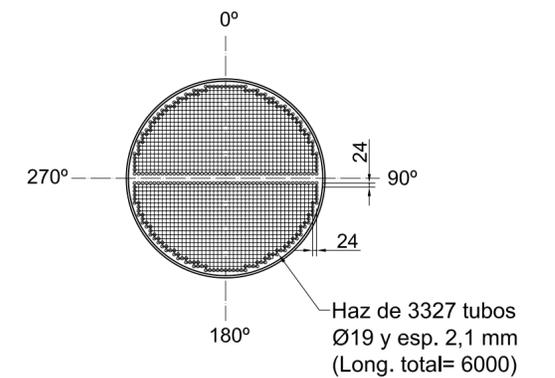
**SECCION B-B**



**SECCION C-C**



**SECCION D-D**



**HAZ DE TUBOS**

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO		CONEXIONES			
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	Tubos/Carcasa	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION	REFUERZO
VIROLAS	A-516 Gr.60		Vapor/DEA rica	A	22" Sch.20 150# WN	Salida vapor amina pobre	1365 mm	Ø1000 x 16 mm
FONDOS	A-516 Gr.60		TEMA	B	1½" 150# LWN	Salida condensado de amina pobre	1275 mm	-
HAZ DE TUBOS	TP-321		AKU	C	8" Sch.40 150# WN	Entrada amina pobre	1365 mm	Ø380 x 16 mm
BAFLES	A-516 Gr.60		TEMPERATURA ENTRADA (°C)	D	12" Sch.30 150# WN	Entrada vapor de baja	880 mm	Ø555 x 13 mm
BRIDAS	A-105		TEMPERATURA SALIDA (°C)	E	6" Sch.40 150# WN	Retorno de condensado	880 mm	Ø300 x 13 mm
TUBOS	A-106 Gr.B		PRESIONES (Kg/cm²)	F	2" 150# LWN	Drenaje	1275 mm	-
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	NUMERO DE PASOS	L1	1½" 150# LWN	Nivel	1275 mm	-
	TUERCAS	-	ESPESOR DE CORROSION (mm)	L2	1½" 150# LWN	Nivel	1240 mm	-
JUNTAS	-	-	EFICIENCIA DE VIROLA (%)					
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB		SOLDADURAS FONDOS (%)					
ANILLOS RIGIDIZADORES	-		RADIOGRAFIADO					
CUNAS	A-285 Gr.C		TRATAMIENTO TERMICO					

PROYECTO:  
**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA  
REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE  
COLUMNA DE RELLENO**

ALUMNO:  
**MACARENA VARGAS MARIN**

TITULO:  
**PLANO DE DISEÑO  
HERVIDOR DE LA REGENERADORA E-02**

FACULTAD DE CIENCIAS



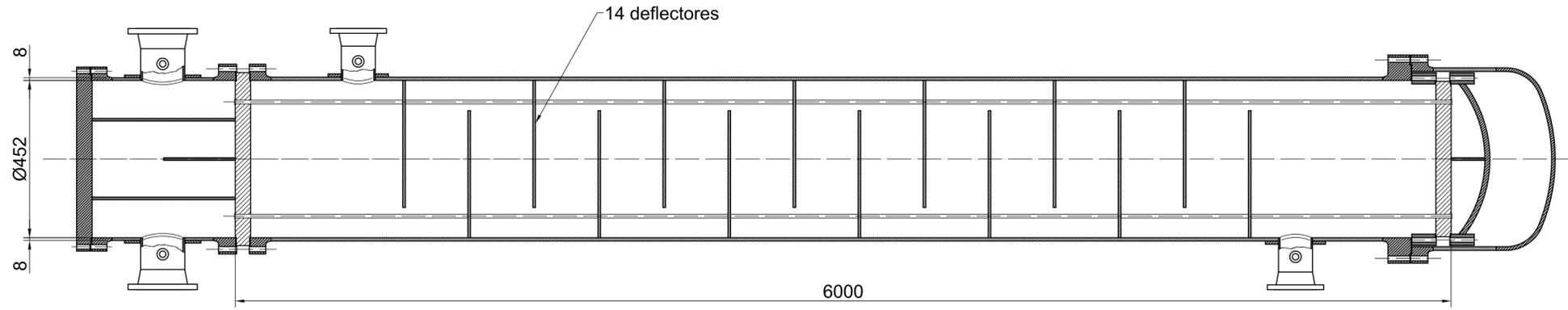
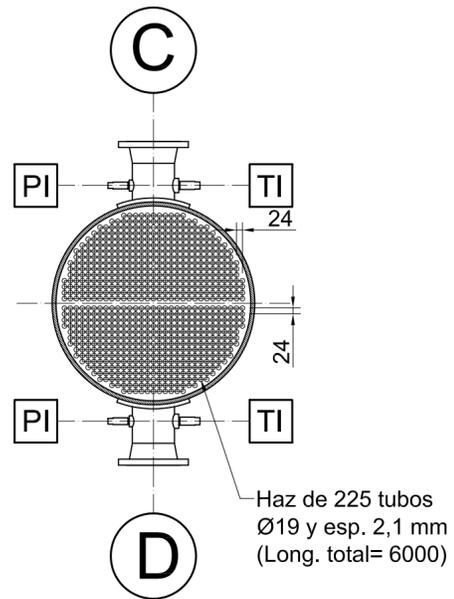
SALIDA TRAZADOR  
**A2**

FECHA:  
**28/09/2007**  
Nº de PLANO  
**6**

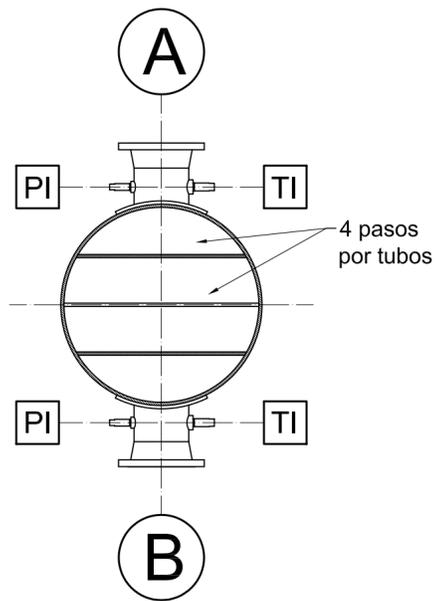
ESCALA:  
**1/30**



### HAZ DE TUBOS



**SECCION LONGITUDINAL**



**SECCION A-A**



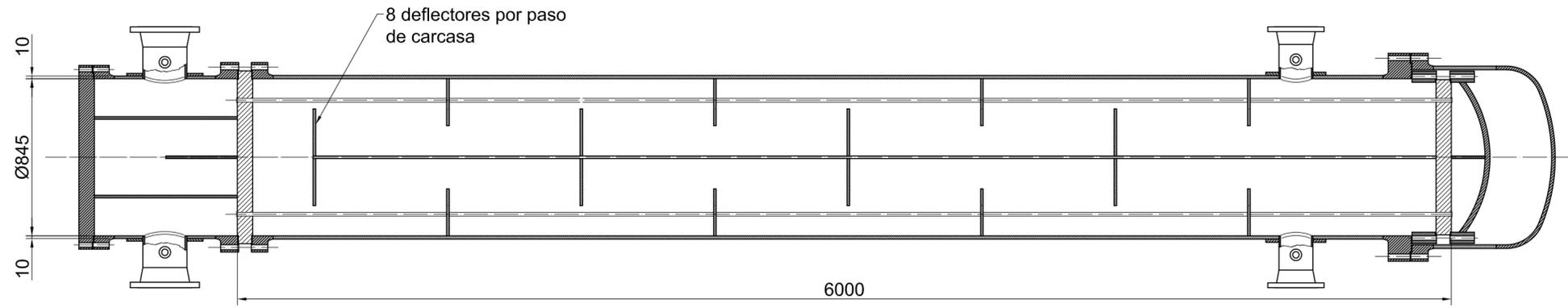
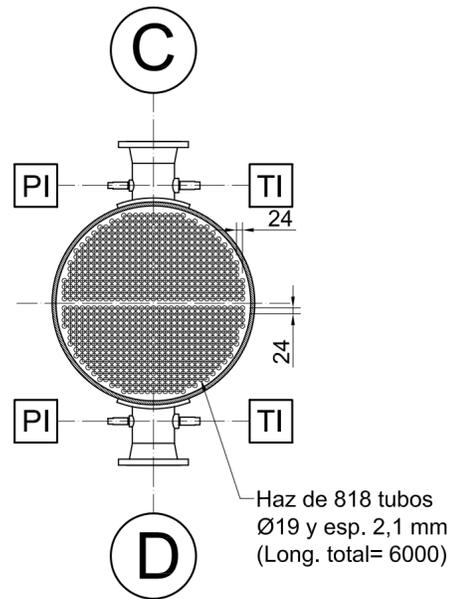
**ALZADO ESQUEMA CAMBIADOR**

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO		CONEXIONES				PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO	FACULTAD DE CIENCIAS
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	Fluidos	Temperatura	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION		
VIROLAS	A-516 Gr.60		Agua refriq/ Vapor ácido	TEMA	A	6" Sch.40 150# WN	Entrada agua de refrigeración	420 mm	Ø300 x 8 mm	
FONDOS	A-516 Gr.60			TIPO DE CAMBIADOR	B	6" Sch.40 150# WN	Salida agua de refrigeración	420 mm	Ø300 x 8 mm	
HAZ DE TUBOS	TP-321			TEMPERATURA ENTRADA (°C)	C	8" Sch.30 150# WN	Salida ácidos condensados + HC	420 mm	Ø380 x 10 mm	
BAFLES	A-516 Gr.60			TEMPERATURA SALIDA (°C)	D	10" Sch.30 150# WN	Entrada vapores ácidos + HC	420 mm	Ø465 x 10 mm	
BRIDAS	A-105			PRESIONES (Kg/cm <sup>2</sup> )						
TUBOS	A-106 Gr.B			NUMERO DE PASOS						
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-		ESPESOR DE CORROSION (mm)						
	TUERCAS	-		EFICIENCIA DE VIROLA (%)						
JUNTAS	-	-		SOLDADURAS FONDOS (%)						
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB			RADIOGRAFIADO						
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-		TRATAMIENTO TERMICO						
CUNAS	A-285 Gr.C									

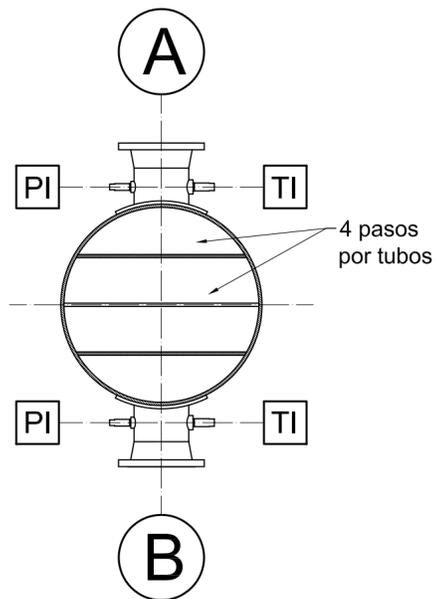
ALUMNO: MACARENA VARGAS MARIN	SALIDA TRAZADOR A2 ESCALA: 1/20	FECHA: 28/09/2007
TITULO: PLANO DE DISEÑO CONDENSADOR DE CABEZA DE LA REGEN. E-03		
Nº de PLANO 7		



## HAZ DE TUBOS



**SECCION LONGITUDINAL**



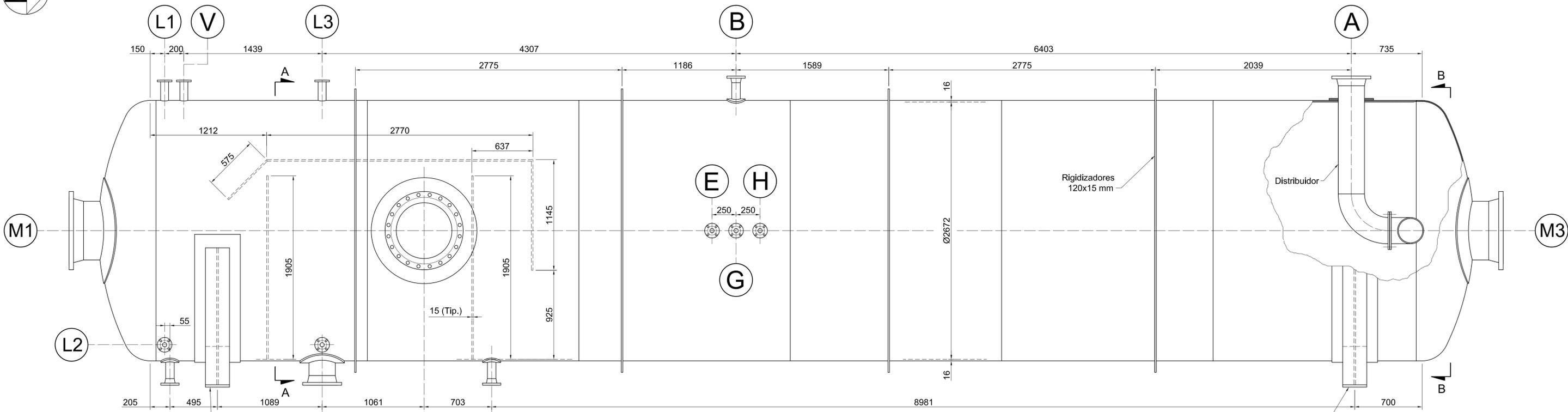
**SECCION A-A**



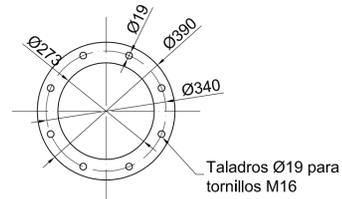
**ALZADO ESQUEMA CAMBIADOR**

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO		CONEXIONES			PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO	FACULTAD DE CIENCIAS
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	Fluidos	Tubos/Carcasa	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO		
VIROLAS	A-516 Gr.60		FLUIDO	AGUA refriger/ AMINA regener.	A	6" Sch.40 150# WN	Entrada agua de refrigeración	660 mm	Ø300 x 10 mm
FONDOS	A-516 Gr.60		CODIGO	TEMA	B	6" Sch.40 150# WN	Salida agua de refrigeración	660 mm	Ø300 x 10 mm
HAZ DE TUBOS	TP-321		TIPO DE CAMBIADOR	AES	C	10" Sch.40 150# WN	Entrada amina pobre	660 mm	Ø465 x 12 mm
BAFLES	A-516 Gr.60		TEMPERATURA ENTRADA (°C)	30 / 70,32	D	10" Sch.40 150# WN	Salida amina regenerada	660 mm	Ø465 x 12 mm
BRIDAS	A-105		TEMPERATURA SALIDA (°C)	40 / 40					
TUBOS	A-106 Gr.B		PRESIONES (Kg/cm²)	- / 11					
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	NUMERO DE PASOS	4 / 2					
	TUERCAS	-	ESPESOR DE CORROSION (mm)	3					
JUNTAS	-	-	EFICIENCIA DE VIROLA	100					
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB		SOLDADURAS	FONDOS (%)					
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-	RADIOGRAFIADO	POR PUNTOS					
CUNAS	A-285 Gr.C		TRATAMIENTO TERMICO	SI					

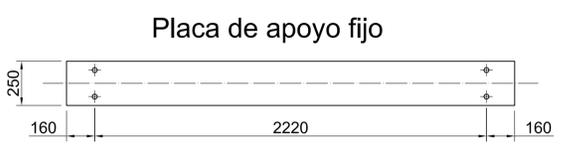
ALUMNO: MACARENA VARGAS MARIN	SALIDA TRAZADOR A2	FECHA: 28/09/2007
TITULO: PLANO DE DISEÑO ENFRIADOR DE AMINA POBRE E-04	ESCALA: 1/20	Nº de PLANO 8



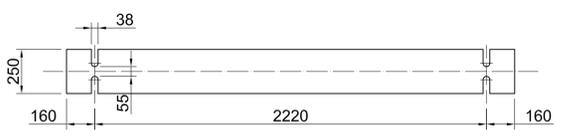
ALZADO EQUIPO



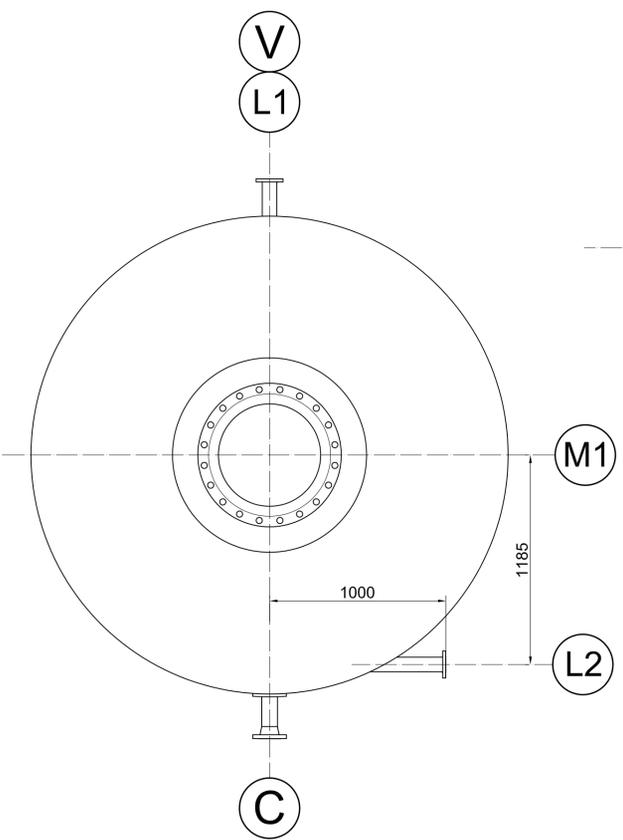
Brida Interior



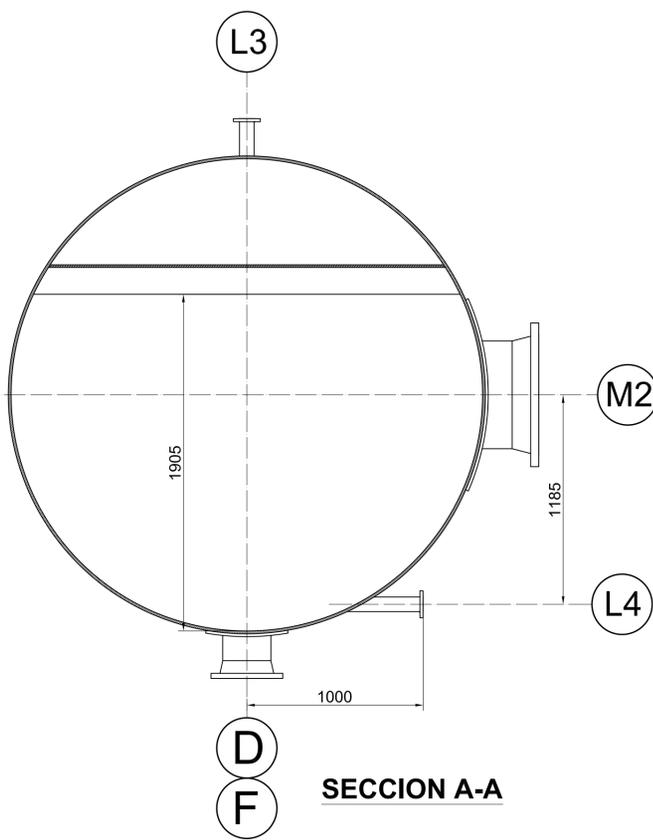
Placa de apoyo fijo



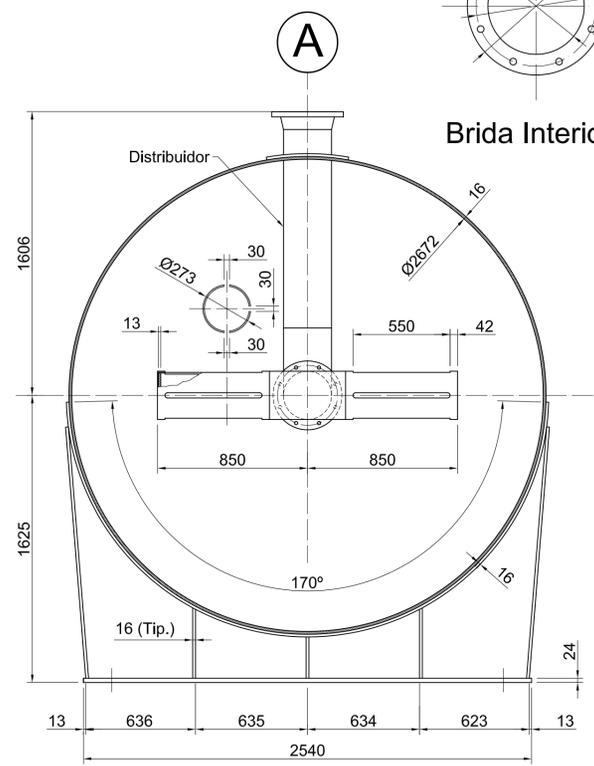
Placa de apoyo deslizante



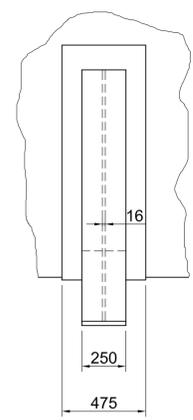
VISTA IZQUIERDA



SECCION A-A



SECCION B-B



Perfil cuna

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO			CONEXIONES				
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	FLUIDO	AMINA RICA	PESO EN TRANSPORTE (kg)	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION	REFUERZO
VIROLAS	A-516 Gr.60	-	DISTANCIA ENTRE L.T. (mm)	13234	18600	A	10" Sch.30 150# WN	Entrada DEA rica	1605 mm	Ø465 x 16 mm
FONDOS	A-516 Gr.60	-	CODIGO	ASME VIII Div.1	59700	B	3" Sch.80 150# WN	Salida gas ácido hacia antorcha	1605 mm	Ø190 x 16 mm
CUNAS	A-285 Gr.C	-	TEMPERATURA	SERVICIO	23350	C	3" Sch.80 150# WN	Salida residuos	1605 mm	Ø190 x 16 mm
PLACAS	A-285 Gr.C	A-516 Gr.60	(°C)	DISEÑO		D	10" Sch.30 150# WN	Salida amina rica	1605 mm	Ø465 x 16 mm
BRIDAS	A-105	-	PRESIONES	SERVICIO		E	2" 150# LWN	Entrada amina pura	1565 mm	-
TUBOS	A-106 Gr.B	A-106 Gr.B	BASICAS (kg/cm²)	DISEÑO		F	3" Sch.80 150# WN	Drenaje	1605 mm	Ø190 x 16 mm
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	ESPESOR DE CORROSION (mm)			G	2" 150# LWN	Entrada condensado de baja	1565 mm	-
	TUERCAS	-	EFICIENCIA DE SOLDADURAS	VIROLA (%)		L1/L3	2" 150# LWN	Nivel	1605 mm	-
JUNTAS	-	-		FONDOS (%)		L2/L4	2" 150# LWN	Nivel	1000 mm	-
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB	A-234 Gr.WPB	RADIOGRAFIADO	POR PUNTOS		M1/M3	24" esp.16 mm 150# WN	Bocas de hombre	845 mm	Ø1100 x 16 mm
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-	TRATAMIENTO TERMICO	SI		M2	24" esp.16 mm 150# WN	Boca de hombre	1655 mm	Ø1100 x 16 mm
BOCAS DE CHAPA	A-516 Gr.60	-	CAPACIDAD (m³)	78		V	2" 150# LWN	Ventoe	1565 mm	-

PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

ALUMNO: MACARENA VARGAS MARIN

TITULO: PLANO DE DISEÑO SEPARADOR DE HIDROCARBURO V-01

FACULTAD DE CIENCIAS

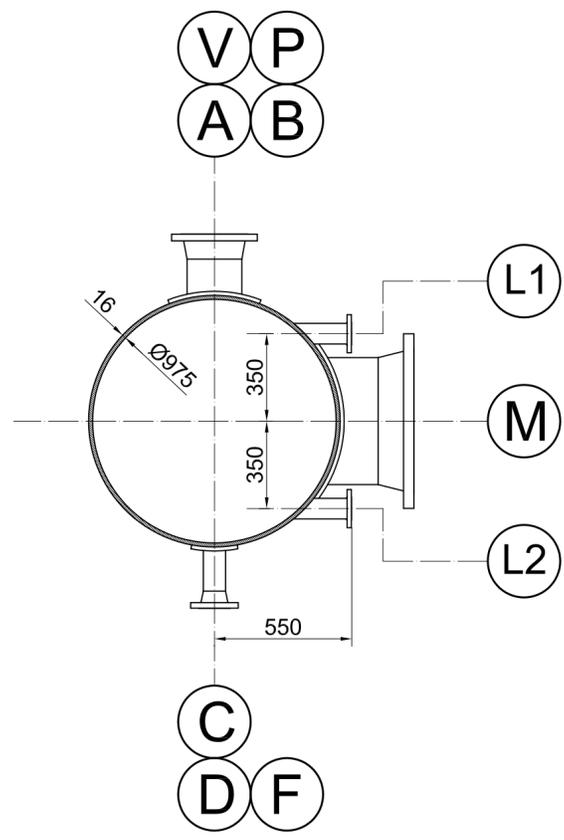
UCA Universidad de Cádiz

FECHA: 28/09/2007

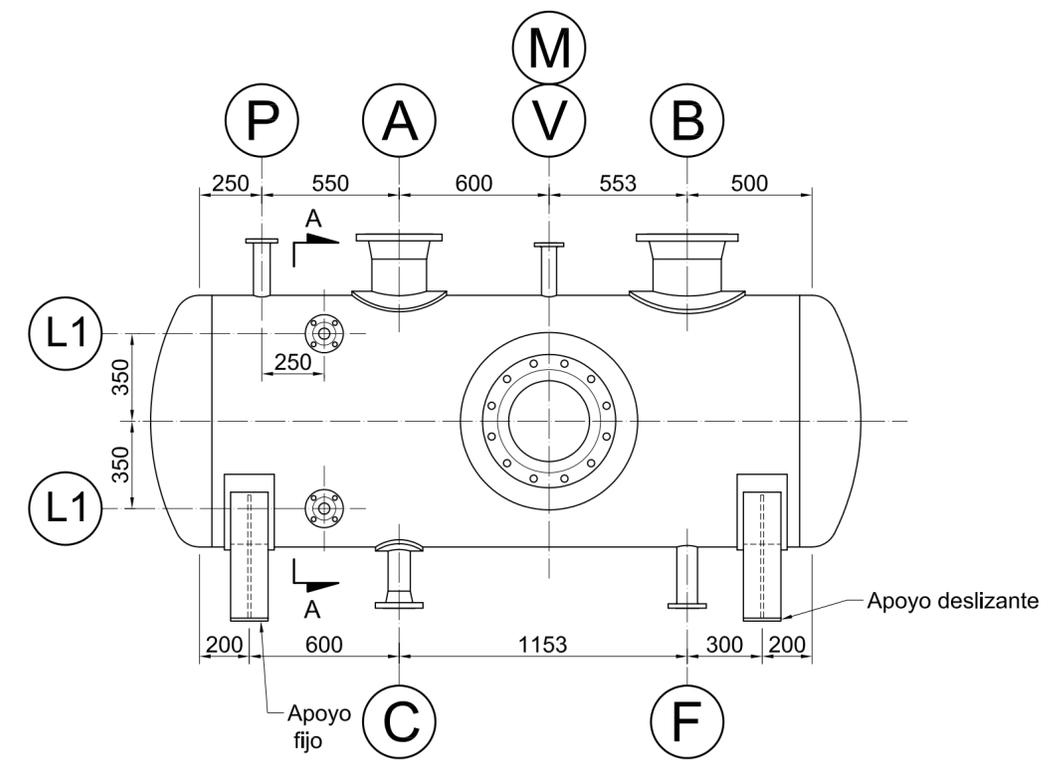
ISSAY: A1

Nº de PLANO: 9

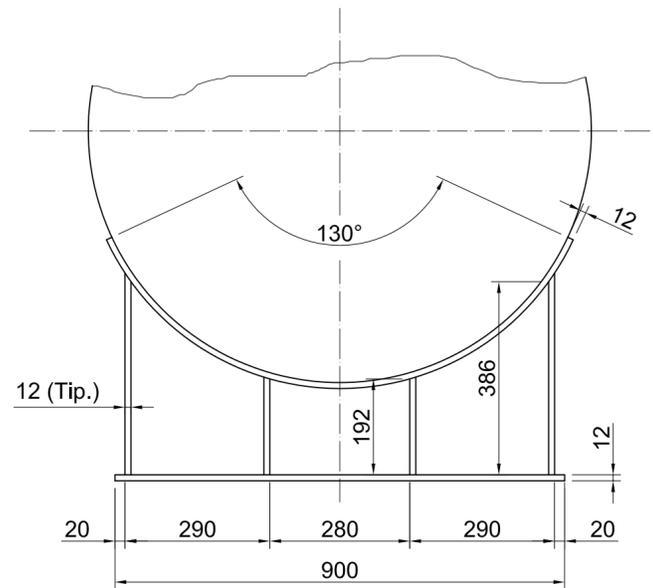
1/20



**SECCION A-A**

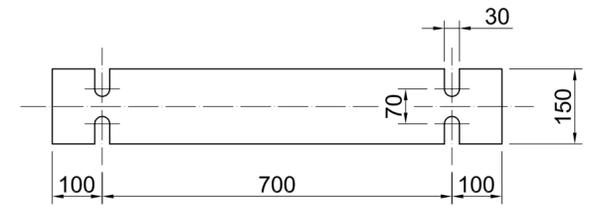


**ALZADO EQUIPO**

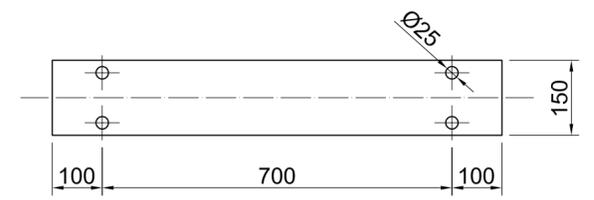


**DETALLE CUNAS**

**Placa de apoyo deslizante**



**Placa de apoyo fijo**



MATERIALES		
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS
VIROLAS	A-516 Gr.60	-
FONDOS	A-516 Gr.60	-
CUNAS	A-285 Gr.C	-
PLACAS	A-285 Gr.C	-
BRIDAS	A-105	-
TUBOS	A-106 Gr.B	-
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-
	TUERCAS	-
JUNTAS	-	-
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB	-
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-
BOCAS DE CHAPA	A-516 Gr.60	-

DATOS DE DISEÑO			
FLUIDO	Gas ácido/Agua	PESO EN TRANSPORTE (kg)	1850
DISTANCIA ENTRE L.T. (mm)	2453	PESO EN SERVICIO (kg)	3400
CODIGO	ASME VIII Div.1	PESO EN SERVICIO SIN LIQUIDO (kg)	2290
TEMPERATURA (°C)	SERVICIO 47	AISLAMIENTO	SI
DISEÑO 130	SERVICIO 1,55	IGNIFUGADO	EXTERIOR - INTERIOR -
PRESIONES BASICAS (Kg/cm²)	DISEÑO 3,55	PINTURA DE IMPRIMACION	SI
ESPESOR DE CORROSION (mm)	6	OBSERVACIONES:	
EFICIENCIA DE SOLDADURAS (%)	85		
	100		
RADIOGRAFIADO	TOTAL		
TRATAMIENTO TERMICO	SI		
CAPACIDAD (m³)	1,83		

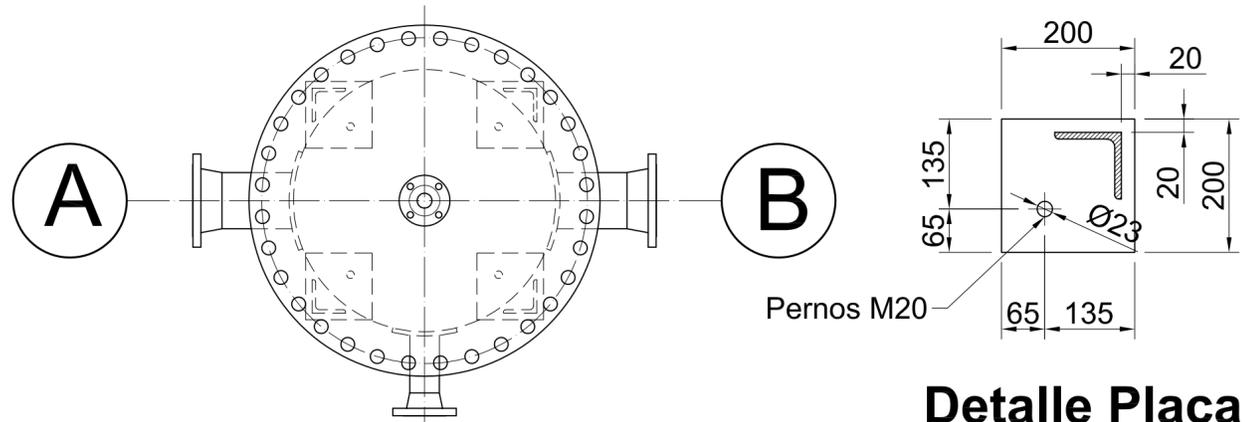
CONEXIONES			
MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION
A	8" Sch.30 150# WN	Entrada ácidos condensados + HC	750 mm
B	10" Sch.30 150# WN	Salida gas sulfhídrico	750 mm
C	3" Sch.80 150# WN	Salida aguas ácidas	750 mm
F	2" 150# LWN	Drenaje	725 mm
L1/L2	2" 150# LWN	Nivel	550 mm
M	20" esp.16 mm 150# WN	Boca de hombre	800 mm
P	1½" 150# LWN	Conexión válvula de seguridad	725 mm
V	1½" 150# LWN	Venteo	725 mm

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO
ALUMNO:	MACARENA VARGAS MARIN
TITULO:	PLANO DE DISEÑO BOTELLON DE REFLUJO V-02

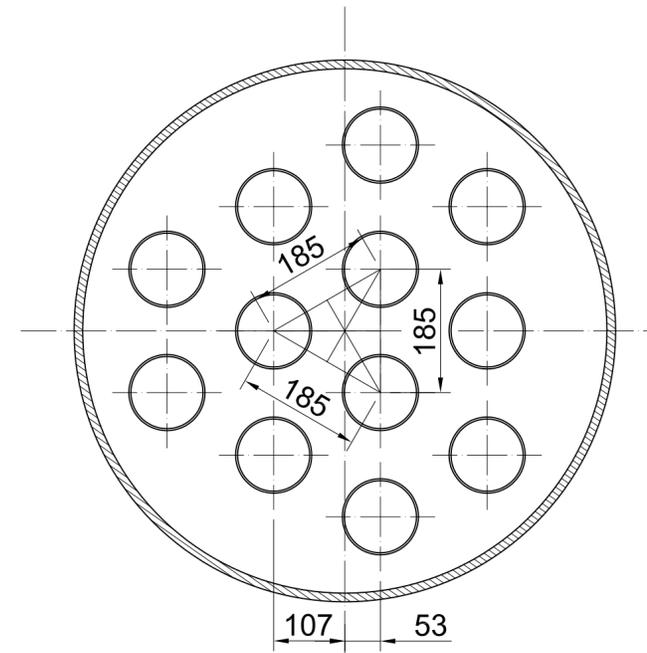
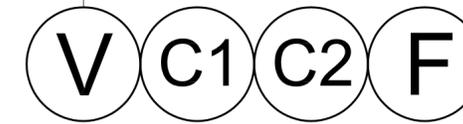
FACULTAD DE CIENCIAS	
SALIDA TRAZADOR	FECHA: 28/09/2007
ESCALA: 1/20	Nº de PLANO 10



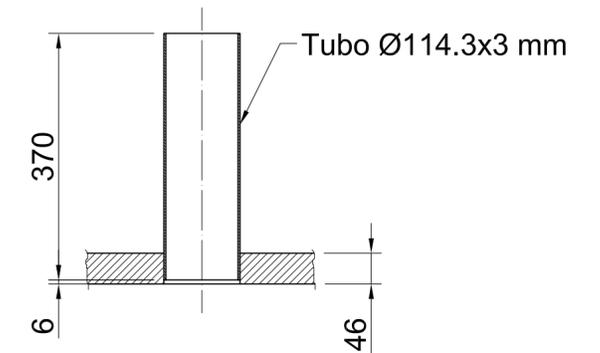
## VISTA EN PLANTA



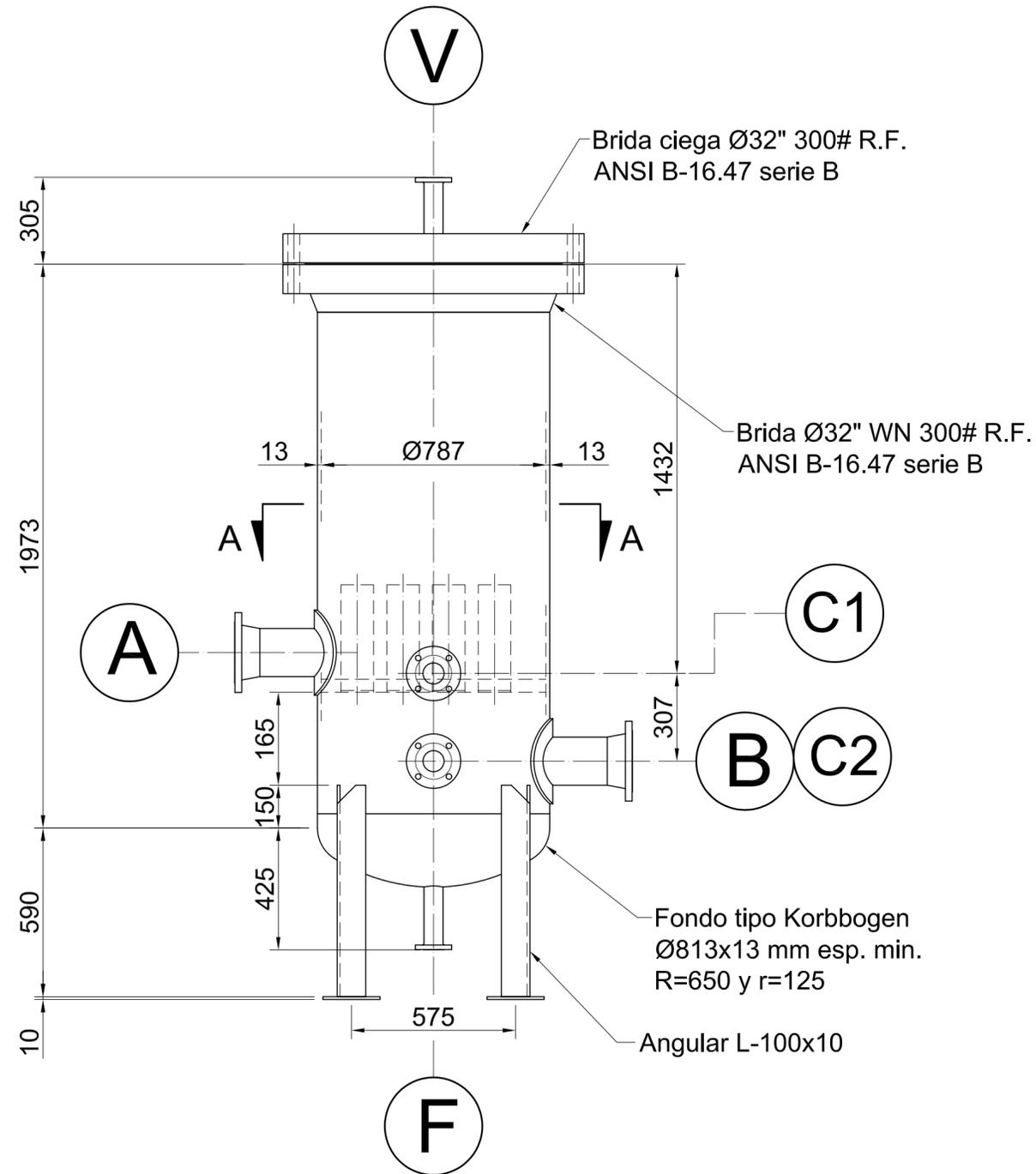
**Detalle Placa**



**SECCION A-A**

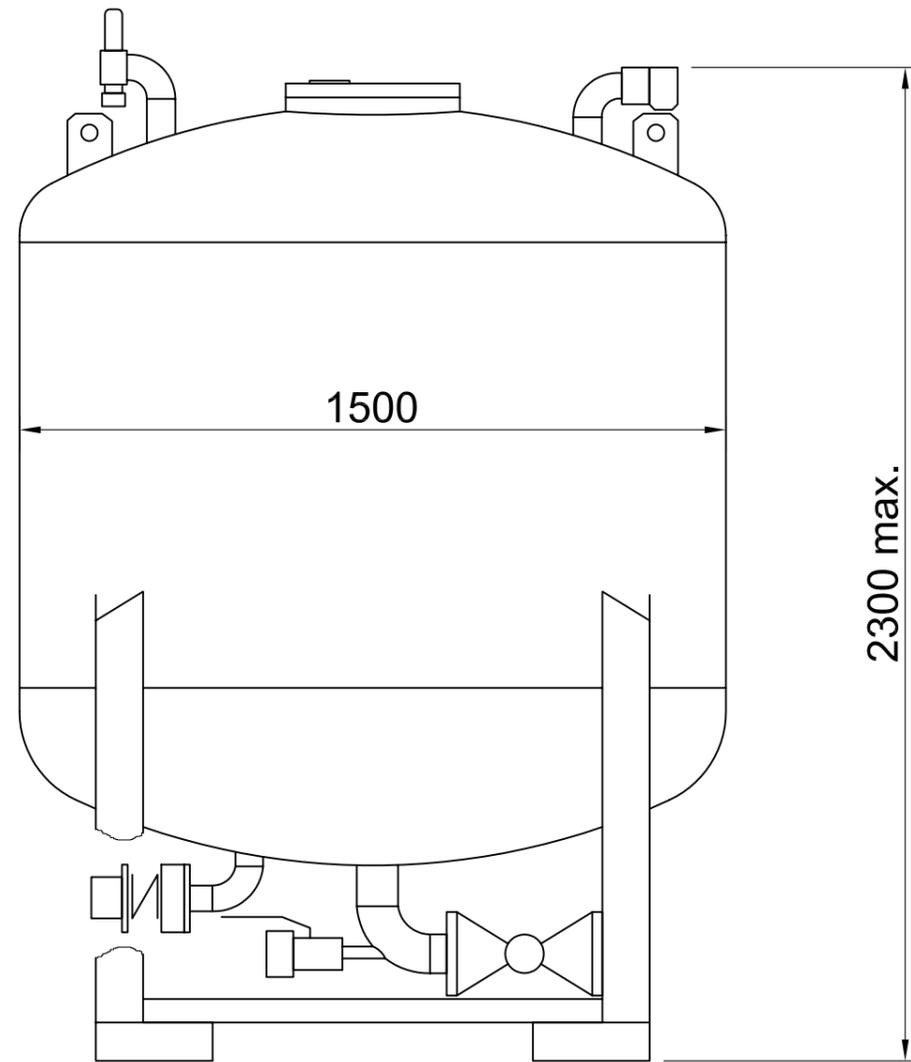


**Detalle Tubo**

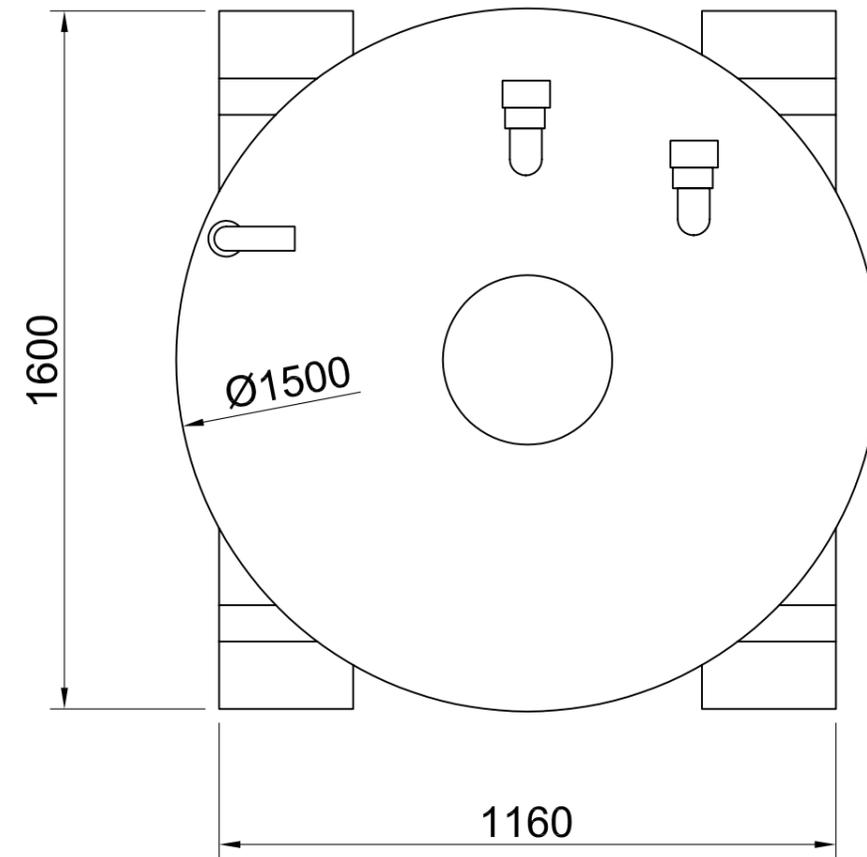


**ALZADO EQUIPO**

MATERIALES			DATOS DE DISEÑO				CONEXIONES				PROYECTO:		FACULTAD DE CIENCIAS	
ELEMENTOS	EXTERNOS	INTERNOS	FLUIDO	Amina+Trazas SH <sub>2</sub>	PESO EN TRANSPORTE (kg)	MARCA	Ø / Sch./ Rating / Tipo	SERVICIO	PROYECCION	REFUERZO	DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO		UCA Universidad de Cádiz	
VIROLAS	A-516 Gr.60	-	DISTANCIA ENTRE L.T. Y BRIDA (mm)	1973	1600	A	6" Sch.40 150# WN	Entrada amina rica	700 mm	Ø300 x 13 mm	ALUMNO:		SALIDA TRAZADOR	
FONDOS	A-516 Gr.60	-	CODIGO	ASME VIII Div.1	3300	B	6" Sch.40 150# WN	Salida amina rica	700 mm	Ø300 x 13 mm	MACARENA VARGAS MARIN		FECHA: 28/09/2007	
CUNAS	A-285 Gr.C	-	TEMPERATURA (°C)	55	2110	C1	3" Sch.80 150# WN	Salida vapor / Contralavado	650 mm	Ø190 x 13 mm	TITULO:		ESCALA: A2	
PLACAS	A-285 Gr.C	A-516 Gr.60	SERVICIO	150		C2	3" Sch.80 150# WN	Drenaje / Contralavado	650 mm	Ø190 x 13 mm	PLANO DE DISEÑO		Nº de PLANO	
BRIDAS	A-105	-	PRESIONES	3,5		F	1½" 150# LWN	Drenaje	305 mm	-	FILTRO DE AMINA RICA F-01		1/15	
TUBOS	A-106 Gr.B	A-312 TP304	BASICAS (Kg/cm²)	5,5		V	1½" 150# LWN	Venteo	425 mm	-			11	
TORNILLERIA	ESPARRAGOS	-	ESPESOR DE CORROSION (mm)	6										
	TUERCAS	-	EFICIENCIA DE SOLDADURAS	85										
JUNTAS	-	-	RADIOGRAFIADO	100										
ACCESORIOS	A-234 Gr.WPB	-	TRATAMIENTO TERMICO	SI										
ANILLOS RIGIDIZADORES	-	-	CAPACIDAD (m³)	1,09										
BOCAS DE CHAPA	A-516 Gr.60	-												



**ALZADO**



**PLANTA**

CARACTERISTICAS	
CODIGO DE DISEÑO	ASME VIII Div.1
MODELO	CTU CYCLESORBS
FABRICANTE	AGUAS DE LEVANTE
DIAMETRO EXTERIOR	1500
ALTURA TOTAL	2300
MATERIAL	INOX. 316L
PESO DE RELLENO kg (CARBON SECO)	1850
PESO VACIO kg	1650
PESO EN OPERACION kg	3850

PROYECTO: <b>DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA          REGENERACION DE AMINAS MEDIANTE          COLUMNA DE RELLENO</b>
ALUMNO: <b>MACARENA VARGAS MARIN</b>
TITULO: <b>PLANO DE DISEÑO          FILTRO DE CARBON ACTIVO F-02</b>

FACULTAD DE CIENCIAS  UCA Universidad de Cádiz	
SALIDA TRAZADOR <b>A3</b>	FECHA: <b>28/09/2007</b>
ESCALA: <b>1/15</b>	N° de PLANO <b>12</b>



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 5

**PLIEGO DE CONDICIONES**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## 5.0 ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

	<u>Página</u>
<b>5.0 Índice pliego de condiciones</b>	<b>1</b>
<b>5.1 Especificaciones de los materiales y de los elementos constructivos</b>	<b>3</b>
5.1.1 Especificaciones de los materiales	3
5.1.1.1 Origen de los materiales	3
5.1.1.2 Control de calidad	3
5.1.1.3 Equipos de medida	3
5.1.1.4 Materiales a emplear	3
5.1.2 Prescripciones de la ejecución	5
5.1.2.1 Prefabricación	5
5.1.2.2 Soldadura	6
5.1.2.3 Fabricación	8
5.1.2.4 Uniones atornilladas	11
5.1.2.5 Montaje en obra	11
5.1.2.6 Protección	13
<b>5.2 Reglamentación y normativa aplicable</b>	<b>13</b>
<b>5.3 Inspección, control y tolerancias</b>	<b>15</b>
5.3.1 Inspección	15
5.3.1.1 Taladros para tornillos	15
5.3.1.2 Uniones soldadas	15
5.3.2 Control	16
5.3.2.1 Aceptación de las uniones soldadas	16
5.3.2.2 Aceptación de unidades atornilladas	17
5.3.2.3 Pruebas finales	17
5.3.3 Tolerancias	18

	<b><u>Página</u></b>
<b>5.4 Criterios de medición y abono</b>	<b>19</b>
5.4.1 Definiciones	<b>19</b>
5.4.2 Criterios de medición	<b>21</b>
5.4.3 Criterios de abono	<b>22</b>
<b>5.5 Organización del trabajo</b>	<b>24</b>
<b>5.6 Documentación base para la contratación</b>	<b>30</b>
5.6.1 Documentación técnica	<b>30</b>
5.6.2 Planos	<b>30</b>

## **5.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**

### **5.1.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES**

#### **5.1.1.1 ORIGEN DE LOS MATERIALES**

Todos los materiales necesarios para la ejecución serán suministrados por el Contratista, quien será el único responsable de su manipulación, almacenamiento, conservación y buen empleo.

#### **5.1.1.2 CONTROL DE CALIDAD**

Todos los materiales a emplear en las obras deberán cumplir con la norma API 650 y la normativa correspondiente y serán objeto de un control de calidad, cuya definición y alcance se expresa más adelante y que el Contratista realizará a su costa, sometiendo los resultados a conocimiento y aprobación de la Dirección de Obra con antelación suficiente al momento de uso de los materiales.

La Dirección de Obra podrá ordenar la realización de los ensayos de recepción, para alguno o todos de los componentes de las mismas.

#### **5.1.1.3 EQUIPOS DE MEDIDA**

El Contratista dispondrá del personal y medios precisos para realizar mediciones y comprobaciones de coordenadas y cotas de cualquier elemento de la estructura de los diferentes equipos..

#### **5.1.1.4 MATERIALES A EMPLEAR**

Perfiles, chapas de acero laminado y tornillería.

Los tipos de acero a emplear en los diferentes elementos de las estructuras están indicados en los planos.

### Electrodos revestidos para soldeo manual

Se emplearán electrodos con revestimiento básico de acuerdo con la norma UNE-EN 499.

No se permitirán electrodos de rutilo.

Las características mecánicas del material depositado, serán como mínimo, las indicadas para el material base.

### Materiales de aporte para soldadura con arco sumergido

Se empleará polvo básico, siendo tanto los electrodos como el fundente del tipo “bajo contenido en hidrógeno”.

Las características mecánicas del material depositado, serán como mínimo, las indicadas para el material base.

### Material de aporte para soldadura con atmósfera protectora

Las características mecánicas del material depositado, serán como mínimo, las indicadas para el material base.

### Rejilla galvanizada

La rejilla galvanizada a emplear en plataformas y peldaños será no antideslizante de 30x30x30x3 mm.

El galvanizado, en caliente por inmersión en zinc fundido a 450°C, según la norma UNE EN ISO 1461, será de espesor no inferior a 0,08 mm, equivalente a 500 gr/m<sup>2</sup>, que se aplicará igualmente en las zonas cortadas.

Los cortes que se realicen en obra se protegerán con una pintura de galvanizado en frío, tipo GALVOCOAT 160EO de HEMPEL o pintura similar, aprobada por la Supervisión de Obra, con un espesor seco de 50 micras, previa eliminación de cualquier tipo de grasa o aceite con un detergente adecuado, eliminación de sal, polvo, residuos y otros contaminantes por lavado con agua dulce y limpieza de las zonas con corrosiones por chorreado abrasivo o cepillado mecánico o neumático.

### General

Las características de los materiales especificados, tanto para los materiales incluidos en los puntos anteriores como para otros no incluidos, deberán ser íntegramente verificadas mediante la realización de los ensayos oportunos y siguiendo las recomendaciones de normas nacionales o internacionales.

Se exigirá de los proveedores el envío de los certificados de calidad de cada uno de los diferentes materiales, debiendo cumplir las características de los mismos con los mínimos requerimientos especificados.

## **5.1.2 PRESCRIPCIONES DE LA EJECUCIÓN**

### **5.1.2.1 PREFABRICACION**

Se realizará de acuerdo con lo prescrito a tal efecto en la norma API 650 y la NBE EA-95, complementada con los criterios que se indican en los apartados siguientes:

#### Preparación de materiales

Se prohíbe el calentamiento directo con soplete en las operaciones de conformado y enderezado.

Las deformaciones locales y permanentes no excederán en ningún punto de 2,5% de la dimensión inicial a menos que se sometan las piezas deformadas en frío a un recocido de normalización posterior.

Cuando no sea posible eliminar completamente mediante las precauciones adoptadas a priori las deformaciones residuales debidas a las operaciones de soldadura, y éstas resulten inadmisibles para el servicio o para el buen aspecto de las estructuras soldadas, se permitirá corregirlas en frío con prensa o máquina de rodillos, siempre que en esta operación no se excedan los límites de deformación arriba especificados y se someta la pieza corregida a un examen cuidadoso para descubrir cualquier fisura que hubiese podido aparecer en el material de aportación o en la zona de transición del material base.

### Marcado

Las piezas de cada conjunto, procedentes del corte y el enderezado, se marcarán para su identificación y armado con las siglas correspondientes en un recuadro. Tanto el recuadro como las siglas se marcarán con pintura amarilla.

Se prohíbe el marcado con punzonado, granete, troquelado o cualquier otro sistema que produzca hendiduras en el material, por pequeñas que sean.

### Corte

El corte a realizar para la obtención de chapas, rigidizadores, etc, se ejecutará con máquinas automáticas de oxicorte.

El corte de los perfiles laminados se ejecutará con sierra mecánica por arranque de viruta, quedando prohibido el corte por oxicorte manual o mecánico.

Todas las entallas producidas, tanto en cortes rectos como biseles, con profundidad superior a 5 mm, se esmerilarán para su eliminación.

## **5.1.2.2 SOLDADURA**

### Uniones

Se realizarán en conformidad con las normas API 650, ANSI-AWS A2.4-93 o con lo escrito en los puntos 3.7, 4.6 y 5.2 de la norma NBE EA-95.

### Homologación de los métodos operativos de soldadura

Antes de iniciarse la fabricación en taller, el Contratista realizará cuantas pruebas y ensayos sean necesarios para la cualificación de los distintos métodos de soldeo: manual con electrodos revestidos, automático por arco sumergido y bajo atmósfera protectora, a tope y en ángulo, etc., según normas UNE-EN o ASME, hasta determinar las características de soldeo, tensión, intensidad, velocidad de aportación, longitud de arco, etc. Con cada grupo de características obtenidas, y para cada uno de los métodos de soldeo, se confeccionará una ficha de taller.

### Calificación de soldadores

Las soldaduras serán ejecutadas sólo por soldadores cualificados por cualquiera de las entidades clasificadoras oficialmente reconocidas. La Supervisión de Obra estarán facultadas para pedir en todo momento las pruebas de cualificación convenientes de acuerdo con la norma UNE-EN 287-1 o las normas ASME.

### Elección de los electrodos

El contratista elegirá el tipo y diámetro de los electrodos, de acuerdo con las características del material base y la posición de la aportación.

Los electrodos que se empleen deberán estar oficialmente clasificados y aprobados por una entidad oficialmente reconocida.

Una vez hecha la elección de marca y fabricante, se comunicará ésta a la propiedad para su aprobación. Esta información concretará las características del metal de aportación, así como del revestimiento, la tensión de corriente mínima del transformador en continua o alterna y su clasificación según la norma UNE-EN 499.

Se pondrá especial cuidado para evitar que los electrodos, sobre todo los básicos, varillas y fundentes, adquieran humedad del medio ambiente, para lo cual se almacenarán en un recinto

cuya humedad ambiente sea inferior al 50% y la temperatura del almacén se mantenga 10°C superior a la de su entorno.

### **5.1.2.3 FABRICACION**

Antes de iniciar la fabricación, el Contratista estudiará la secuencia de armado y soldadura, siendo único responsable de las deformaciones, tensiones residuales, u otros defectos de soldadura, que por esta causa pudieran originarse.

La fabricación sólo se realizará con los métodos homologados aprobados.

Las soldaduras de unión de elementos formados por dos o más piezas, serán continuas en toda su longitud a menos que se indique otra cosa en los planos.

Los empalmes en taller de los distintos elementos que tengan la misma denominación (elementos de alas, elementos de alma, etc.), y que posteriormente deban formar parte de un conjunto, serán de penetración total, no debiendo estar dichos empalmes en una misma sección transversal del conjunto final, guardando una separación mínima de 50 cm.

En pilares armados, las soldaduras de uniones de chapas de alma y alas, así como los empalmes a tope de alas y almas, se ejecutarán con soldeo automático con arco sumergido. También se ejecutarán del mismo modo, todas las uniones posibles de rigidizadores.

Se realizarán por soldeo manual con electrodos revestidos las costuras difícilmente accesibles para las máquinas de soldeo automático. Queda prohibido este método de soldeo para cualquier otra unión a menos que, previamente a la fabricación, se homologue rigurosamente el proceso y éste sea aprobado por la propiedad.

El levantamiento de uniones defectuosas y las tomas de raíz se realizarán con procedimiento arco-aire o buril automático, quedando excluido el empleo de amolado o cualquier otro sistema.

No se cebará o probará el electrodo sobre el material de la estructura y se adoptarán los métodos de buena práctica, tales como chapas de prueba, para el cebado del arco.

Los cantos y caras de las chapas a soldar se limpiarán cuidadosamente de óxidos y suciedad antes de la soldadura

No se realizará ninguna soldadura cuando la temperatura ambiente sea inferior a cinco grados bajo cero ( $-5^{\circ}\text{C}$ ).

Con temperaturas entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $+5^{\circ}\text{C}$  se precalentarán los bordes a soldar a  $100^{\circ}\text{C}$ .

Con temperatura ambiente por encima de  $+5^{\circ}\text{C}$  se soldará sin precalentamiento para espesores iguales o inferiores a 25 mm, pero se pasará la llama neutra del soplete por los bordes a soldar para evitar la humedad.

Cuando se requiera más de una pasada para la ejecución de las costuras soldadas, la temperatura entre pasadas no será inferior a  $100^{\circ}\text{C}$ .

El control de las temperaturas se realizará con tizas termométricas, admitiéndose una tolerancia de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

El orden de ejecución de los cordones y la secuencia de la soldadura dentro de cada uno de ellos, y del conjunto, se elegirán con vistas a conseguir que, después de unidas las piezas, obtengan su forma y posición relativas sin un enderezado o rectificado posterior.

Como norma general, primeramente se realizarán las uniones a tope y después las uniones en ángulo.

Cuando hubieren de enviarse piezas a campo en dos o más tramos, los cordones longitudinales de soldadura se ejecutarán en taller dejando 50 mm sin soldar a cada uno de los lados de la unión a realizar en campo. Si los cordones longitudinales se realizaran con más de una pasada de soldadura, se dejará un desfase de 50 mm entre cada una de ellas.

En campo, se realizarán primero los cordones transversales y seguidamente los cordones longitudinales.

En las soldaduras a tope, los chaflanes se realizarán por la cara que tenga peor acceso para realizar el saneado.

En todas las soldaduras a tope, los cordones deberán prolongarse en los extremos, fuera de las piezas a soldar, para lograr una longitud eficaz real.

El achaflanado de las piezas en soldaduras a tope de piezas de distinta sección se hará mecanizado.

En una misma sección, nunca coincidirán los finales de varios cordones.

Los elementos provisionales que, por razones del montaje u otras, fuere necesario soldar a la estructura, se desguazarán posteriormente y únicamente con soplete, procurando no dañar la estructura. Los restos de soldadura ejecutados para la finalización de aquellos elementos, se eliminarán con ayuda de piedra esmeril, fresa o lima.

Las piezas que hayan de unirse con soldadura se presentarán y fijarán en su posición relativa mediante dispositivos adecuados que aseguren, sin una coacción excesiva, la inmovilidad durante el proceso de soldadura y el enfriamiento subsiguiente.

Como fijación provisional se podrán utilizar puntos de soldadura depositados entre los cordones de las piezas a unir, y el número e importancia de estos puntos se limitará al mínimo compatible con la inmovilización de las piezas. Podrán englobarse estos puntos en la soldadura definitiva siempre que no presenten fisuras u otros defectos, y hayan quedado perfectamente limpios de escoria.

No se fijarán piezas a gálibos de armado con puntos de soldadura.

Queda prohibido acelerar el enfriamiento de las soldaduras por medios artificiales.

Se procurará que el depósito de los cordones de soldadura se efectúe en posición horizontal, y se preverán los dispositivos necesarios para poder voltear las piezas y poder orientarlas en la

posición más conveniente para la ejecución de las distintas costuras, sin provocar en ellas solicitudes excesivas que puedan dañar la resistencia de las primeras capas depositadas.

En todas las costuras soldadas, se asegurará la penetración completa incluso en la zona de raíz. En todas las soldaduras manuales a tope se levantará la raíz por el revés recogiénola, al menos, con un nuevo cordón de cierre.

Cuando ello no sea posible porque la raíz sea inaccesible, se adoptarán y respetarán las medidas oportunas (chapa dorsal, guía de cobre acanalada, etc.) para conseguir un depósito de material sano en todo el espesor de la costura.

A menos que se prevean los tratamientos térmicos adecuados, no se permitirá la realización de soldaduras en las zonas en que el material haya sufrido una fuerte deformación en frío.

#### **5.1.2.4 UNIONES ATORNILLADAS**

Se realizarán en conformidad con lo prescrito en las normas NBE EA-95 y API 650.

Los agujeros para tornillos o pernos se perforarán exclusivamente con taladro. Cuando por algún motivo se precisara rectificar los agujeros, esto se realizará mediante escariador mecánico.

Cuando las piezas a unir mediante tornillos de alta resistencia no vayan a ser unidas inmediatamente después de prepararse la superficie, bastará acondicionar éstas en el momento de su unión mediante cepillado con púas de acero suave. Durante este proceso no deberán ser dañadas o alisadas.

Se utilizará doble tuerca en aquellos elementos que pudiesen trabajar a tracción.

#### **5.1.2.5 MONTAJE EN OBRA**

Se realizará de conformidad a lo escrito en la norma NBE EA-95 y la norma API 650, complementada con los criterios que se indican a continuación.

El Contratista someterá a la aprobación de la Propiedad, o su representante, la modalidad de transporte elegido, sobre todo en lo referente a piezas o conjuntos en que sea necesario guardar alguna precaución especial.

La descarga se realizará en el lugar que defina la Supervisión de Obra, corriendo a cargo del Contratista todos los movimientos del material. Si por conveniencia del Contratista, y a petición suya, la Supervisión de Obra autorizara la descarga fuera de los límites destinados para ello, el Contratista vendrá obligado a realizar a su cargo, previa petición de la Supervisión de Obra, todos los movimientos de materiales que le fueran ordenados para evitar interferencias.

Las estructuras que componen la unidad de amina se almacenarán de modo que se evite todo posible contacto prolongado o almacenamiento sobre ella de agua, barro, grasa o cualquier tipo de suciedad o materias extrañas que puedan dañar el acero o dificultar la aplicación de la pintura. Los armados a realizar por soldadura se procurarán realizar a nivel del suelo. Si por circunstancias especiales el Contratista deseara realizarlo de otro modo, lo justificará debidamente y solicitará la aprobación de la Supervisión de Obra.

Antes de comenzar el montaje, el Contratista comprobará las elevaciones de las cimentaciones están situadas a la cota correcta y niveladas de modo que estén en condiciones de recibir las chapas del fondo, y pondrá en conocimiento de la Supervisión de Obra toda discrepancia que encontrase.

Durante su montaje, las estructuras se asegurarán provisionalmente mediante cualquier medio auxiliar adecuado, debiendo quedar garantizada, con los medios que se utilicen, su estabilidad y resistencia hasta el momento en que se halle en la situación de trabajo prevista en el proyecto.

El Contratista será responsable de la estabilidad de la estructura en todas las fases del montaje y adoptará todas las medidas de arriostramiento provisional o venteado que fueran necesarias para garantizar la resistencia a la acción del viento.

En el montaje, se prestará la debida atención al ensamble de las distintas piezas, con el objeto de que la estructura se adapte a la forma prevista en el proyecto, debiéndose comprobar cuantas veces fuera necesario, la exacta colocación relativa de sus diversas partes.

Si los agujeros de dos piezas a unir no coincidieran, se escarificarán y se colocará un tornillo del siguiente mayor diámetro nominal. No se permitirá el quemado de agujeros existentes o nuevos. Será preceptiva la colocación de arandelas bajo las tuercas.

No se comenzará el atornillado definitivo o la soldadura definitiva de las uniones de montaje, hasta que no se haya comprobado que la posición de las piezas, a que afecta cada unión, coincide exactamente con la definitiva. Los errores de fabricación se corregirán en obra a expensas del Contratista.

Cuando, a juicio de la Supervisión de Obra, haya suficiente parte de estructura de la columna regeneradora en condiciones de ser fijada de manera definitiva, el Contratista revisará su trabajo y se procederá a su ejecución.

Si se precisa fijar equipos atornillados a la estructura, los taladros en ella se realizarán, dentro de lo posible, con taladro magnético una vez presentado el accesorio.

En las cubiertas, no se comenzarán a colocar los elementos de cerramiento hasta no asegurarse que todas las vigas están correctamente montadas. Para comprobar las dimensiones geométricas de las diversas partes de la estructura en conjunto y asegurar las uniones de los tramos, el Contratista deberá realizar cuantos montajes en blanco sean necesarios, entendiéndose que cualquier error que se cometiese será de su entera responsabilidad.

#### **5.1.2.6 PROTECCION**

Para pintura y protección de la estructura de los equipos, el Contratista se atenderá a lo indicado en la en el punto 5.6 de la norma NBE EA-95 y en la norma API 650.

### **5.2 REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE**

El Contratista está obligado al cumplimiento de las disposiciones, de las ordenanzas de trabajo y de todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten. En particular, deberá cumplir lo dispuesto en la Norma UNE 24042 "Contratación de Obras. Condiciones Generales", siempre que no lo modifique el presente Pliego de Condiciones.

El Director de Obra podrá exigir del Contratista en cualquier momento, antes o después de la iniciación de los trabajos, que presente los documentos acreditativos de haber formalizado los regímenes de Seguridad Social de todo tipo (afiliación, accidente, enfermedad, etc.) en la forma legalmente establecida.

El Contratista deberá estar clasificado, según Orden del Ministerio de Hacienda, en el Grupo, Subgrupo y Categoría correspondientes al Proyecto. Igualmente deberá ser Instalador, provisto del correspondiente documento de calificación empresarial.

Las obras del Proyecto, además de lo prescrito en el presente Pliego de Condiciones, se registrarán por lo especificado en:

- 1) Reglamentación General de Contratación según Decreto 3410/75, de 25 de noviembre.
- 2) Artículo 1588 y siguientes del Código Civil, en los casos que sea procedente su aplicación al contrato.
- 3) Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos laborales y RD 1627/97 sobre Disposiciones mínimas en materia de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.
- 4) Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos.
- 5) Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. Derogado parcialmente por el Real Decreto 1523/1999.
- 6) Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas, aprobado por Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre.
- 7) Reglamentación relativa a Instrucciones Técnicas Complementarias .ITC-MI-IP-01: Refinerías.

## 5.3 INSPECCION, CONTROL Y TOLERANCIAS

Todas las comprobaciones a efectuar serán a cargo del Contratista, quien avisará a la Propiedad para que pueda estar presente durante la realización de las mismas.

### 5.3.1 INSPECCIÓN

Se realizará de acuerdo con las especificaciones y planos aplicables, sobre lo siguiente:

- Materiales, tornillos, accesorios, materiales de aportación, etc.
- Planos de taller
- Homologación de soldadores.
- Máquinas y materiales de soldadura.
- Homologación de los procesos de soldadura.
- Zonas de soldadura.
- Pintura de imprimación y acabado, según corresponda

#### 5.3.1.1 TALADROS PARA TORNILLOS

Se comprobará que pasa suavemente un calibre cilíndrico de diámetro 1,5 mm menor que el agujero. Si el calibre no pasa suavemente, se rectificará el taladro, mediante escariador mecánico, prohibiéndose especialmente el uso de broca o lima redonda.

Esta comprobación se efectuará en todos los taladros.

#### 5.3.1.2 UNIONES SOLDADAS

La inspección se realizará sobre piezas completamente terminadas y enderezadas.

##### Inspección visual

Se inspeccionarán visualmente todas las uniones soldadas, comprobando gargantas de cordones y defectos superficiales.

##### Métodos radiográficos

El control radiográfico se efectuará según UNE-EN 462 y UNE-EN 1435 o bien Código ASME.

### Ultrasonidos

Se inspeccionarán por este método las siguientes uniones a juicio del Inspector o Supervisor de Obra, las soldaduras sobre elementos de fuerte espesor.

### Inspección por líquidos penetrantes

Se realizará según UNE 14612 y UNE-EN 1290 respectivamente, sobre las soldaduras en que se encontrasen defectos difíciles de definir y según orden de la Supervisión de Obra o el Inspector de la Propiedad

## **5.3.2 CONTROL**

El control se realizará según UNE-EN 1714.

### **5.3.2.1 ACEPTACION DE LAS UNIONES SOLDADAS**

Las tolerancias máximas admisibles en las costuras soldadas serán:

#### Sobreespesor del cordón

Costuras a tope: altura máxima 3 mm.

Costuras en ángulo: altura máxima 1,5 mm.

#### Mordeduras

- Cordón a tope: La profundidad máxima será de 0,5 mm y la longitud máxima será de 5 cm con una distancia mínima entre bordes de defectos de 25 cm.
- Cordón longitudinal en ángulo: La profundidad máxima será de 0,8 mm y la longitud máxima de 10 cm, con una distancia mínima entre bordes de defectos de 50 cm.

### Desbordamientos

No se admitirán defectos de desbordamientos en ningún caso.

### Defectos detectados por inspección radiográfica

Se admitirán las calificadas como 1 y 2, se desecharán las calificadas como 4 y 5, quedando a juicio de la Propiedad o su representante, las calificadas como 3.

## **5.3.2.2 ACEPTACION DE UNIDADES ATORNILLADAS**

Deberá comprobarse en obra una vez finalizada la unión, un 50% del total de los tornillos que componen cada junta, confirmando que el apriete de las tuercas es a tope y que la disposición geométrica es la adecuada. En caso de que un 25% de los tornillos sea considerado como rechazable, por falta de apriete, se procederá a una comprobación del 100% de los tornillos que componen la junta.

## **5.3.2.3 PRUEBAS FINALES**

Se realizará la prueba hidráulica sometiendo a la columna a la presión de  $P_p > 5.36 \text{ kg/cm}^2$  durante al menos 1 hora.

La temperatura del agua durante la prueba será normalmente la ambiental, no debiendo ser inferior a 10 °C ni superior a 50 °C.

La temperatura del metal durante la misma no será inferior a 10 °C.

Los manómetros para la prueba hidráulica estarán debidamente contrastados y con una sensibilidad adecuada.

Se comprobará que la bomba para pruebas es correcta y que las conexiones son las adecuadas para las presiones a las que se van a someter; así como que se han dispuesto las medidas de

seguridad adecuada para no sobrepasar la presión de prueba ni estar por debajo de la temperatura indicada.

Durante el llenado se venteará bien el equipo para evitar que queden cámaras de aire.

### 5.3.3 TOLERANCIAS

Además de las indicadas en la norma NBE EA-95, se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones, aplicándose siempre las condiciones más restrictivas:

- Las flechas, si no se indica nada en contra, podrán ser: Flecha en todo elemento estructural recto será igual o inferior que el menor de los valores  $1/500$  o 10 mm.
- Suma de tolerancias en longitud de varios elementos estructurales dispuestos en línea:  $\pm 15$  mm.
- Se cumplirá además que la tolerancia para elementos será:  
L < 1000.....  $\pm 2$  mm  
1001 < L < 3000.....  $\pm 3$  mm  
3001 < L < 6000.....  $\pm 4$  mm  
6001 < L < 10000.....  $\pm 5$  mm
- Verticalidad de pilares: inferior a  $1/1.000$  de su altura. En ningún caso mayor de 25 mm
- Desplome de vigas medido en las secciones de apoyo:  
Vigas en general:  $d/250$   
Vigas carril:  $d/500$   
Siendo d el canto de la viga considerada.

### 5.4 CRITERIOS DE MEDICION Y ABONO

## 5.4.1 DEFINICIONES

Al sólo efecto de clarificar y clasificar las actividades que usualmente se dan en este tipo de obras, se dan las siguientes definiciones. En caso de duda en su clasificación, prevalecerá el criterio que fije la Propiedad o la Supervisión de Obra.

### Suministro

Se entiende por suministro únicamente los materiales que tenga que suministrar el Contratista, de acuerdo con el alcance del trabajo.

### Fabricación

Se entiende por fabricación el conjunto de todas las operaciones y manipulaciones necesarias, a ejecutar en los talleres del suministrador, para transformar el material objeto del suministro en una estructura lista para ser montada.

### Montaje

Se entiende por montaje el conjunto de todas las operaciones y manipulaciones necesarias para montar la estructura recibida en campo, hasta dejarla terminada de acuerdo con los planos y especificaciones del Contrato.

### Recolocación

Se entiende por este concepto las operaciones de desmontar y volver a montar elementos con objeto de permitir el trabajo sobre la estructura metálica que les soporta.

### Readaptación

Se entiende por este concepto la modificación de parte de una estructura existente para adaptarla a las nuevas exigencias, con el consiguiente desmontaje de algunos elementos, y el suministro y montaje de otros nuevos.

#### Estructura recta

Se entiende por estructura recta todo el conjunto estructural en el que ninguno de sus elementos fundamentales ha sufrido un proceso de curvado.

#### Estructura curva

Se entiende por estructura curva aquella en la que sus elementos fundamentales han sufrido algún proceso de curvado.

#### Marcas de montaje

Se entiende por marcas de montaje el recuadro y las siglas que identifican los elementos para su armado y montaje.

#### Embalaje

Se entiende por embalaje, cualquier elemento auxiliar que se precise, (calzo, madera, etc.) para el correcto manejo, transporte o almacenamiento de parte o partes de una estructura.

#### Vigas y pilares simples

Se entiende por vigas y pilares simples aquellos miembros de una estructura constituidos por un solo perfil laminado.

#### Vigas y pilares compuestos unidos

Se entiende por vigas y pilares compuestos unidos aquellos miembros de una estructura obtenidos mediante la unión longitudinal, por soldadura continua o discontinua, de dos o más perfiles simples.

#### Pilares compuestos empresillados

Se entiende por pilares compuestos empresillados los que están obtenidos mediante la unión, por presillas o angulares en celosía, de dos o más perfiles simples.

#### Pilares y vigas armadas

Se entiende por tales las piezas obtenidas a partir de chapas soldadas, así como los pilares y vigas obtenidos a base de chapas y perfiles simples, que no se ajusten a las definiciones anteriores.

### **5.4.2 CRITERIOS DE MEDICION**

La unidad de medición, para cada tipo de elemento será la que le corresponda del Cuadro de Precios. En caso de duda prevalecerá el criterio que fije la Propiedad o la Supervisión de Obra.

- Los elementos estructurales se medirán en kilogramos, deducidos mediante el producto de las dimensiones teóricas de los elementos determinados a partir de las cotas que figuran en los planos, por los pesos unitarios de los mismos, de acuerdo con los catálogos de los fabricantes.
- Las placas se medirán en kilogramos de peso teóricos, deducidos de los planos y siguiendo el criterio indicado en el apartado anterior.
- Los mecanismos se medirán en unidades.
- La pintura de estructura se medirá por kilogramos de estructura pintada.
- La pintura de chapa se medirá en metros cuadrados de chapa pintada.

- La pintura de otros elementos especiales se medirá según corresponda en el Cuadro de Precios.

### 5.4.3 CRITERIOS DE ABONO

Se realizará aplicando a las mediciones obtenidas con los criterios señalados en el punto anterior, los precios unitarios que les correspondan del Cuadro de Precios.

Los precios unitarios se refieren a unidades de obra totalmente terminadas, por lo tanto, incluyen todos los costos directos, indirectos, mano de obra, protecciones, señalizaciones, impuestos y todos los demás costes que se precisen o generen para realizar y finalizar la obra correctamente, salvo el IVA.

#### Costos incluidos

Se indican a continuación, sin carácter excluyente, los costos más significativos incluidos en cada unidad de obra.

- El suministro, fabricación y montaje de los diferentes componentes.
- Los ensayos y pruebas de recepción.
- Las tolerancias de laminación.
- Los despuntes, recortes y sobrantes.
- Los elementos componentes de uniones, como tornillos, electrodos, etc.
- Las cartelas, presillas, casquillos, rigidizadores y demás elementos auxiliares, salvo las placas de asiento de pilares y rigidizadores de vigas armadas que se abonarán separadamente.
- Montaje de banco.
- Las plantillas de las placas de asiento
- Los rodapiés de chapa y recercado de huecos en el caso de pisos de chapa y rejilla, cuando se precise, además de los medios de unión.
- Las grapas.
- Los equipos necesarios para la fabricación, transporte y montaje de las estructuras.

- El embalaje.
- El suministro y envío a obra de los tornillos.
- La realización de planos de taller.
- Marcas de montaje.
- Los elementos necesarios para la sujeción provisional de los elementos durante el montaje, así como el andamiaje y elementos de seguridad requeridos.
- La carga, transporte y descarga en obra.
- El almacenamiento y manipulaciones de los elementos en obra.
- El suministro de la pintura, la ejecución de la preparación de superficie, el pintado y los retoques, tanto en taller como en obra.
- Todos los costes de pruebas, ensayos e inspecciones, incluso el de las radiografías, que se tengan que realizar durante la fabricación y el montaje.

#### Pago de obras.

El pago de obras realizadas se hará sobre Certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas Certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran. La relación valorada que figure en las Certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos, y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

Serán de cuenta del Contratista las operaciones necesarias para medir unidades ocultas o enterradas, si no se ha advertido al Director de Obra oportunamente para su medición, los gastos de replanteo, inspección y liquidación de las mismas, con arreglo a las disposiciones vigentes, y los gastos que se originen por inspección y vigilancia facultativa.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminados por ambas partes en un plazo máximo de quince días.

El Director de Obra expedirá las Certificaciones de las obras ejecutadas que tendrán carácter de documentos provisionales a buena cuenta, rectificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las Certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas Certificaciones.

## **5.5 ORGANIZACION DEL TRABAJO**

El Contratista ordenará los trabajos en la forma más eficaz para la perfecta ejecución de los mismos y las obras se realizarán siempre siguiendo las indicaciones del Director de Obra, al amparo de las condiciones siguientes:

### Datos de la obra.

Se entregará al Contratista una copia de los planos y pliegos de condiciones del Proyecto, así como cuantos planos o datos necesite para la completa ejecución de la Obra.

El Contratista podrá tomar nota o sacar copia a su costa de la Memoria, Presupuesto y Anexos del Proyecto, así como segundas copias de todos los documentos.

El Contratista se hace responsable de la buena conservación de los originales de donde obtenga las copias, los cuales serán devueltos al Director de Obra después de su utilización.

Por otra parte, en un plazo máximo de dos meses, después de la terminación de los trabajos, el Contratista deberá actualizar los diversos planos y documentos existentes, de acuerdo con las características de la obra terminada, entregando al Director de Obra dos expedientes completos relativos a los trabajos realmente ejecutados.

No se harán por el Contratista alteraciones, correcciones, omisiones, adiciones o variaciones sustanciales en los datos fijados en el Proyecto, salvo aprobación previa por escrito del Director de Obra.

### Replanteo de la obra.

El Director de Obra, una vez que el Contratista esté en posesión del Proyecto y antes de comenzar las obras, deberá hacer el replanteo de las mismas, con especial atención en los puntos singulares, entregando al Contratista las referencias y datos necesarios para fijar completamente la ubicación de los mismos.

Se levantará por duplicado Acta, en la que constarán, claramente, los datos entregados, firmado por el Director de Obra y por el representante del Contratista.

Los gastos de replanteo serán de cuenta del Contratista.

### Mejoras y variaciones del proyecto.

No se considerarán como mejoras ni variaciones del Proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Director de Obra y convenido precio antes de proceder a su ejecución.

Las obras accesorias, no incluidas en los precios de adjudicación, podrán ejecutarse con personal independiente del Contratista.

### Recepción del material.

El Director de Obra de acuerdo con el Contratista dará a su debido tiempo su aprobación sobre el material suministrado y confirmará que permite una instalación correcta.

La vigilancia y conservación del material suministrado será por cuenta del Contratista.

### Organización

El Contratista actuará de patrono legal, aceptando todas las responsabilidades correspondientes y quedando obligado al pago de los salarios y cargas que legalmente están establecidas, y en

general, a todo cuanto se legisle, decrete u ordene sobre el particular antes o durante la ejecución de la obra.

Dentro de lo estipulado en el Pliego de Condiciones, la organización de la Obra, así como la determinación de la procedencia de los materiales que se empleen, estará a cargo del Contratista a quien corresponderá la responsabilidad de la seguridad contra accidentes.

El Contratista deberá, sin embargo, informar al Director de Obra de todos los planes de organización técnica de la Obra, así como de la procedencia de los materiales y cumplimentar cuantas órdenes le dé éste.

#### Facilidades para la inspección.

El Contratista proporcionará al Director de Obra, toda clase de facilidades para los replanteos, reconocimientos, mediciones y pruebas de los materiales, así como la mano de obra necesaria para los trabajos que tengan por objeto comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas, permitiendo el acceso a todas las partes de la obra e incluso a los talleres o fábricas donde se produzcan los materiales o se realicen trabajos para las obras.

#### Ensayos

Los ensayos, análisis y pruebas que deban realizarse para comprobar si los materiales reúnen las condiciones exigibles, se verificarán por la Dirección Técnica, o bien, si ésta lo estima oportuno, por el correspondiente Laboratorio Oficial.

Todos los gastos de pruebas y análisis serán de cuenta del Contratista.

#### Limpieza y seguridad en las obras.

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus inmediaciones de escombros y materiales, y hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean precisas, así como adoptar las medidas y ejecutar los trabajos necesarios para que las obras ofrezcan un buen aspecto a juicio de la Dirección técnica.

Se tomarán las medidas oportunas de tal modo que durante la ejecución de las obras se ofrezca seguridad absoluta, en evitación de accidentes que puedan ocurrir por deficiencia en esta clase de precauciones. Durante la noche estarán los puntos de trabajo perfectamente alumbrados y cercados los que por su índole fueran peligrosos.

#### Medios auxiliares.

No se abonarán en concepto de medios auxiliares más cantidades que las que figuren explícitamente consignadas en presupuesto, entendiéndose que en todos los demás casos el costo de dichos medios está incluido en los correspondientes precios del presupuesto.

#### Ejecución de las obras.

Las obras se ejecutarán conforme al Proyecto y a las condiciones contenidas en este Pliego y de acuerdo con las especificaciones señaladas en el de Condiciones Técnicas.

El Contratista, salvo aprobación por escrito del Director de Obra, no podrá hacer ninguna alteración o modificación de cualquier naturaleza tanto en la ejecución de la obra en relación con el Proyecto como en las Condiciones Técnicas especificadas, sin perjuicio de lo que en cada momento pueda ordenarse por el Director de Obra.

El Contratista deberá tener al frente de los trabajos un técnico suficientemente especializado a juicio del Director de Obra.

#### Subcontratación.

Salvo que el contrato se disponga lo contrario, el adjudicatario podrá concertar con terceros la realización de determinadas unidades de obra.

La celebración de los subcontratos estará sometida al cumplimiento de los siguientes requisitos:

- a) Que se dé conocimiento por escrito al Director de Obra del subcontrato a celebrar, con indicación de las partes de obra a realizar y sus condiciones económicas, a fin de que aquél lo autorice previamente.
  
- b) Que las unidades de obra que el adjudicatario contrate con terceros no exceda del 50% del presupuesto total de la obra principal.

En cualquier caso la Propiedad no quedará vinculada en absoluto ni reconocerá ninguna obligación contractual entre él y el subcontratista y cualquier subcontratación de obras no eximirá al Contratista de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

#### Plazo de ejecución.

Los plazos de ejecución, total y parciales, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y serán improrrogables.

No obstante lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificaciones cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra debidos a exigencias de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por cualquier causa, ajena por completo al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director de Obra, la prórroga estrictamente necesaria.

### Recepción provisional.

Una vez terminadas las obras y a los quince días siguientes a la petición del Contratista se hará la recepción provisional de las mismas por parte de la Propiedad, requiriendo para ello la presencia del Director de Obra y del representante del Contratista, levantándose la correspondiente Acta, en la que se hará constar la conformidad con los trabajos realizados, si este es el caso. Dicho Acta será firmado por el Director de Obra y el representante del Contratista, dándose la obra por recibida si se ha ejecutado correctamente de acuerdo con las especificaciones dadas en el Pliego de Condiciones Técnicas, comenzándose entonces a contar el plazo de garantía.

En el caso de no hallarse la Obra en estado de ser recibida, se hará constar así en el Acta y se darán al Contratista las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución. Expirado dicho plazo, se hará un nuevo reconocimiento. Las obras de reparación serán por cuenta y a cargo del Contratista. Si el Contratista no cumpliera estas prescripciones podrá declararse rescindido el contrato con pérdida de la fianza.

### Periodos de garantía.

El periodo de garantía será el señalado en el contrato y empezará a contar desde la fecha de aprobación del Acta de Recepción.

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva, el Contratista es responsable de la conservación de la Obra, siendo de su cuenta y cargo las reparaciones por defectos de ejecución o mala calidad de los materiales.

Durante este periodo, el Contratista garantizará a la Propiedad contra toda reclamación de terceros, fundada en causa y por ocasión de la ejecución de la Obra.

### Recepción definitiva.

Al terminar el plazo de garantía señalado en el contrato o en su defecto a los seis meses de la recepción provisional, se procederá a la recepción definitiva de las obras, con la concurrencia del Director de Obra y del representante del Contratista levantándose el Acta correspondiente, por duplicado (si las obras son conformes), que quedará firmada por el Director de Obra y el Contratista y ratificada por la Propiedad.

## **5.6 DOCUMENTACIÓN BASE PARA LA CONTRATACIÓN**

### **5.6.1 DOCUMENTACION TECNICA**

La obra a ejecutar se define por los siguientes documentos:

- Planos del proyecto
- Pliego de condiciones
- Estado de mediciones
- Memoria
- Especificaciones y normas

Siendo ese mismo su orden de prioridad

Lo mencionado en los planos y omitido en el pliego de condiciones, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos; en caso de existir alguna contradicción entre lo prescrito en el pliego de condiciones y lo señalado en los planos, se dará preferencia a lo establecido en los planos, a menos que la Propiedad indique lo contrario por escrito.

### **5.6.2 PLANOS**

Para la ejecución de esta obra, el Contratista recibirá de la Propiedad los planos generales de las estructuras y equipos a construir y montar.

Todas las dimensiones se deducirán numéricamente de las cotas de los planos, por lo que no se establecerá ninguna dimensión basada en la interpretación gráfica de los mismos; en caso de omisión o duda, el Contratista solicitará por escrito los datos que precise a la Propiedad, quien los definirá y comunicará, también por escrito al Contratista.

Antes de comenzar la obra, el Contratista confrontará los planos recibidos y comprobará todas sus cotas, debiendo informar a la mayor brevedad a la Propiedad de cualquier anomalía o contradicción, siendo responsable de los errores que se pudieran producir por no realizar estas comprobaciones.



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 6

**ESTADO DE LAS MEDICIONES**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## **6.0. INDICE DEL ESTADO DE LAS MEDICIONES**

	<u><b>Página</b></u>
<b>6.0. Indice del estado de las mediciones</b>	<b>1</b>
<b>6.1. Suministro tuberías</b>	<b>2</b>
<b>6.2. Suministro accesorios</b>	<b>3</b>
<b>6.3. Suministro de equipos</b>	<b>12</b>
<b>6.4. Prefabricación tuberías</b>	<b>13</b>
<b>6.5. Montaje de equipos y tuberías</b>	<b>14</b>
<b>6.6. Pintura</b>	<b>15</b>
<b>6.7. Implantación del plan de Seguridad y Salud</b>	<b>15</b>

## 6.1 SUMINISTRO TUBERÍAS

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
1	ml. Suministro de tubería 1 1/4 " de schedule 160 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	10,00
2	ml. Suministro de tubería 2 " de schedule 160 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	80,00
3	ml. Suministro de tubería 3 " de schedule 80 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	33,00
4	ml. Suministro de tubería 6 " de schedule 40, de acero al carbono A-106 Gr B y equivalentes incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	19,50
5	ml. Suministro de tubería 8 " schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B y equivalentes incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	23,00
6	ml. Suministro de tubería 8 " schedule 40 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	25,50
7	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	189,50

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
8	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 40 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	154,50
9	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 30 de acero inoxidable A-312 TP 316L incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	28,00
10	ml. Suministro de tubería 12 " schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8,50
11	ml. Suministro de tubería 16 " con schedule 40 de acero al carbono laminado A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes y juntas de estanqueidad todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8,00
12	ml. Suministro de tubería 22 " de schedule 20 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6,50

## 6.2 SUMINISTRO ACCESORIOS

13	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 3" de schedule de 80 acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	36
14	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 6" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
15	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 8" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6
16	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 8" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	11
17	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 20 acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
18	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	38
19	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	51
20	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 30 de acero inoxidable A-312 TP 316L y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	23
21	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 12" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
22	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 16" con chedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3
23	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 22" de schedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3
24	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 3" de schedule 80 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
25	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 6" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
26	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
27	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 16" de schedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
28	Ud. Suministro de codo de 45° S.W. de 3000# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
29	Ud. Suministro de codo de 90° S.W. (enchufe y soldadura) de 3000# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
30	Ud. Suministro de codo de 90° S.W. (enchufe y soldadura) de 3000# de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	28
31	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 10" x 6" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
32	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 10" x 8" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4
33	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 16" x 10" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
34	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 3" x 2" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
35	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 3" x 1 1/2" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
36	Ud. Suministro de reducción excéntrica de 22" x 16" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
37	Ud. Suministro de brida tipo S.W. de 150# R.F. de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
38	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 1 1/2" schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
39	Ud. Suministro de brida tipo S.W. de 150# R.F. de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	15
40	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 2" de schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
41	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 3" de schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	15
42	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 6" con schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
43	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 6" con schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5
44	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 8" de chedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
45	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 8" de schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7
46	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 30 de acero inoxidable A-316L y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3
47	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 20 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3
48	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	30
49	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	35
50	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 12" de schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7
51	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 22" de schedule 20 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
52	Ud. Suministro de te igual de 10" de acero al carbono laminado A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
53	Ud. Suministro de disco medidor de flujo de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8
54	Ud. Suministro de termopar en tuberías y cambiadores, de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	30
55	Ud. Suministro de manómetro para tuberías y cambiadores, de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	22
56	Ud. Suministro de niveles visuales de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7
57	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	26
58	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 6" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
59	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 8" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
60	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 12" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
61	Ud. Suministro de válvula de compuerta S.W. de 800# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
62	Ud. Suministro de válvula de compuerta S.W. de 800# de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5
63	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5
64	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 3" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4
65	Ud. Suministro de válvula de retención de 150# R.F. de 3" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
66	Ud. Suministro de válvula de retención de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
67	Ud. Suministro de válvula de globo de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
68	Ud. Suministro de válvula automática de control de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2
69	Ud. Suministro de válvula automática de control de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4
70	Ud. Suministro de válvula automática de control de 12" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
71	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 1 1/2" x 2" de 150# R.F. de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4
72	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 3/4" x 1" de 3000# NPT de acero al carbono y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4
73	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 3" x 4" de 150# R.F. de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1
74	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 4" x 6" de 150# R.F. de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1

**Nº DESCRIPCIÓN MEDICIÓN**

75 Ud. Suministro de weldolet de 10" x 3" de acero al carbono laminado A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.

1

### 6.3 SUMINISTRO DE EQUIPOS

76 Ud. Suministro columna C-01 totalmente fabricada s/ plano de diseño Nº 4, incluyendo faldón, silletas, distribuidores, conexiones y soportes internos para el relleno, así como también se incluyen juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

77 Ud. Suministro cambiador de calor E-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 5, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

78 Ud. Suministro cambiador de calor E-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 6, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

79 Ud. Suministro cambiador de calor E-03 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 7, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

80 Ud. Suministro cambiador de calor E-04 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 8, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

81 Ud. Suministro botellón V-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 9, incluyendo distribuidor, rebosaderos internos, conexiones, cunas y rigidizadores, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.

1

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
82	Ud. Suministro botellón V-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 10, incluyendo conexiones, cunas y rigidizadores, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1
83	Ud. Suministro filtro F-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 11, incluyendo conexiones, perfiles para soportación, placa soporte y cartuchos filtrantes, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1
84	Ud. Suministro filtro F-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 12, incluyendo conexiones, perfiles para soportación, soportes y carbón activo filtrante para el primer uso, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1
85	Ud. Suministro bomba B-01 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 8x8x9 . Incluye transporte a obra.	1
86	Ud. Suministro bomba B-02 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 6x8x13H . Incluye transporte a obra.	1
87	Ud. Suministro bomba B-03 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 1 1/2x2x8H . Incluye transporte a obra.	1
<b>6.4 PREFABRICACIÓN TUBERÍAS</b>		
88	Kg. Prefabricación conjunto de tuberías en acero al carbono de diversos espesores, incluidos accesorios de fijación, uniones y juntas estancas, venteos, drenajes y tornillería.	26.320
89	Kg. Prefabricación de conjunto de tuberías en acero inoxidable de diversos espesores, incluidos accesorios de fijación, uniones y juntas estancas, venteos, drenajes y tornillería.	622

## 6.5 MONTAJE DE EQUIPOS Y TUBERÍAS

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
90	Kg. Montaje de columna totalmente instalada incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, suministro y colocación de relleno y dispositivos interiores y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	104.900
91	Kg. Montaje de cambiadores de calor de carcasa y tubos totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, suministro y colocación de tubos y dispositivos internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	38.930
92	Kg. Montaje de recipientes totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, dispositivos internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	20.450
93	Kg. Montaje de filtros totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, material filtrante, dispositivos de soporte internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	5.950
94	Kg. Montaje de bombas totalmente instaladas incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, dispositivos de soporte internos y alineación del motor.	770
95	Kg. Montaje de tuberías de acero al carbono totalmente instaladas, incluyendo accesorios, valvulería y elementos de control.	26.320
96	Kg. Montaje de tuberías de acero inoxidable totalmente instaladas, incluyendo accesorios, valvulería y elementos de control.	622

## 6.6 PINTURA

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
97	Kg. Aplicación de pintura en equipos para acabado consistente en 2 capas de 40 micras de poliuretano alifático S/ UNE-48274	52.131
98	Kg. Aplicación de pintura en el conjunto de tuberías para acabado consistente en 2 capas de 40 micras de poliuretano alifático S/ UNE-48274	16.320

## 6.7 IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

99	P.A. correspondiente a equipos de protección individual según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud.	1
100	P.A. correspondiente a protecciones colectivas según los requerimientos especificados en el estudio básico de seguridad y salud.	1
101	P.A. correspondiente a protecciones de caídas de altura según los requerimientos especificados en el estudio básico de seguridad y salud.	1
102	P.A. correspondiente a equipos de protección eléctrica según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud.	1
103	P.A. correspondiente a servicios de higiene y bienestar según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud, así como gastos en formación y reuniones de coordinación.	1



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 7

**PRESUPUESTO**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## 7.0. INDICE DEL PRESUPUESTO

	<u>Página</u>
<b>7.0. Indice del presupuesto</b>	<b>1</b>
<b>7.1. Precios unitarios</b>	<b>2</b>
7.1.1. Suministros	14
7.1.2. Prefabricación tuberías	14
7.1.3. Montaje	15
7.1.4. Pintura	15
7.1.5. Implantación del plan de seguridad y salud	15
<b>7.2. Presupuestos parciales</b>	<b>16</b>
<b>7.3. Presupuesto general de ejecución material</b>	<b>16</b>
<b>7.4. Presupuesto general de ejecución por contrata</b>	<b>16</b>
<b>7.5. Resumen general del presupuesto</b>	<b>16</b>

## 7.1 PRECIOS UNITARIOS

### 7.1.1 SUMINISTROS

En el suministro de los equipos de esta obra está incluido la preparación de su superficie completa, así como del faldón de la columna mediante el chorreado en seco (S/ UNE-EN-ISO-850-1), imprimación con una capa de 70 micras de etil silicato de zinc (S/ UNE-48293) y una capa de 100 micras epóxica (S/ UNE-48295). Se excluye en todo caso lo relativo a instalación eléctrica, así como los soportes y estructuras de soportación de tuberías.

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
1	ml. Suministro de tubería 1 1/4 " de schedule 160 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	10,00	19,50	195,00 €
2	ml. Suministro de tubería 2 " de schedule 160 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	80,00	35,69	2.855,20 €
3	ml. Suministro de tubería 3 " de schedule 80 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3 ) e incluyendo transporte a obra.	33,00	47,96	1.582,68 €
4	ml. Suministro de tubería 6 "de schedule 40, de acero al carbono A-106 Gr B y equivalentes incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	19,50	88,74	1.730,43 €
5	ml. Suministro de tubería 8 " schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B y equivalentes incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	23,00	136,96	3.150,08 €
6	ml. Suministro de tubería 8 " schedule 40 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	25,50	157,12	4.006,56 €
7	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	189,50	189,89	35.984,16 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
8	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 40 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	154,50	222,69	34.405,61 €
9	ml. Suministro de tubería 10 " con schedule 30 de acero inoxidable A-312 TP 316L incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	28,00	750,00	21.000,00 €
10	ml. Suministro de tubería 12 " schedule 30 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8,50	252,08	2.142,68 €
11	ml. Suministro de tubería 16 " con schedule 40 de acero al carbono laminado A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes y juntas de estanqueidad todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8,00	546,12	4.368,96 €
12	ml. Suministro de tubería 22 " de schedule 20 de acero al carbono A-106 Gr B incluyendo parte proporcional correspondiente a venteos, drenajes todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6,50	1.002,31	6.515,02 €
13	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90º de 3" de schedule de 80 acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	36	15,60	561,60 €
14	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90º de 6" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7	44,26	309,82 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
15	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 8" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6	62,26	373,56 €
16	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 8" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	11	85,69	942,59 €
17	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 20 acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	127,35	254,70 €
18	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	38	136,94	5.203,72 €
19	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	51	159,63	8.141,13 €
20	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 10" de schedule 30 de acero inoxidable A-312 TP 316L y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	23	778,00	17.894,00 €
21	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 12" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	6	186,39	1.118,34 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
22	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 16" con schedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	352,64	1.057,92 €
23	Ud. Suministro de codo de radio largo de 90° de 22" de schedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	841,26	2.523,78 €
24	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 3" de schedule 80 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	26,30	52,60 €
25	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 6" de schedule 40 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	34,20	34,20 €
26	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	98,57	197,14 €
27	Ud. Suministro de codo de radio largo de 45° de 16" de schedule 20 de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	301,29	301,29 €
28	Ud. Suministro de codo de 45° S.W. de 3000# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	5,11	10,22 €
29	Ud. Suministro de codo de 90° S.W. (enchufe y soldadura) de 3000# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	4,69	18,76 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
30	Ud. Suministro de codo de 90° S.W. (enchufe y soldadura) de 3000# de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	28	9,94	278,32 €
31	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 10" x 6" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	45,76	91,52 €
32	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 10" x 8" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	45,76	183,04 €
33	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 16" x 10" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	237,16	237,16 €
34	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 3" x 2" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	7,65	7,65 €
35	Ud. Suministro de reducción concéntrica de 3" x 1 1/2" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	8,99	8,99 €
36	Ud. Suministro de reducción excéntrica de 22" x 16" de acero al carbono A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	357,44	357,44 €
37	Ud. Suministro de brida tipo S.W. de 150# R.F. de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	6,10	12,20 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
38	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 1 1/2" schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	18,64	18,64 €
39	Ud. Suministro de brida tipo S.W. de 150# R.F. de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	15	7,25	108,75 €
40	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 2" de schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	18,62	18,62 €
41	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 3" de schedule 80 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	15	35,45	531,75 €
42	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 6" con schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	18,28	18,28 €
43	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 6" con schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5	22,25	111,25 €
44	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 8" de schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5	29,54	147,70 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
45	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 8" de schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7	38,70	270,90 €
46	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 30 de acero inoxidable A-316L y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	86,68	260,04 €
47	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 20 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	38,16	114,48 €
48	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	30	46,52	1.395,60 €
49	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 10" de schedule 40 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	35	53,70	1.879,50 €
50	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 12" de schedule 30 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7	76,19	533,33 €
51	Ud. Suministro de brida tipo W.N. de 150# R.F. de 22" de schedule 20 de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	249,43	249,43 €
52	Ud. Suministro de te igual de 10" de acero al carbono laminado A-234 WPB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	383,62	1.150,86 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
53	Ud. Suministro de disco medidor de flujo de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	8	318,00	2.544,00 €
54	Ud. Suministro de termopar en tuberías y cambiadores, de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	30	1.148,00	34.440,00 €
55	Ud. Suministro de manómetro para tuberías y cambiadores, de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	22	98,00	2.156,00 €
56	Ud. Suministro de niveles visuales de acero inoxidable y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	7	650,00	4.550,00 €
57	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	26	897,01	23.322,26 €
58	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 6" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	406,80	813,60 €
59	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 8" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	3	590,46	1.771,38 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
60	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 12" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	1.139,48	2.278,96 €
61	Ud. Suministro de válvula de compuerta S.W. de 800# de 1 1/4" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	42,67	85,34 €
62	Ud. Suministro de válvula de compuerta S.W. de 800# de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5	71,00	355,00 €
63	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	5	112,52	562,60 €
64	Ud. Suministro de válvula de compuerta de 150# R.F. de 3" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	182,40	729,60 €
65	Ud. Suministro de válvula de retención de 150# R.F. de 3" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	141,58	141,58 €
66	Ud. Suministro de válvula de retención de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	904,85	904,85 €
67	Ud. Suministro de válvula de globo de 150# R.F. de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	1.384,98	1.384,98 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
68	Ud. Suministro de válvula automática de control de 2" de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	2	3.584,00	7.168,00 €
69	Ud. Suministro de válvula automática de control de 10" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	6.200,00	24.800,00 €
70	Ud. Suministro de válvula automática de control de 12" de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	7.500,00	7.500,00 €
71	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 1 1/2" x 2" de 150# R.F. de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	845,00	3.380,00 €
72	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 3/4" x 1" de 3000# NPT de acero al carbono y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	4	612,00	2.448,00 €
73	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 3" x 4" de 150# R.F. de acero al carbono A-216 WCB y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	1.014,00	1.014,00 €
74	Ud. Suministro de válvula de seguridad PSV de 4" x 6" de 150# R.F. de acero al carbono A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	1.250,00	1.250,00 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
75	Ud. Suministro de weldolet de 10" x 3" de acero al carbono laminado A-105 y equivalentes o similar, todo ello según los planos correspondientes (Nº 2 y Nº 3) e incluyendo transporte a obra.	1	28,50	28,50 €
76	Ud. Suministro columna C-01 totalmente fabricada s/ plano de diseño Nº 4, incluyendo faldón, silletas, distribuidores, conexiones y soportes internos para el relleno, así como también se incluyen juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	63.232,00	63.232,00 €
77	Ud. Suministro cambiador de calor E-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 5, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	26.264,00	26.264,00 €
78	Ud. Suministro cambiador de calor E-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 6, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	33.530,00	33.530,00 €
79	Ud. Suministro cambiador de calor E-03 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 7, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	15.628,00	15.628,00 €
80	Ud. Suministro cambiador de calor E-04 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 8, incluyendo haz tubular, deflectores internos, juntas especiales, conexiones, separadores y cunas, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	18.526,00	18.526,00 €
81	Ud. Suministro botellón V-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño Nº 9, incluyendo distribuidor, rebosaderos internos, conexiones, cunas y rigidizadores, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	38.839,00	38.839,00 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
82	Ud. Suministro botellón V-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño N° ---, incluyendo conexiones, cunas y rigidizadores, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	4.793,00	4.793,00 €
83	Ud. Suministro filtro F-01 totalmente fabricado s/ plano de diseño N° ---, incluyendo conexiones, perfiles para soportación, placa soporte y cartuchos filtrantes, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	14.581,00	14.581,00 €
84	Ud. Suministro filtro F-02 totalmente fabricado s/ plano de diseño N° ---, incluyendo conexiones, perfiles para soportación, soportes y carbón activo filtrante para el primer uso, así como también van incluidas juntas y tornillería para el posterior montaje en obra, y conexionado a tubería. Incluye transporte a obra.	1	13.826,00	13.826,00 €
85	Ud. Suministro bomba B-01 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 8x8x9 . Incluye transporte a obra.	1	3.227,00	3.227,00 €
86	Ud. Suministro bomba B-02 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 6x8x13H . Incluye transporte a obra.	1	2.527,25	2.527,25 €
87	Ud. Suministro bomba B-03 totalmente fabricada s/ catálogo de G. I. Ercole Marelli, modelo SMKO y tamaño 1 1/2x2x8H . Incluye transporte a obra.	1	736,00	736,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO SUMINISTRO</b>				<b>524.255,09 €</b>

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
<b>7.1.2 PREFABRICACIÓN TUBERIAS</b>				
88	Kg. Prefabricación conjunto de tuberías en acero al carbono de diversos espesores, incluidos accesorios de fijación, uniones y juntas estancas, venteos, drenajes y tornillería.	26.320	2,00	52.640,00 €
89	Kg. Prefabricación de conjunto de tuberías en acero inoxidable de diversos espesores, incluidos accesorios de fijación, uniones y juntas estancas, venteos, drenajes y tornillería.	622	2,40	1.492,13 €
TOTAL CAPÍTULO FABRICACIÓN				54.132,13 €
<b>7.1.3 MONTAJE</b>				
90	Kg. Montaje de columna totalmente instalada incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, suministro y colocación de relleno y dispositivos interiores y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	104.900	1,50	157.350,00 €
91	Kg. Montaje de cambiadores de calor de carcasa y tubos totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, suministro y colocación de tubos y dispositivos internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	38.930	2,10	81.753,00 €
92	Kg. Montaje de recipientes totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, dispositivos internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	20.450	1,40	28.630,00 €
93	Kg. Montaje de filtros totalmente instalados incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, material filtrante, dispositivos de soporte internos y cegado de las bocas de hombre y conexiones que lo precisen.	5.950	2,10	12.495,00 €
94	Kg. Montaje de bombas totalmente instaladas incluyendo nivelación, apriete de pernos de anclaje, dispositivos de soporte internos y alineación del motor.	770	4,50	3.465,00 €
95	Kg. Montaje de tuberías de acero al carbono totalmente instaladas, incluyendo accesorios, valvulería y elementos de control.	26.320	3,70	97.384,00 €
96	Kg. Montaje de tuberías de acero inoxidable totalmente instaladas. incluyendo accesorios, valvulería y elementos de control.	622	5,10	3.172,20 €
TOTAL CAPÍTULO MONTAJE EN OBRA				384.249,20 €

Nº	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	P. UNIT	IMPORTE
<b><u>7.1.4 PINTURA</u></b>				
97	Kg. Aplicación de pintura en equipos para acabado consistente en 2 capas de 40 micras de poliuretano alifático S/ UNE-48274	52.131	0,20	10.426,20 €
98	Kg. Aplicación de pintura en el conjunto de tuberías para acabado consistente en 2 capas de 40 micras de poliuretano alifático S/ UNE-48274	16.320	0,40	6.528,00 €
TOTAL CAPÍTULO PINTURA				16.954,20 €
<b><u>7.1.5 IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD</u></b>				
99	P.A. correspondiente a equipos de protección individual según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud.	1	15.839,80	15.839,80 €
100	P.A. correspondiente a protecciones colectivas según los requerimientos especificados en el estudio básico de seguridad y salud.	1	23.614,40	23.614,40 €
101	P.A. correspondiente a protecciones de caídas de altura según los requerimientos especificados en el estudio básico de seguridad y salud.	1	5.483,40	5.483,40 €
102	P.A. correspondiente a equipos de protección eléctrica según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud.	1	4.625,00	4.625,00 €
103	P.A. correspondiente a servicios de higiene y bienestar según los requerimientos incluidos en el estudio básico de seguridad y salud, así como gastos en formación y reuniones de coordinación.	1	24.208,00	24.208,00 €
TOTAL CAPÍTULO PLAN DE SEGURIDAD				73.770,60 €

## 7.2 PRESUPUESTOS PARCIALES

TOTAL CAPÍTULO 7.1.1 SUMINISTRO	524.255,09 €
TOTAL CAPÍTULO 7.1.2 FABRICACIÓN	54.132,13 €
TOTAL CAPÍTULO 7.1.3 MONTAJE	384.249,20 €
TOTAL CAPÍTULO 7.1.4 PINTURA	16.954,20 €
TOTAL CAPÍTULO 7.1.5 PLAN DE SEGURIDAD	73.770,60 €

## 7.3 PRESUPUESTO GENERAL DE EJECUCIÓN MATERIAL

	1.053.361,21 €
Beneficio industrial 15 %	158.004,18 €
Gastos generales 6%	63.201,67 €

## 7.4 PRESUPUESTO GENERAL DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

	1.274.567,07 €
Redacción y Visado de Proyecto 2,5 %	31.864,18 €
Dirección de Obra 1,5 %	19.118,51 €
Impuestos 16%	203.930,73 €

## 7.5 RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO

1.529.480,48 €

EL PRESUPUESTO DEL PRESENTE PROYECTO ASCIENDE A LA CANTIDAD DE: **UN MILLÓN  
QUINIENTOS VEINTINUEVE MIL CUATROCIENTOS OCHENTA EUROS Y CUARENTA Y OCHO  
CÉNTIMOS**



FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO Nº 8

# **ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## 8.0.- INDICE DEL ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

	<u>Página</u>
<b>8.0. Índice del Estudio Básico de Seguridad y Salud</b>	<b>1</b>
<b>8.1.- Objeto del presente estudio</b>	<b>4</b>
8.1.1.- Objeto del presente estudio de Seguridad y Salud.	4
8.1.2.- Establecimiento posterior de un Plan de Seguridad y Salud en la obra.	4
<b>8.2.- Identificación de la obra</b>	<b>4</b>
8.2.1.- Tipo de obra.	4
8.2.2.- Situación del terreno y/o locales de la obra.	4
8.2.3.- Servicios y redes de distribución afectados por la obra.	5
<b>8.3.- Estudio de seguridad y salud.</b>	<b>5</b>
8.3.1.- Autor del Estudio de Seguridad y Salud.	5
8.3.2.- Coordinador de Seguridad y Salud en fase de elaboración de proyecto.	5
8.3.3.- Número de trabajadores.	5
8.3.4.- Relación resumida de los trabajos a realizar.	6
<b>8.4.- Fases de obra a desarrollar con identificación de riesgos.</b>	<b>6</b>
<b>8.5.- Relación de medios previstos con identificación de riesgos.</b>	<b>8</b>
8.5.1.- Maquinaria.	8
8.5.2.- Medios de transporte.	10
8.5.3.- Medios Auxiliares.	12

	<u><b>Página</b></u>
8.5.4.- Herramientas (manuales, eléctricas, neumáticas, etc.)	14
8.5.5.- Tipos de energía a utilizar.	17
8.5.6.- Materiales.	18
<b>8.6.- Medidas de prevención de los riesgos.</b>	<b>19</b>
8.6.1.- Protecciones colectivas.	19
8.6.2.- Equipos de protección individual (EPIS).	34
8.6.3.- Protecciones especiales en relación con las diferentes fases de obra.	37
8.6.4.- Normativa a aplicar en las fases del estudio.	41
8.6.5.- Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras	47
8.6.6.- Obligaciones del empresario en materia formativa antes de iniciar los trabajos.	62
8.6.7.- Mantenimiento preventivo.	64
8.6.8.- Instalaciones generales de higiene.	67
8.6.9.- Vigilancia de la Salud y Primeros Auxilios.	69
8.6.10.- Directrices generales para la prevención de riesgos dorsolumbares.	71
<b>8.7.- Legislación afectada.</b>	<b>72</b>
8.7.1. Legislación	72
8.7.2. Normativas	74
8.7.3. Convenios	75
<b>8.8.- Pliegos de condiciones.</b>	<b>76</b>
8.8.1. Condiciones de naturaleza facultativa	76
8.8.2. Condiciones de naturaleza técnica	80
8.8.3. Condiciones de naturaleza legal	84
8.8.4. Condiciones de naturaleza económica	85



**Página**

<b>8.9.-Mediciones y presupuesto del proyecto de seguridad y salud.</b>	<b>85</b>
<b>8.10.- Planos.</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO</b>	<b>87</b>

## **8.1.- OBJETO DEL PRESENTE ESTUDIO.**

### **8.1.1. OBJETO DEL PRESENTE ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.**

El presente Estudio de Seguridad y Salud (E.S.S.) tiene como objeto servir de base para que las Empresas Contratistas y cualesquiera otras que participen en la ejecución de las obras a que hace referencia el proyecto en el que se encuentra incluido este Estudio, las lleven a efecto en las mejores condiciones que puedan alcanzarse respecto a garantizar el mantenimiento de la salud, la integridad física y la vida de los trabajadores de las mismas, cumpliendo así lo que ordena en su articulado el R.D. 1627/97 de 24 de Octubre (B.O.E. de 25/10/97).

### **8.1.2. ESTABLECIMIENTO POSTERIOR DE UN PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN LA OBRA.**

El Estudio de Seguridad y Salud, debe servir también de base para que las Empresas Contratistas, Subcontratistas y trabajadores autónomos que participen en las obras, antes del comienzo de la actividad en las mismas, puedan elaborar un Plan de Seguridad y Salud tal y como indica el articulado del Real Decreto citado en el punto anterior.

En dicho Plan podrán modificarse algunos de los aspectos señalados en este Estudio con los requisitos que establece la mencionada normativa. El citado Plan de Seguridad y Salud es el que, en definitiva, permitirá conseguir y mantener las condiciones de trabajo necesarias para proteger la salud y la vida de los trabajadores durante el desarrollo de las obras que contempla este E.S.S.

## **8.2.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

### **8.2.1 TIPO DE OBRA.**

La obra, objeto de este E.S.S, consiste en la ejecución de las diferentes fases de obra e instalaciones para desarrollar el montaje de planta de aminas.

### **8.2.2 SITUACION DEL TERRENO.**

Instalaciones de Refinería Gibraltar Cepsa.

Ciudad: San Roque

Provincia: Cádiz

### 8.2.3 SERVICIOS Y REDES DE DISTRIBUCION AFECTADOS POR LA OBRA.

Antes de emitir el Plan de Seguridad, el técnico autor del mismo debe conocer perfectamente las instalaciones que puedan afectarle durante el proceso de ejecución del montaje e instalaciones contratados.

A partir de ello, deberá consultar con Coordinador de Obra y proponer la forma de evitar interferencias con dichos servicios.

A continuación se especifican, de forma indicativa, los servicios que pueden verse afectados.

- Red de agua potable
- Red subterránea de electricidad
- Red aérea de electricidad
- Red de suministros de gas
- Red de saneamiento
- Red de suministro de vapor
- 

### **8.3.- ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.**

#### 8.3.1 AUTOR DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

Nombre y Apellidos: Macarena Vargas Marín

Ciudad: Los Barrios

Provincia: Cádiz

#### 8.3.2 PLAZO DE EJECUCIÓN ESTIMADO.

El plazo de ejecución se estima en 12 meses.

#### 8.3.3 NÚMERO DE TRABAJADORES.

Durante la ejecución de las obras se estima la presencia en la obra de entre 100 y 300 trabajadores.

#### 8.3.4 RELACIÓN RESUMIDA DE LOS TRABAJOS A REALIZAR

Mediante la ejecución de las fases de obra componen la parte técnica del proyecto al que se adjunta este E.S.S., se pretende la realización de todos aquellos montajes e instalaciones encaminados a la puesta en servicio de la nueva planta de aminas.

Concretamente, este estudio se redacta para las siguientes áreas:

- Planta de energía
- Talleres de mantenimiento
- Racks de tuberías
- Trabajos complementarios

Se partirá de una situación en la que los trabajos de obra civil necesarios para la instalación de los equipos deberán estar completamente terminados, por lo que no deberán existir interferencias con otras empresas que no sean las dedicadas al montaje.

Por lo expuesto anteriormente, este estudio de seguridad únicamente hace referencia al montaje de los equipos y no a la obra civil necesaria para este montaje.

#### **8.4.- FASES DE OBRA CON IDENTIFICACION DE RIESGOS.**

Como pauta general de funcionamiento, antes del comienzo de los trabajos, deberá efectuarse un replanteo previo de los trabajos a realizar con el fin de detectar los riesgos que previsiblemente no se hayan detectado en la elaboración del Plan de Seguridad y comprobar que los medios de protección previstos en el mismo son los necesarios y suficientes para ejecutar los trabajos sin ningún tipo de riesgo.

Este replanteo inicial se efectuará por parte de los Contratistas, el Técnico de Refinería Gibraltar responsable del proyecto y el Coordinador de Seguridad durante el montaje.

Los equipos e instalaciones por áreas, son los siguientes:

- Planta de energía
  - Instalación de Alta Tensión
  - Instalación de Media Tensión

- Instalación de Baja Tensión
- Sistema de control
- Montaje de equipos mecánicos
  - Tuberías
  - Válvulas
  - Intercambiadores
  - Bombas
  - Depósitos
  - Columnas
  - Redes de vapor
  - Circuitos de refrigeración
  - Redes de agua
- Turbina de gas
- Caldera
- Pruebas y puesta en marcha de todas las instalaciones
- ◆ Racks de tuberías
  - Modificación de puentes existentes
  - Construcción de nuevos puentes
  - Conexiones de tuberías
  - Pruebas hidráulicas y puesta en marcha
- ◆ Talleres de mantenimiento
  - Puentes grúa
  - Equipos de trabajo
  - Instalación eléctrica
  - Pruebas y puesta en marcha

Debido a la complejidad de diferenciar diferentes fases de obra durante el montaje de los equipos (estáticos y dinámicos), se ha considerado, para la realización de este estudio, una única fase de obra con diferentes tipos de trabajos, analizando los riesgos y medidas preventivas inherentes a este tipo de trabajos.

Con carácter general a todos los montajes, se han detectado los siguientes riesgos:

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caída ó colapso de andamios.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Proyección de fragmentos (cuerpos extraños en ojos).
- Desprendimientos.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.
- Contactos térmicos

#### **8.5.- RELACIÓN DE MEDIOS PREVISTOS CON IDENTIFICACION DE RIESGOS.**

Se describen, a continuación, los medios que se prevé utilizar para el desarrollo de este proyecto.

De conformidad con lo indicado en el R.D. 1627/97 de 24/10/97 se identifican los riesgos inherentes a tales medios técnicos.

### 8.5.1 MAQUINARIA.

- ◆ Carga y descarga de materiales.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Vuelco de máquinas y/o camiones.
  
- ◆ Camión grúa.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Ruido.
  - Vuelco de máquinas y/o camiones.
  
- ◆ Carretillas elevadoras.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos.
  - Ruido.

- Vuelco de máquinas por sobrecarga.
- ◆ Grúa hidráulica autopropulsada.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  - Derrumbamientos al apilar materiales.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Vuelco de máquinas y/o camiones.
- ◆ Grupo electrógeno.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Ruido.
- ◆ Sierra de metales (radial) .
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Atrapamientos.
  - Cuerpos extraños en ojos.

#### 8.5.2 MEDIOS DE TRANSPORTE

- ◆ Carretilla manual.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.

- ◆ Cuerdas de izado, eslingas.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Atrapamientos.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  
- ◆ Pasarelas, planos inclinados.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  
- ◆ Plataformas de descarga y acopio de materiales.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Derrumbamientos.
  - Desprendimientos.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  
- ◆ Plataformas elevadoras automotoras.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Vuelco de máquinas.

- ◆ Ternaes, trócolas, poleas, cuerdas de izado, polipastos, eslingas, estrobos.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.

### 8.5.3 MEDIOS AUXILIARES

- ◆ Andamio colgante.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caída ó colapso de andamios.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Pisada sobre objetos punzantes.
  - Sobreesfuerzos.
  - Caída de personas de altura.
- ◆ Andamios de estructura tubular.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caída ó colapso de andamios.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Caída de personas de altura.
  
- ◆ Andamios móviles.
  - Atrapamientos.
  - Atropellos y/o colisiones.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caída ó colapso de andamios.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Pisada sobre objetos punzantes.
  - Sobreesfuerzos.
  - Caída de personas de altura.
  
- ◆ Escaleras de mano.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.
  - Caídas de personas al mismo nivel.
  
- ◆ Pasarelas para superar huecos horizontales.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  
- ◆ Redes.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.

- Caídas de personas al mismo nivel.
  - Desprendimientos.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Caída de personas de altura.
- ◆ Útiles y herramientas accesorias.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 8.5.4 HERRAMIENTAS

- ◆ Equipo de soldadura autónoma y oxicorte.
- Quemaduras físicas y químicas.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Explosiones.
  - Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
  - Incendios.
  - Inhalación de sustancias tóxicas.
- ◆ Soplete de butano ó propano.
- Quemaduras físicas y químicas.
  - Atmósfera anaerobia (con falta de oxígeno) producida por gases inertes.
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Deflagraciones.
  - Explosiones.
  - Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

- Incendios.
- Inhalación de sustancias tóxicas.
- ◆ Chequeador portátil de la instalación (Polímetro, Telurómetro, etc.).
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
- ◆ Compresor.
  - Atrapamientos.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Explosiones.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Ruido.
- ◆ Grupo de soldadura.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Atmósfera anaerobia (con falta de oxígeno) producida por gases inertes.
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Incendios.

- Inhalación de sustancias tóxicas.
- ◆ Taladradora.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Ambiente pulvígeno.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
- ◆ Curvadora de tubos.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Aplastamientos.
  - Atrapamientos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Ruido.
- ◆ Gatos hidráulicos.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Atrapamientos.
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
  - Ruido.

### 8.5.5 TIPOS DE ENERGÍA

- ◆ Agua a presión.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Inundaciones.
  
- ◆ Aire comprimido.
  - Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Cuerpos extraños en ojos.
  - Explosiones.
  - Ruido.
  - Trauma sonoro.
  
- ◆ Combustibles gaseosos y comburentes (oxígeno y acetileno)
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Deflagraciones.
  - Explosiones.
  - Incendios.
  - Inhalación de sustancias tóxicas.
  
- ◆ Combustibles líquidos (gasoil, gasolina).
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Deflagraciones.
  - Explosiones.
  - Incendios.
  - Inhalación de sustancias tóxicas.
  
- ◆ Electricidad.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Contactos eléctricos directos.

- Contactos eléctricos indirectos.
- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Incendios.
- ◆ Esfuerzo humano.
  - Sobreesfuerzos.
- ◆ Gases inertes (dióxido de carbono, nitrógeno y Argón).
  - Atmósfera anaerobia (con falta de oxígeno) producida por gases inertes.
- ◆ Motores de explosión.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Explosiones.
  - Incendios.
  - Inhalación de sustancias tóxicas.
  - Sobreesfuerzos.
- ◆ Motores eléctricos.
  - Quemaduras físicas y químicas.
  - Contactos eléctricos directos.
  - Contactos eléctricos indirectos.
  - Incendios.

#### 8.5.6 MATERIALES

- ◆ Barnices y pinturas
  - Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Incendios.
  - Inhalación de sustancias tóxicas.
- ◆ Cables tensores (vientos)
  - Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Caídas de personas a distinto nivel.

- Caídas de personas al mismo nivel.
  - Golpe por rotura de cable.
  - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Sobreesfuerzos.
- ◆ Disolventes, desengrasantes, desoxidantes
    - Quemaduras físicas y químicas.
    - Atmósferas tóxicas, irritantes.
    - Incendios.
    - Inhalación de sustancias tóxicas.
- ◆ Vigas metálicas distintos espesores
    - Caída de objetos y/o de máquinas.
    - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
    - Pisada sobre objetos.
    - Sobreesfuerzos.
- ◆ Tuberías en distintos materiales (cobre, hierro, PVC, aleaciones) y accesorios
    - Aplastamientos.
    - Atrapamientos.
    - Caídas de personas al mismo nivel.
    - Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
    - Sobreesfuerzos.

## **8.6.- MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS**

### **8.6.1 PROTECCIONES COLECTIVAS**

#### **Señalización**

El Real Decreto 485/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que deberá utilizarse una señalización de seguridad y salud a fin de:

- A) Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- B) Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.
- C) Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- D) Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

Tipos de señales:

- a) En forma de panel:

Señales de advertencia

- Forma: Triangular
- Color de fondo: Amarillo
- Color de contraste: Negro
- Color de Símbolo: Negro

Señales de prohibición:

- Forma: Redonda
- Color de fondo: Blanco
- Color de contraste: Rojo
- Color de Símbolo: Negro

Señales de obligación:

- Forma: Redonda
- Color de fondo: Azul

Color de Símbolo: Blanco

Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios:

Forma: Rectangular o cuadrada:

Color de fondo: Rojo

Color de Símbolo: Blanco

Señales de salvamento o socorro:

Forma: Rectangular o cuadrada:

Color de fondo: Verde

Color de Símbolo: Blanco

#### Cinta de señalización

En caso de señalar obstáculos, zonas de caída de objetos, caída de personas a distinto nivel, choques, golpes, etc., se señalará con los antes dichos paneles o bien se delimitará la zona de exposición al riesgo con cintas de tela o materiales plásticos con franjas alternadas oblicuas en color amarillo y negro, inclinadas 45°.

#### Cinta de delimitación de zona de trabajo

Las zonas de trabajo se delimitarán con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.

## **Iluminación (anexo IV del R.D. 486/97 de 14/4/97)**

### Zonas o partes del lugar de trabajo

<b>Zonas donde se ejecuten tareas con:</b>	<b>Nivel mínimo de iluminación (lux)</b>
Baja exigencia visual	100
Exigencia visual moderada	200
Exigencia visual alta	500
Exigencia visual muy alta	1.000
Áreas o locales de uso ocasional	25
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando concurren las siguientes circunstancias:

En áreas o locales de uso general y en las vías de circulación, cuando por sus características, estado u ocupación, existan riesgos apreciables de caídas, choque u otros accidentes.

En las zonas donde se efectúen tareas, y un error de apreciación visual durante la realización de las mismas, pueda suponer un peligro para el trabajador que las ejecuta o para terceros.

Los accesorios de iluminación exterior serán estancos a la humedad.

Portátiles manuales de alumbrado eléctrico: 24 voltios.

Prohibición total de utilizar iluminación de llama.

### Protección de personas en instalación eléctrica

Instalación eléctrica ajustada al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y hojas de interpretación, certificada por instalador autorizado.

En aplicación de lo indicado en el apartado 3A del Anexo IV al R.D. 1627/97 de 24/10/97, la instalación eléctrica deberá satisfacer, además, las siguientes condiciones:

- Deberá proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañe peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

- El proyecto, la realización y la elección del material y de los dispositivos de protección deberán tener en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones de los factores externos y la competencia de las personas que tengan acceso a partes de la instalación.
- Los cables serán adecuados a la carga que han de soportar, conectados a las bases mediante clavijas normalizadas, blindados e interconexionados con uniones antihumedad y antichoque. Los fusibles blindados y calibrados según la carga máxima a soportar por los interruptores.
- Continuidad de la toma de tierra en las líneas de suministro interno de obra con un valor máximo de la resistencia de 80 Ohmios. Las máquinas fijas dispondrán de toma de tierra independiente.
- Las tomas de corriente estarán provistas de conductor de toma a tierra y serán blindadas.
- Todos los circuitos de suministro a las máquinas e instalaciones de alumbrado estarán protegidos por fusibles blindados o interruptores magnetotérmicos y disyuntores diferenciales de alta sensibilidad en perfecto estado de funcionamiento.
- Distancia de seguridad a líneas de Alta Tensión:  $3,3 + \text{Tensión (en kV)} / 100$  (ante el desconocimiento del voltaje de la línea, se mantendrá una distancia de seguridad de 5 m.).

Trabajos en condiciones de humedad muy elevadas o muy alta conductividad:

Es preceptivo el empleo de transformador portátil de seguridad de 24 V o protección mediante transformador de separación de circuitos.

Se acogerá a lo dispuesto en la MIBT 028 (locales mojados).

### **Andamios tubulares apoyados en el suelo**

Los andamios deberán proyectarse, construirse y mantenerse convenientemente de manera que se evite que se desplomen o se desplacen accidentalmente (R.D. 2177/04 de 12/11/04 y Anexo IV del R.D. 1627/97 de 24/10/97).

Previamente a su montaje se habrán de examinar en obra que todos sus elementos no tengan defectos apreciables a simple vista, calculando con un coeficiente de seguridad igual o superior a 4 veces la carga máxima prevista de utilización.

Las operaciones de montaje, utilización y desmontaje serán realizadas por personal especializado, estarán dirigidas por persona competente para desempeñar esta tarea, y estará autorizado para ello. Serán revisados periódicamente y después de cada modificación, periodo de no utilización, exposición a la intemperie o cualquier otra circunstancia que pudiera afectar a su resistencia o estabilidad.

En el andamio tubular no se deberá aplicar a los pernos un par de apriete superior al fijado por el fabricante, a fin de no sobrepasar el límite elástico del acero restando rigidez al nudo. Se comprobará especialmente que los módulos de base queden perfectamente nivelados, tanto en sentido transversal como longitudinal.

Durante el montaje se comprobará que todos los elementos verticales y horizontales del andamio estén unidos entre sí y arrojados con las diagonales correspondientes.

Se comprobará durante el montaje la verticalidad de los montantes. La longitud máxima de los montantes para soportar cargas superiores a  $125 \text{ Kg/m}^2$ , no será superior a 1,80 m.

Para soportar cargas inferiores a  $125 \text{ Kg/m}^2$ , la longitud máxima de los montantes será de 2,30 m.

Se comprobará durante el montaje la horizontalidad entre largueros. La distancia vertical máxima entre largueros consecutivos no será superior a 2 m.

Los montantes y largueros estarán grapados sólidamente a la estructura, tanto horizontal como verticalmente, cada 3 m como mínimo. Únicamente pueden instalarse aisladamente los andamios

de estructura tubular cuando la plataforma de trabajo esté a una altura no superior a cuatro veces el lado más pequeño de su base.

En el andamio de pórticos, se respetará escrupulosamente las zonas destinadas a albergar las zancas interiores de escaleras así como las trampillas de acceso al interior de las plataformas.

En el caso de tratarse de algún modelo carente de escaleras interiores, se dispondrá lateralmente y adosada, una torre de escaleras completamente equipada, o en último extremo una escalera "de gato" adosada al montante del andamio, equipada con aros salvacaídas o sirga de amarre tensada verticalmente para anclaje del dispositivo de deslizamiento y retención del cinturón anticaídas de los operarios.

Las plataformas de trabajo serán las normalizadas por el fabricante para sus andamios y no se depositarán cargas sobre los mismos salvo en las necesidades de uso inmediato y con las siguientes limitaciones:

- Quedará un pasaje mínimo de 0,60 m libre de todo obstáculo (anchura mínima de la plataforma con carga 0,80 m).
- El peso sobre la plataforma de los materiales, máquina, herramientas y personas, será inferior a la carga de trabajo prevista por el fabricante.
- Reparto uniforme de cargas, sin provocar desequilibrios.
- La barandilla perimetral dispondrá de todas las características reglamentarias de seguridad enunciadas anteriormente.

El piso de la plataforma de trabajo sobre los andamios tubulares de pórtico, será la normalizada por el fabricante. En aquellos casos que excepcionalmente se tengan que realizar la plataforma con madera, responderán a las características establecidas más adelante.

Bajo las plataformas de trabajo se señalará o balizará adecuadamente la zona prevista de caída de materiales u objetos.

Se inspeccionará semanalmente el conjunto de los elementos que componen el andamio, así como después de un período de mal tiempo, heladas o interrupción importante de los trabajos.

No se permitirá trabajar en los andamios sobre ruedas, sin la previa inmovilización de las mismas, ni desplazarlos con persona alguna o material sobre la plataforma de trabajo.

El espacio horizontal entre un paramento vertical y la plataforma de trabajo, no podrá ser superior a 0,30 m, distancia que se asegurará mediante el anclaje adecuado de la plataforma de trabajo al paramento vertical. Excepcionalmente la barandilla interior del lado del paramento vertical podrá tener en este caso 0,60 m de altura como mínimo.

Las pasarelas o rampas de intercomunicación entre plataformas de trabajo tendrán las características enunciadas más adelante.

### **Señales óptico-acústicas de vehículos de obra**

Las máquinas autoportantes que puedan intervenir en las operaciones de mantenimiento deberán disponer de:

- Una bocina o claxon de señalización acústica cuyo nivel sonoro sea superior al ruido ambiental, de manera que sea claramente audible; si se trata de señales intermitentes, la duración, intervalo y agrupación de los impulsos deberá permitir su correcta identificación. Anexo IV del R.D. 485/97 de 14/4/97.
- Señales sonoras o luminosas (previsiblemente ambas a la vez) para indicación de la maniobra de marcha atrás. Anexo I del R.D. 1215/97 de 18/7/97.
- Los dispositivos de emisión de señales luminosas para uso en caso de peligro grave deberán ser objeto de revisiones especiales o ir provistos de una bombilla auxiliar.
- En la parte más alta de la cabina dispondrán de un señalizado rotativo luminoso destellante de color ámbar para alertar de su presencia en circulación viaria.
- Dos focos de posición y cruce en la parte delantera y dos pilotos luminosos de color rojo detrás.

- Dispositivo de balizamiento de posición y preseñalización (laminas, conos, cintas, mallas, lámparas destellantes, etc.).

### **Aparatos elevadores**

Deberán ajustarse a su normativa específica, pero en cualquier caso, deberán satisfacer igualmente las condiciones siguientes (art. 6C del Anexo IV del R.D. 1627/97):

- Todos sus accesorios serán de buen diseño y construcción, teniendo resistencia adecuada para el uso al que estén destinados
- Instalarse y usarse correctamente
- Mantenerse en buen estado de funcionamiento
- Ser manejados por trabajadores cualificados que hayan recibido formación adecuada
- Presentarán, de forma visible, indicación sobre la carga máxima que puedan soportar
- No podrán utilizarse para fines diferentes de aquellos a los que estén destinados.

Durante la utilización de los mencionados aparatos elevadores, en aras a garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, deberán comprobarse los siguientes sistemas preventivos:

#### Seguridad de traslación:

Se coloca en la parte inferior de la grúa torre, adosada a la base y consiste normalmente en un microrruptor tipo "lira" o similar, que al ser accionado por un resbalón colocado en ambos extremos de la vía, detiene la traslación de la grúa en el sentido deseado y permite que se traslade en sentido opuesto. Los resbalones se colocan como mínimo 1 m antes de los topes de la vía y éstos un metro antes del final del carril, de esta forma queda asegurada eléctrica y mecánicamente la parada correcta de la traslación de la grúa.

### Seguridad de momento de vuelco:

Es la medida preventiva más importante de la grúa, dado que impide el trabajar con cargas y distancias que pongan en peligro la estabilidad de la grúa.

En las grúas torre normales, la seguridad de momento consiste en una barra situada en alguna zona de la grúa que trabaje a tracción (p. e. atado de tirante) y que dicha tracción sea proporcional al momento de vuelco de la carga. En las grúas autodesplegables, éste dispositivo de seguridad va colocado en el tirante posterior. En ambos casos, se gradúa la seguridad de tal forma que no corte con la carga nominal en punta de flecha y corte los movimientos de "elevación y carro adelante", al sobrecargar por encima de la carga nominal en punta de flecha.

En grúas de gran tamaño, puede ser interesante el disponer de dos sistemas de seguridad antivuelco, graduados para carga en punta y en pié de flecha, por variación de sensibilidad.

A su vez, el sistema de seguridad puede ser de una etapa (o corte directo) o de tres etapas con aviso previo (bocina, luz y corte).

### Seguridad de carga máxima:

Es el sistema de protección que impide trabajar con cargas superiores a las máximas admitidas por el cabestrante de elevación, es decir, por la carga nominal del pié de flecha.

Normalmente van montadas en pié de flecha o contraflecha y están formadas por arandelas tipo "Schnrr", accionadas por el tiro del cable de elevación. Al deformarse las arandelas, accionan un microrruptor que impide la elevación de la carga y en algunos modelos, también que el carro se traslade hacia adelante.

Se regulan de forma que con la carga nominal no corten y lo hagan netamente, al sobrepasar esta carga nominal como máximo en un 10%.

### Seguridad de final de recorrido de gancho de elevación:

Consiste en dos microrruptores, que impiden la elevación del gancho cuando éste se encuentra en las cercanías del carro y el descenso del mismo por debajo de la cota elegida como inferior

(cota cero). De ésta forma, se impiden las falsas maniobras de choque del gancho contra el carro y el aflojamiento del cable de elevación por posar el gancho en el suelo.

#### Seguridad de final de recorrido de carro:

Impide que el carro se traslade más adelante o más atrás que los puntos deseados en ambos extremos de la flecha. Su actuación se realiza mediante un reductor que acciona dos levas excéntricas que actúan sobre dos microrruptores, que cortan el movimiento adelante en punta de flecha y atrás en pie de flecha.

Como complemento, y más hacia los extremos, se encuentran los topes elásticos del carro que impiden que éste se salga de las guías, aunque fallen los dispositivos de seguridad.

#### Seguridad de final de recorrido de orientación:

Este sistema de seguridad es de sumo interés cuando se hace preciso regular el campo de trabajo de la grúa en su zona de orientación de barrido horizontal (pe. en presencia de obstáculos tales como edificios u otras grúas). Normalmente consiste en una rueda dentada accionada por la corona y que a través de un reductor, acciona unas levas que actúan sobre los correspondientes microrruptores.

Funciona siempre con un equipo limitador de orientación, que impide que la grúa de siempre vueltas en el mismo sentido. El campo de reglaje es de 1/4 de vuelta a 4 vueltas y permite que la "columna montante" del cable eléctrico no se deteriore por torsión.

En las grúas con cabestrante en mástil o "parte fija" ayuda a la buena conservación del cable de elevación.

#### Anemómetro:

Sirve para avisar y detener la grúa cuando la velocidad del viento sobrepasa determinados valores. Se ajustarán normalmente para avisar (bocina) entre 40 - 50 Km./h y para parar la grúa entre 50 - 60 Km./h.

Consiste en un anemómetro provisto de 2 microrruptores colocados de forma que su accionamiento se efectúe a las velocidades previstas. El anemómetro debe colocarse en los lugares de la grúa más expuestos a la acción del viento (p.e. en punta de torreta).

#### Seguridades eléctricas de sobrecarga:

Sirven para proteger los motores de elevación de varias velocidades, impidiendo que se puedan elevar las cargas pesadas a velocidades no previstas. Para ello, existe un contactor auxiliar que sólo permite pasar por ejemplo de 2ª a 3ª velocidad, cuando la carga en 2ª da un valor en Amperios menor al predeterminado. Este sistema de seguridad suele ser independiente de los relés térmicos.

#### Punteado para paso de simple a doble reenvío:

En las grúas provistas de carro para doble reenvío, es necesario, para efectuar el paso de simple a doble reenvío, o a la inversa, el anular los sistemas de seguridad de final de recorrido de gancho arriba y carro atrás. Esta anulación se consigue pulsando un botón del cuadro de mandos (SHUNTAJE) que anula, puenteándolos, dichos sistemas. Una vez efectuado el paso de simple a doble reenvío, hay que anular nuevamente éste puenteo, mediante la desconexión y una nueva conexión a la grúa.

#### Normas de carácter general, en el uso de aparatos elevadores:

Acoplar adecuados pestillos de seguridad a los ganchos de suspensión de los aparatos elevadores.

Las eslingas llevarán estampilladas en los casquillos prensados la identificación donde constará la carga máxima para la cual están recomendadas, según los criterios establecidos anteriormente en este mismo procedimiento.

De utilizar cadenas estas serán de hierro forjado con un factor de seguridad no inferior a 5 de la carga nominal máxima, según los criterios establecidos anteriormente en este mismo procedimiento.

En las fases de transporte y colocación de los encofrados, en ningún momento los operarios estarán debajo de la carga suspendida. La carga deberá estar bien repartida y las eslingas o cadenas que la sujetan deberán tener argollas ó ganchos con pestillo de seguridad. Deberá tenerse en cuenta lo indicado en el apartado 3 del Anexo II del R.D. 1215/97 de 18/7/97.

El gruista antes de iniciar los trabajos comprobará el buen funcionamiento de los finales de carrera, frenos y velocidades, así como de los licitadores de giro, si los tuviera.

Si durante el funcionamiento de la grúa se observara que los comandos de la grúa no se corresponden con los movimientos de la misma, se dejará de trabajar y se dará cuenta inmediata a la Dirección técnica de la obra o al Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.

Evitar en todo momento pasar las cargas por encima de las personas.

No realizar nunca tiros sesgados.

No deben ser accionados manualmente los contactores e inversores del armario eléctrico de la grúa. En caso de avería deberá ser subsanado por personal especializado.

No se dejará caer el gancho de la grúa al suelo.

Nunca se dará más de una vuelta a la orientación en el mismo sentido, para evitar el retorcimiento del cable de elevación.

Cuando existan zonas del centro de trabajo que no queden dentro del campo de visión del gruista, será asistido por uno o varios trabajadores que darán las señales adecuadas para la correcta carga, desplazamiento y parada. Tales señales son las llamadas “Señales Gestuales Codificadas” que recoge el Anexo VI del R.D. 485/97 de 14/4/97.

Al terminar el trabajo se dejará desconectada la grúa y se pondrá la pluma en veleta. Si la grúa es sobre raíles se sujetará mediante las correspondientes mordazas.

Al término de la jornada de trabajo, se pondrán los mandos a cero, no se dejarán cargas suspendidas y se desconectará la corriente eléctrica en el cuadro secundario.

### **Protección contra caídas de altura de personas u objetos**

El riesgo de caída de altura de personas (precipitación, caída al vacío) es contemplado por el Anexo II del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre de 1.997 como riesgo especial para la seguridad y salud de los trabajadores, por ello, de acuerdo con los artículos 5.6 y 6.2 del mencionado Real Decreto se adjuntan las medidas preventivas específicas adecuadas.

#### Barandillas de protección:

Se utilizarán como cerramiento provisional de huecos verticales y perimetrales de plataformas de trabajo, susceptibles de permitir la caída de personas u objetos desde una altura superior a 2 m; estarán constituidas por balaustre, rodapié de 20 cm de alzada, travesaño intermedio y pasamanos superior, de 90 cm. de altura, sólidamente anclados todos sus elementos entre sí y serán lo suficientemente resistentes.

#### Pasarelas:

En aquellas zonas que sea necesario, el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos, originados por los trabajos se realizarán mediante pasarelas. Serán preferiblemente prefabricadas de metal, o en su defecto realizadas "in situ", de una anchura mínima de 1 m, dotada en sus laterales de barandilla de seguridad reglamentaria: La plataforma será capaz de resistir 300 Kg. de peso y estará dotada de guirnaldas de iluminación nocturna, si se encuentra afectando a zonas de paso de personas o de circulación de vehículos.

#### Escaleras portátiles:

Tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas.

Las escaleras que tengan que utilizarse en obra habrán de ser preferentemente de aluminio o hierro, a no ser posible se utilizarán de madera, pero con los peldaños ensamblados y no clavados. Estará dotadas de zapatas, sujetas en la parte superior, y sobrepasarán en un metro el punto de apoyo superior.

Previamente a su utilización se elegirá el tipo de escalera a utilizar, en función de la tarea a la que esté destinada y se asegurará su estabilidad. No se emplearán escaleras excesivamente cortas ó largas, ni empalmadas.

#### Plataformas elevadoras (PEP):

Se utilizarán para trabajos en altura en los que no sea posible disponer de una superficie de trabajo segura, y deberán disponer de todos los elementos de seguridad en perfecto estado de funcionamiento.

Las personas que las utilicen deberán conocer perfectamente su funcionamiento, y nunca deberán superar su carga máxima de funcionamiento.

Dispondrán de la documentación acreditativa de haber superado las revisiones periódicas, el certificado de conformidad con el R.D. 1215/97 y toda aquella documentación que les sea exigible reglamentariamente.

#### Cable guía y anclaje del arnés de seguridad

Se utilizarán en aquellos casos en los que sea imposible disponer de otros medios de protección para caídas de altura, tales como andamios, carretillas elevadoras, etc.

Deberán ser aprobadas por la coordinación de seguridad antes de su uso.

#### Accesos y zonas de paso del personal, orden y limpieza

Las aperturas de huecos horizontales, deben condenarse con un material resistente, red, mallazo electrosoldado o elemento equivalente cuando no se esté trabajando en sus inmediaciones con independencia de su profundidad o tamaño.

Las armaduras y/o conectores metálicos sobresalientes de las esperas de las mismas estarán cubiertas por resguardos tipo "seta" o cualquier otro sistema eficaz, en previsión de punciones o erosiones del personal que pueda colisionar sobre ellos.

En aquellas zonas que sea necesario, el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos, originados por los trabajos, se realizarán mediante pasarelas.

### **Eslingas de cadena**

El fabricante deberá certificar que disponen de un factor de seguridad 5 sobre su carga nominal máxima y que los ganchos son de alta seguridad (pestillo de cierre automático al entrar en carga). El alargamiento de un 5% de un eslabón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

### **Eslinga de cable**

A la carga nominal máxima se le aplica un factor de seguridad 6, siendo su tamaño y diámetro apropiado al tipo de maniobras a realizar; las gazas estarán protegidas por guardacabos metálicos fijados mediante casquillos prensados y los ganchos serán también de alta seguridad. La rotura del 10 % de los hilos en un segmento superior a 8 veces el diámetro del cable o la rotura de un cordón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

## 8.6.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIS)

A continuación se relacionan los equipos de protección individual que deberán utilizarse en función del tipo de riesgo que están destinados a eliminar.

- ◆ Quemaduras físicas y químicas.
  - Guantes de protección frente a abrasión
  - Guantes de protección frente a agentes químicos
  - Guantes de protección frente a calor
- ◆ Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
  - Calzado con protección contra golpes mecánicos
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos

- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- ◆ Ambiente pulvígeno.
  - Equipos de protección de las vías respiratorias con filtro mecánico
  - Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- ◆ Aplastamientos.
  - Calzado con protección contra golpes mecánicos
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- ◆ Atmósfera anaerobia (con falta de oxígeno) producida por gases inertes.
  - Equipo de respiración autónomo, revisado y cargado
- ◆ Atmósferas tóxicas, irritantes.
  - Equipo de respiración autónomo, revisado y cargado
  - Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
  - Impermeables, trajes de agua
  - Mascarilla respiratoria de filtro para humos de soldadura
- ◆ Atrapamientos.
  - Calzado con protección contra golpes mecánicos
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
  - Guantes de protección
- ◆ Caída de objetos y/o de máquinas.
  - Bolsa portaherramientas
  - Calzado con protección contra golpes mecánicos
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- ◆ Caída ó colapso de andamios.
  - Cinturón de seguridad anticaídas

- ◆ Caídas de personas a distinto nivel.
  - Cinturón de seguridad anticaídas
- ◆ Contactos eléctricos directos.
  - Calzado con protección contra descargas eléctricas
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos eléctricos
  - Gafas de seguridad contra arco eléctrico
  - Guantes dieléctricos
- ◆ Proyección de fragmentos (cuerpos extraños en ojos).
  - Gafas de seguridad contra proyección de líquidos
  - Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- ◆ Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
  - Gafas de oxicorte
  - Gafas de seguridad contra arco eléctrico
  - Gafas de seguridad contra radiaciones
  - Mandil de cuero
  - Manguitos
  - Pantalla facial para soldadura eléctrica, con arnés de sujeción sobre la cabeza y cristales con visor oscuro inactínico
  - Pantalla para soldador de oxicorte
  - Polainas de soldador cubre-calzado
- ◆ Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
  - Bolsa portaherramientas
  - Calzado con protección contra golpes mecánicos
  - Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
  - Chaleco reflectante para señalistas y estrobadores
  - Guantes de protección frente a abrasión

- ◆ Pisada sobre objetos punzantes.
  - Bolsa portaherramientas
  - Calzado de protección con suela antiperforante
- ◆ Incendios.
  - Equipo de respiración autónomo, revisado y cargado
- ◆ Inhalación de sustancias tóxicas.
  - Equipo de respiración autónomo, revisado y cargado
  - Mascarilla respiratoria de filtro para humos de soldadura
- ◆ Vibraciones.
  - Cinturón de protección lumbar
- ◆ Sobreesfuerzos.
  - Cinturón de protección lumbar
- ◆ Ruido.
  - Protectores auditivos
- ◆ Trauma sonoro.
  - Protectores auditivos
- ◆ Caída de personas de altura.
  - Cinturón de seguridad anticaídas

### 8.6.3 PROTECCIONES ESPECIALES

#### Circulación y accesos en obra:

Se estará a lo indicado en el artículo 11 A del Anexo IV del R.D. 1627/97 de 24/10/97 respecto a vías de circulación y zonas peligrosas.

Los accesos de vehículos deben ser distintos de los del personal, en el caso de que se utilicen los mismos se debe dejar un pasillo para el paso de personas protegido mediante vallas.

En ambos casos los pasos deben ser de superficies regulares, bien compactados y nivelados, si fuese necesario realizar pendientes se recomienda que estas no superen un 11% de desnivel. Todas estas vías estarán debidamente señalizadas y periódicamente se procederá a su control y mantenimiento. Si existieran zonas de acceso limitado deberán estar equipadas con dispositivos que eviten el paso de los trabajadores no autorizados.

El paso de vehículos en el sentido de entrada se señalizará con limitación de velocidad a 20 Km./h. y ceda el paso. Se obligará la detención con una señal de STOP en lugar visible del acceso en sentido de salida.

En las zonas donde se prevé que puedan producirse caídas de personas o vehículos deberán ser balizadas y protegidas convenientemente.

Las maniobras de camiones deberán ser dirigidas por un operario competente, y deberán colocarse topes para las operaciones de aproximación en caso de considerarse necesario.

El grado de iluminación natural será suficiente y en caso de luz artificial (durante la noche o cuando no sea suficiente la luz natural) la intensidad será la adecuada, citada en otro lugar de este estudio.

En su caso se utilizarán portátiles con protección antichoques. Las luminarias estarán colocadas de manera que no supongan riesgo de accidentes para los trabajadores (art. 9).

Si los trabajadores estuvieran especialmente expuestos a riesgos en caso de avería eléctrica, se dispondrá iluminación de seguridad de intensidad suficiente.

#### Protecciones y resguardos en máquinas:

Toda la maquinaria utilizada durante la obra, dispondrá de carcasas de protección y resguardos sobre las partes móviles, especialmente de las transmisiones, que impidan el acceso involuntario de personas u objetos a dichos mecanismos, para evitar el riesgo de atrapamiento.

#### Protección contra contactos eléctricos indirectos:

Esta protección consistirá en la puesta a tierra de las masas de la maquinaria eléctrica asociada a un dispositivo diferencial.

El valor de la resistencia a tierra será tan bajo como sea posible, y como máximo será igual o inferior al cociente de dividir la tensión de seguridad (Vs), que en locales secos será de 50 V y en los locales húmedos de 24 V, por la sensibilidad en amperios del diferencial(A).

#### Protecciones contra contacto eléctricos directos:

Los cables eléctricos que presenten defectos del recubrimiento aislante se habrán de reparar para evitar la posibilidad de contactos eléctricos con el conductor.

Los cables eléctricos deberán estar dotados de clavijas en perfecto estado a fin de que la conexión a los enchufes se efectúe correctamente.

Los vibradores estarán alimentados a una tensión de 24 voltios o por medio de transformadores o grupos convertidores de separación de circuitos. En todo caso serán de doble aislamiento.

En general cumplirán lo especificado en el presente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

#### Condiciones preventivas del entorno de la zona de trabajo:

Se comprobará que están bien colocadas las barandillas, redes, mallazo, etc. que se encuentren en la obra, protegiendo la caída de altura de las personas en la zona de trabajo.

No se efectuarán sobrecargas sobre la estructura de los forjados, dejando libres las zonas de paso de personas y vehículos de servicio de la obra.

Debe comprobarse periódicamente el perfecto estado de servicio de las protecciones colectivas colocadas en previsión de caídas de personas u objetos, a diferente nivel, en las proximidades de las zonas de acopio y de paso.

El apilado en altura de los diversos materiales se efectuará en función de la estabilidad que ofrezca el conjunto.

Los pequeños materiales deberán acopiarse a granel en bateas, cubilotes o bidones adecuados, para que no se diseminen por la obra.

Se dispondrá en obra, para proporcionar en cada caso, el equipo indispensable al operario, una provisión de palancas, cuñas, barras, puntales, picos, tablonos, bridas, cables, ganchos y lonas de plástico.

Para evitar el uso continuado de la sierra circular en obra, se procurará que las piezas de pequeño tamaño y de uso masivo en obra (p.e. cuñas), sean realizados en talleres especializados. Cuando haya piezas de madera que por sus características tengan que realizarse en obra con la sierra circular, esta reunirá los requisitos que se especifican en el apartado de protecciones colectivas.

Se dispondrá de un extintor de polvo polivalente junto a la zona de acopio y corte.

#### Acopio de materiales paletizados:

Los materiales paletizados permiten mecanizar las manipulaciones de cargas, siendo en sí una medida de seguridad para reducir los sobreesfuerzos, lumbalgias, golpes y atrapamientos.

También incorporan riesgos derivados de la mecanización, para evitarlos se debe:

- Acopiar los palés sobre superficies niveladas y resistentes.
- No se afectarán los lugares de paso.
- En proximidad a lugares de paso se deben señalizar mediante cintas de señalización.
- La altura de las pilas no debe superar la altura que designe el fabricante.
- No acopiar en una misma pila palés con diferentes geometrías y contenidos.
- Si no se termina de consumir el contenido de un palé se flejará nuevamente antes de realizar cualquier manipulación.

#### Acopio de materiales sueltos:

El abastecimiento de materiales sueltos a obra se debe tender a minimizar, remitiéndose únicamente a materiales de uso discreto.

Los acopios de realizarán sobre superficies niveladas y resistentes.

No se afectarán los lugares de paso.

En proximidad a lugares de paso se deben señalar mediante cintas de señalización.

#### Acopio de botellas de gases licuados de butano o propano:

Los acopios de botellas que contengan gases combustibles a presión se hará de forma que estén protegidas de los rayos del sol y de la humedad, su presencia se señalará con rótulos de "NO FUMAR" y "PELIGRO: MATERIAL INFLAMABLE". Disponiendo de extintores de CO<sub>2</sub>, en sus inmediaciones.

Estarán en dependencias separadas de materiales combustibles, oxidantes y reductores (maderas, gasolina, disolventes, etc.).

#### 8.6.4 NORMATIVA A APLICAR EN LAS FASES DEL ESTUDIO

Exige el R.D. 1627/97 de 24 de Octubre la realización de este Estudio de Seguridad y Salud que debe contener una descripción de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando a tal efecto las medidas preventivas adecuadas; relación de aquellos otros que no han podido evitarse conforme a lo señalado anteriormente, indicando las protecciones técnicas tendentes a reducir los y las medidas preventivas que los controlen. Han de tenerse en cuenta, sigue el R.D., la tipología y características de los materiales y elementos que hayan de usarse, determinación del proceso constructivo y orden de ejecución de los trabajos. Tal es lo que se manifiesta en el Proyecto de Obra al que acompaña este Estudio de Seguridad y Salud.

Sobre la base de lo establecido en este estudio, se elaborará el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (art. 7 del citado R.D.) por el Contratista en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este estudio, en función de su propio

sistema de ejecución de la obra o realización de las instalaciones a que se refiere este Proyecto. En dicho plan se recogerán las propuestas de medidas de prevención alternativas que el contratista crea oportunas siempre que se justifiquen técnicamente y que tales cambios no impliquen la disminución de los niveles de prevención previstos. Dicho plan deberá ser aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras.

A tales personas compete la comprobación, a pie de obra, de los siguientes aspectos técnicos previos:

- Revisión de los planos de la obra o proyecto de instalaciones
- Replanteo
- Maquinaria y herramientas adecuadas
- Medios de transporte adecuados al proyecto
- Elementos auxiliares precisos
- Materiales, fuentes de energía a utilizar
- Protecciones colectivas necesarias, etc.

Entre otros aspectos, en esta actividad se deberá haber ponderado la posibilidad de adoptar alguna de las siguientes alternativas:

- Tender a la normalización y repetitividad de los trabajos, para racionalizarlo y hacerlo más seguro, amortizable y reducir adaptaciones artesanales y manipulaciones perfectamente prescindibles en obra.

- Se procurará proyectar con tendencia a la supresión de operaciones y trabajos que puedan realizarse en taller, eliminando de esta forma la exposición de los trabajadores a riesgos innecesarios.
  
- El comienzo de los trabajos, sólo deberá acometerse cuando se disponga de todos los elementos necesarios para proceder a su asentamiento y delimitación definida de las zonas de influencia durante las maniobras, suministro de materiales así como el radio de actuación de los equipos en condiciones de seguridad para las personas y los restantes equipos.
  
- Se establecerá un planning para el avance de los trabajos, así como la retirada y acopio de la totalidad de los materiales empleados, en situación de espera.
  
- Ante la presencia de líneas de alta tensión tanto la grúa como el resto de la maquinaria que se utilice durante la ejecución de los trabajos guardarán la distancia de seguridad de acuerdo con lo indicado en el presente estudio.
  
- Se revisará todo lo concerniente a la instalación eléctrica comprobando su adecuación a la potencia requerida y el estado de conservación en el que se encuentra.
  
- Será debidamente cercada la zona en la cual pueda haber peligro de caída de materiales, y no se haya podido apantallar adecuadamente la previsible parábola de caída del material.
  
- Como se indica en el art. 8 del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre, los principios generales de prevención en materia de seguridad y salud que recoge el art. 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, deberán ser tomados en consideración por el proyectista en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto de obra y en particular al tomar las decisiones constructivas, técnicas y de organización con el fin de planificar los diferentes trabajos y al estimar la duración prevista de los mismos. El Coordinador en materia de seguridad y salud en fase de proyecto será el que coordine estas cuestiones.

- Se efectuará un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo, para prever la colocación de plataformas, torretas, zonas de paso y formas de acceso, y poderlos utilizar de forma conveniente.
  
- Se dispondrá en obra, para proporcionar en cada caso, el equipo indispensable y necesario, prendas de protección individual tales como cascos, gafas, guantes, botas de seguridad homologadas, impermeables y otros medios que puedan servir para eventualidades o socorrer y evacuar a los operarios que puedan accidentarse.
  
- El personal habrá sido instruido sobre la utilización correcta de los equipos individuales de protección, necesarios para la realización de su trabajo. En los riesgos puntuales y esporádicos de caída de altura, se utilizará obligatoriamente el cinturón de seguridad ante la imposibilidad de disponer de la adecuada protección colectiva u observarse vacíos al respecto a la integración de la seguridad en el proyecto de ejecución.

Cita el art. 10 del R.D. 1627/97 la aplicación de los principios de acción preventiva en las siguientes tareas o actividades:

- Mantenimiento de las obras en buen estado de orden y limpieza
  
- Elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso y la determinación de vías de paso y circulación.
  
- La manipulación de los diferentes materiales y medios auxiliares.
  
- El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y el control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios con el objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
  
- La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los diferentes materiales, en particular los peligrosos.

- La recogida de materiales peligrosos utilizados
- El almacenamiento y la eliminación de residuos y escombros.
- La adaptación de los diferentes tiempos efectivos a dedicar a las distintas fases del trabajo.
- La cooperación entre Contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se desarrolle de manera próxima.

#### Protecciones personales:

Cuando los trabajos requieran la utilización de prendas de protección personal, éstas llevarán el sello -CE- y serán adecuadas al riesgo que tratan de paliar, ajustándose en todo a lo establecido en el R.D. 773/97 de 30 de Mayo.

En caso de que un trabajador tenga que realizar un trabajo esporádico en alturas superiores a 2 m y no pueda ser protegido mediante protecciones colectivas adecuadas, deberá ir provisto de arnés de seguridad homologado, en vigencia de utilización (no caducada), con puntos de anclaje no improvisados, sino previstos en proyecto y en la planificación de los trabajos, debiendo acreditar previamente que ha recibido la formación suficiente por parte de sus mandos jerárquicos, para ser utilizado restrictivamente, pero con criterio.

#### Manipulación manual de cargas:

No se manipularán manualmente por un solo trabajador más de 25 Kg.

Para el levantamiento de una carga es obligatorio lo siguiente:

- Asentar los pies firmemente manteniendo entre ellos una distancia similar a la anchura de los hombros, acercándose lo más posible a la carga.
- Flexionar las rodillas, manteniendo la espalda erguida.
- Agarrar el objeto firmemente con ambas manos si es posible.

- El esfuerzo de levantar el peso lo debe realizar los músculos de las piernas.
- Durante el transporte, la carga debe permanecer lo más cerca posible del cuerpo, debiendo evitarse los giros de la cintura.

Para el manejo de cargas largas por una sola persona se actuará según los siguientes criterios preventivos:

- Llevará la carga inclinada por uno de sus extremos, hasta la altura del hombro.
- Avanzará desplazando las manos a lo largo del objeto, hasta llegar al centro de gravedad de la carga.
- Se colocará la carga en equilibrio sobre el hombro.
- Durante el transporte, mantendrá la carga en posición inclinada, con el extremo delantero levantado.
- Es obligatoria la inspección visual del objeto pesado a levantar para eliminar aristas afiladas.

Es obligatorio el empleo de un código de señales cuando se ha de levantar un objeto entre varios, para aportar el esfuerzo al mismo tiempo. Puede ser cualquier sistema a condición de que sea conocido o convenido por el equipo.

#### Manipulación de cargas con la grúa

En todas aquellas operaciones que conlleven el empleo de aparatos elevadores, es recomendable la adopción de las siguientes normas generales:

- Se designará una persona como operador de la grúa, siendo esta persona la única que tenga acceso a los controles de la misma. En caso de grúas móviles autopropulsadas el operador de la misma dispondrá del carne de operador.

- Señalar de forma visible la carga máxima que pueda elevarse mediante el aparato elevador utilizado.
- Acoplar adecuados pestillos de seguridad a los ganchos de suspensión de los aparatos elevadores.
- Emplear para la elevación de materiales recipientes adecuados que los contengan, o se sujeten las cargas de forma que se imposibilite el desprendimiento parcial o total de las mismas.
- Las eslingas llevarán placa de identificación donde constará la carga máxima para la cual están recomendadas.
- De utilizar cadenas estas serán de hierro forjado con un factor de seguridad no inferior a 5 de la carga nominal máxima. Estarán libres de nudos y se enrollarán en tambores adecuados.
- Para la elevación y transporte de piezas de gran longitud se emplearán vigas de reparto de cargas, de forma que permita esparcir la luz entre apoyos, garantizando de esta forma la horizontalidad y estabilidad.
- El operador de la grúa antes de iniciar los trabajos comprobará el buen funcionamiento de los finales de carrera. Si durante el funcionamiento de la grúa se observara inversión de los movimientos, se dejará de trabajar y se dará cuenta inmediata al la Dirección Técnica de la obra.

#### 8.6.5. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y DE SALUD QUE DEBERAN APLICARSE EN LAS OBRAS

##### Disposiciones mínimas generales relativas a los lugares de trabajo en las obras.

Las obligaciones previstas en este punto se aplicaran siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad, las circunstancias o cualquier riesgo.

La presente parte será de aplicación a la totalidad de la obra, incluidos los puestos de trabajo en las obras en el interior y en el exterior de los locales.

### **Estabilidad y solidez.**

- 1) Deberá procurarse de modo apropiado y seguro, la estabilidad de los materiales y equipos y, en general, de cualquier elemento que en cualquier desplazamiento pudiera afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores.
  
- 2) El acceso a cualquier superficie que conste de materiales que no ofrezcan una resistencia suficiente solo se autorizara en caso de que se proporcionen equipos o medios apropiados para que el trabajo se realice de manera segura.

### **Instalaciones de suministro y reparto de energía.**

- 1) La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.
- 2) En todo caso, y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, dicha instalación deberá satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.
- 3) Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen ningún peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.
- 4) El proyecto, la realización y la elección del material y de los dispositivos de protección deberán tener en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones de los factores externas y la competencia de las personas que tengan acceso a partes de la instalación.

### **Vías y salidas de emergencia:**

- Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expeditas y desembocar lo mas directamente posible en una zona de seguridad.
- En caso de peligro, todos los lugares de trabajo deberán poder evacuarse rápidamente y en condiciones de máxima seguridad para los trabajadores.

- El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como del número máximo de personas que puedan estar presente en ellos.
- Las vías y salidas específicas deberán señalizarse conforme al R.D. 485/97.
- o Dicha señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y tener la resistencia suficiente.
- Las vías y salidas de emergencia, así como las de circulación y las puertas que den acceso a ellas, no deberán estar obstruidas por ningún objeto para que puedan ser utilizadas sin trabas en ningún momento.
- En caso de avería del sistema de alumbrado las vías de salida y emergencia deberán disponer de iluminación de seguridad de la suficiente intensidad.

### **Detección y lucha contra incendios.**

- 1) Se dispondrá de un número suficiente de dispositivos contra incendios y, si fuere necesario detectores y sistemas de alarma.
- 2) Dichos dispositivos deberán revisarse y mantenerse con regularidad. Deberán realizarse periódicamente pruebas y ejercicios adecuados.
- 3) Los dispositivos no automáticos deben ser de fácil acceso y manipulación.

### **Exposición a riesgos particulares.**

- 1) Los trabajadores no estarán expuestos a fuertes niveles de ruido, ni a factores externos nocivos (gases, vapores, polvos).
- 2) Si algunos trabajadores deben permanecer en zonas cuya atmósfera pueda contener sustancias tóxicas o no tener oxígeno en cantidad suficiente o ser inflamable, dicha atmósfera deberá ser controlada y deberán adoptarse medidas de seguridad al respecto.

- 3) En ningún caso podrá exponerse a un trabajador a una atmósfera confinada de alto riesgo. Deberá estar bajo vigilancia permanente desde el exterior para que se le pueda prestar un auxilio eficaz e inmediato.

### **Iluminación.**

- 1) Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación deberán disponer de suficiente iluminación natural (si es posible) y de una iluminación artificial adecuada durante la noche y cuando no sea suficiente la natural.
- 2) Se utilizarán portátiles antichoque y el color utilizado no debe alterar la percepción de los colores de las señales o paneles.
- 3) Las instalaciones de iluminación de los locales, las vías y los puestos de trabajo deberán colocarse de manera que no creen riesgos de accidentes para los trabajadores.

### **Primeros auxilios.**

- 1) Será responsabilidad de la empresa contratista garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello.
- 2) Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.
- 3) Cuando el tamaño de la obra o el tipo de actividad requieran, deberán contarse con uno o varios locales para primeros auxilios.

- 4) Los locales para primeros auxilios deberán estar dotados de las instalaciones y el material de primeros auxilios indispensables y tener fácil acceso para las camillas. Deberán estar señalizados conforme el Real Decreto sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- 5) En todos los lugares en los que las condiciones de trabajo lo requieran se deberá disponer también de material de primeros auxilios, debidamente señalizado y de fácil acceso.
- 6) Una señalización claramente visible deberá indicar la dirección y el número de teléfono del servicio local de urgencia.

#### **Disposiciones varias.**

- 1) Los accesos y el perímetro de la obra deberán señalizarse y destacarse de manera que sean claramente visibles e identificables.
- 2) En la obra, los trabajadores deberán disponer de agua potable y, en su caso, de otra bebida apropiada no alcohólica en cantidad suficiente, tanto en los locales que ocupen como cerca de los puestos de trabajo.
- 3) Los trabajadores deberán disponer de instalaciones para poder comer y, en su caso para preparar sus comidas en condiciones de seguridad y salud.

#### Disposiciones mínimas específicas relativas a puestos de trabajo en las obras en el exterior de los locales.

Observación preliminar las obligaciones previstas en la presente parte se paliarán siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad las circunstancias o cualquier riesgo.

#### **Estabilidad y solidez:**

Los puestos de trabajo móviles o fijos situados por encima o por debajo del nivel del suelo deberán ser sólidos y estables teniendo en cuenta:

- 1º.- El número de trabajadores que los ocupen.

2º.- Las cargas máximas que, en su caso, puedan tener que soportar, así como su distribución.

3º.- Los factores externos que pudieran afectarles.

En caso de que los soportes y los demás elementos de estos lugares de trabajo no poseyeran estabilidad propia, se deberán garantizar su estabilidad mediante elementos de fijación apropiados y seguros con el fin de evitar cualquier desplazamiento inesperado o involuntario del conjunto o de parte de dichos puestos de trabajo.

Deberá verificarse de manera apropiada la estabilidad y la solidez, y especialmente después de cualquier modificación de la altura o de la profundidad del puesto de trabajo.

#### **Caída de objetos:**

- 1) Los trabajadores deberán estar protegidos contra la caída de objetos o materiales, para ello se utilizarán siempre que sea técnicamente posible, medidas de protección colectiva.
- 2) Cuando sea necesario, se establecerán pasos cubiertos o se impedirá el acceso a las zonas peligrosas.
- 3) Los materiales de acopio, equipos y herramientas de trabajo deberán colocarse o almacenarse de forma que se evite su desplome, caída o vuelco.

#### **Caídas de altura:**

- Las plataformas, andamios y pasarelas, así como los desniveles, huecos y aberturas existentes en los pisos de las obras, que supongan para los trabajadores un riesgo de caída de altura superior a 2 metros, se protegerán mediante barandillas u otro sistema de protección colectiva de seguridad equivalente.

- Las barandillas serán resistentes, tendrán una altura mínima de 90 centímetros y dispondrán de un reborde de protección, un pasamanos y una protección intermedia que impidan el paso o deslizamiento de los trabajadores.
- Los trabajos en altura sólo podrán efectuarse en principio, con la ayuda de equipos concebidos para el fin o utilizando dispositivos de protección colectiva, tales como barandillas, plataformas o redes de seguridad.
- Si por la naturaleza del trabajo ello no fuera posible, deberán disponerse de medios de acceso seguros y utilizarse cinturones de seguridad con anclaje u otros medios de protección equivalente.
- La estabilidad y solidez de los elementos de soporte y el buen estado de los medios de protección deberán verificarse previamente a su uso, posteriormente de forma periódica y cada vez que sus condiciones de seguridad puedan resultar afectadas por una modificación, periodo de no utilización o cualquier otra circunstancia.

#### **Factores atmosféricos:**

Deberá protegerse a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.

#### **Andamios y escaleras:**

Los andamios deberán proyectarse, construirse y mantenerse convenientemente de manera que se evite que se desplomen o se desplacen accidentalmente.

Las plataformas de trabajo, las pasarelas y las escaleras de los andamios deberán construirse, protegerse y utilizarse de forma que se evite que las personas tengan o estén expuestas a caídas de objetos. A tal efecto, sus medidas de ajustará al número de trabajadores que vayan a utilizarlos.

Los andamios deberán ir inspeccionados por una persona competente:

1º.- Antes de su puesta en servicio.

2º.- A intervalos regulares en lo sucesivo.

3º.- Después de cualquier modificación, periodo de no utilización, exposición a la intemperie, sacudidas sísmicas o cualquier otra circunstancia que hubiera podido afectar a su resistencia o a su estabilidad.

Los andamios móviles deberán asegurarse contra los desplazamientos involuntarios.

Las escaleras de mano deberán cumplir las condiciones de diseño y utilización señaladas en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

#### **Aparatos elevadores:**

1) Los aparatos elevadores y los accesorios de izado utilizados en la obra, deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

En todo caso, y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, los aparatos elevadores y los accesorios de izado deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.

2) Los aparatos elevadores y los accesorios de izado incluido sus elementos constitutivos, sus elementos de fijación, anclaje y soportes, deberán:

1º.- Ser de buen diseño y construcción y tener una resistencia suficiente para el uso al que estén destinados.

2º.- Instalarse y utilizarse correctamente.

3º.- Ser manejados por trabajadores cualificados que hayan recibido una formación adecuada.

3) En los aparatos elevadores y en los accesorios de izado se deberá colocar de manera visible, la indicación del valor de su carga máxima.

- 4) Los aparatos elevadores lo mismo que sus accesorios no podrán utilizarse para fines distintos de aquéllos a los que estén destinados.

### **Vehículos y maquinaria para manipulación de materiales:**

Los vehículos y maquinaria para manipulación de materiales deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

En todo caso y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, los vehículos y maquinaria para manipulación de materiales deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.

Todos los vehículos y toda maquinaria para manipulación de materiales deberán:

- 1º.- Esta bien proyectados y contruidos, teniendo en cuanto, en la medida de los posible, los principios de la ergonomía.
- 2º.- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- 3º.- Utilizarse correctamente.

Los conductores y personal encargado de vehículos y maquinarias para manipulación de materiales deberán recibir una formación especial.

- 4) Deberán adoptarse medidas preventivas para evitar que caigan en las excavaciones o en el agua vehículos o maquinarias para manipulación de materiales.

Cuando sea adecuado, las maquinarias para manipulación de materiales deberán estar equipadas con estructuras concebidas para proteger el conductor contra el aplastamiento, en caso de vuelco de la máquina, y contra la caída de objetos.

### **Instalaciones, máquinas y equipos:**

- 1) Las instalaciones, máquinas y equipos utilizados en las obras deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

En todo caso, y a salvo de las disposiciones específicas de la normativa citada, las instalaciones, máquina y equipos deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.

2) Las instalaciones, máquinas y equipos incluidas las herramientas manuales o sin motor, deberán:

1°.- Estar bien proyectados y contruidos, teniendo en cuenta en la medida de lo posible, los principios de la ergonomía.

2°.- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.

3°.- Utilizarse exclusivamente para los trabajos que hayan sido diseñados.

4°.- Ser manejados por trabajadores que hayan recibido una formación adecuada.

3) Las instalaciones y los aparatos a presión deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

### **Instalaciones de distribución de energía:**

Deberán verificarse y mantenerse con regularidad las instalaciones de distribución de energía presentes en la obra, en particular las que estén sometidas a factores externos.

Las instalaciones existentes antes del comienzo de la obra deberán estar localizadas, verificadas y señalizadas claramente.

Cuando existen líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión. Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de las mismas.

En caso de que vehículos de la obra tuvieran que circular bajo el tendido se utilizarán una señalización de advertencia y una protección de delimitación de altura.

### **Otros trabajos específicos:**

- 1) En los trabajos en plantas elevadas deberán adoptarse las medidas de protección colectiva que sean necesarias en atención a la altura, inclinación o posible carácter o estado resbaladizo, para evitar la caída de trabajadores, herramientas o materiales. Asimismo cuando haya que trabajar sobre o cerca de superficies frágiles, se deberán tomar las medidas preventivas adecuadas para evitar que los trabajadores las pisen inadvertidamente o caigan a través suyo.
- 2) La estabilidad de los elementos estructurales, tanto en su presentación como en su ensamblaje definitivo, debe ser absoluta y certificada por el Jefe de Obra y el Encargado de los trabajos de Montaje por parte del Contratista Principal.
- 3) Se restringirá el paso de personas bajo las zonas afectadas por el montaje y las soldaduras, colocándose señales y balizas que adviertan del riesgo.
- 4) Como quiera que este tipo de trabajos se realiza en niveles superpuestos se deberá proteger a los trabajadores de los niveles inferiores.

#### Normativa particular a cada medio a utilizar

#### **Herramientas de corte:**

En trabajos de corte en que los recorte sean pequeños, es obligatorio el uso de gafas de protección contra proyección de partículas.

Si la pieza a cortar es de gran volumen, se deberá planificar el corte de forma que el abatimiento no alcance al operario o sus compañeros.

#### **Curvadora de tubos:**

- 1) Antes de su puesta en carga, el operador comprobará la estanqueidad del circuito.
- 2) Disponer la máquina en un lugar alejado de las zonas de paso del personal para impedir caídas a nivel o alcance por proyección a terceros.

- 3) No se podrá modificar bajo ningún concepto la regulación de las válvulas de seguridad o descarga con la finalidad de conseguir mayor presión de trabajo.
- 4) Si el sistema dispone de acumulador hidráulico, no utilizar para regarlo otro gas que el nitrógeno u otro inerte, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- 5) Para controlar la presión del circuito, es necesario utilizar un manómetro con una goma de presión adecuada.
- 6) Cuando se termine de ejecutar el trabajo, cuídese de despresurizar la máquina y colocarla junto con sus accesorios fuera de las zonas de paso del personal.

### **Soldadura oxiacetilénica:**

Cuando se utilicen equipos de soldadura autógena y oxicorte, se comprobará que todos los equipos disponen de los siguientes elementos de seguridad:

**Filtro:** Dispositivo que evita el paso de impurezas extrañas que puede arrastrar el gas. Este filtro deberá estar situado a la entrada del gas en cada uno de los dispositivos de seguridad.

**Válvula antiretroceso de llama:** Dispositivo que evita el paso del gas en sentido contrario al flujo normal.

**Válvula de cierre de gas:** Dispositivo que se coloca sobre una canalización y que detiene automáticamente la circulación del gas en ciertas condiciones.

Asimismo todos los operarios que utilicen estos equipos deberán ir provistos de gafas y pantallas protectoras homologadas, dotadas del filtro adecuado en función del tipo de radiaciones e intensidad de las mismas y guantes, polainas y mandil de cuero.

Se revisarán el estado de todas las herramientas y medios auxiliares que se utilicen, separando o desechando los que no reúnan las condiciones adecuadas para el uso al que se les destina.

Botellas de oxiacetileno

- Las botellas de oxiacetileno no se colocarán en lugares de paso. Se fijarán bien para evitar su vuelco.
- Nunca se dejarán bajo la vertical de la zona de trabajo.
- Nunca se tensarán las mangueras. Las caperuzas protectoras de las válvulas de las botellas no deben quitarse.
- No deben emplearse sopletes que no dispongan de conexiones normalizadas. Se desechará el uso de manómetros rotos. Todas las uniones de las mangueras deben estar fijadas mediante abrazaderas, para evitar desconexión accidental.
- Nunca se dejarán las botellas en sótanos o lugares confinados. No se debe estrangular las mangueras para interrumpir el paso del gas.
- En el caso de que fuese preciso la elevación de las botellas, se hará conjuntamente con su porta botellas, o en jaulas adecuadas.
- Las botellas no se dejarán caer, ni se permitirá que choque violentamente entre sí, ni contra otras superficies.
- Se evitará el arrastre, deslizamiento o rodadura de las botellas en posición horizontal. Estos equipos deberán estar manipulados por personal especializado e instruidos al efecto.

### **Soldadura eléctrica:**

En previsión de contactos eléctricos respecto al circuito de alimentación, se deberán adoptar las siguientes medidas:

Revisar periódicamente el buen estado del cable de alimentación.

Adecuado aislamiento de los bornes.

Conexión y perfecto funcionamiento de la toma de tierra y disyuntor diferencial.

Respecto al circuito de soldadura se deberá comprobar:

Que la pinza esté aislada.

Los cables dispondrán de un perfecto aislamiento.

Disponen en estado operativo el limitador de tensión de vacío (50 V / 110 V).

El operario utilizará careta de soldador con visor de características filtrantes.

En previsión de proyecciones de partículas incandescentes se adoptarán las siguientes previsiones:

- El operario utilizará los guantes de soldador, pantalla facial de soldador, chaqueta de cuero, mandil, polainas y botas de soldador (de desatado rápido).
- Se colocarán adecuadamente las mantas ignífugas y las mamparas opacas para resguardar de rebotes al personal próximo.

En previsión de la inhalación de humos de soldadura se dispondrá de: Extracción localizada con expulsión al exterior, o dotada de filtro electrostático si se trabaja en recintos cerrados.

Cuando se efectúen trabajos de soldadura en lugares cerrados húmedos o buenos conductores de la electricidad se deberán adoptar las siguientes medidas preventivas adicionales:

- Los porta electrodos deberán estar completamente aislados.
- El equipo de soldar deberá instalarse fuera del espacio cerrado o estar equipado con dispositivos reductores de tensión (en el caso de tratarse de soldadura al arco con corriente alterna).
- Se adoptarán precauciones para que la soldadura no pueda dañar las redes y cuerdas de seguridad como consecuencia de entrar en contacto con calor, chispas, escorias o metal candente.
- Provocar incendios al entrar en contacto con materiales combustibles.
- Provocar deflagraciones al entrar en contacto con vapores y sustancias inflamables.

- Los soldadores deberán tomar precauciones para impedir que cualquier parte de su cuerpo o ropa de protección húmeda cierre un circuito eléctrico o con el elemento expuesto del electrodo o porta electrodo, cuando esté en contacto con la pieza a soldar.
- Se emplearán guantes aislantes para introducir los electrodos en los porta electrodos.
- Se protegerá adecuadamente contra todo daño los electrodos y los conductores de retorno.
- Los elementos bajo tensión de los porta electrodos deberán ser inaccesibles cuando no se utilicen.
- Cuando sea necesario, los restos de electrodos se guardarán en un recipiente piroresistente.
- No se dejará sin vigilancia alguna ningún equipo de soldadura al arco bajo tensión.

### **Máquinas eléctricas portátiles:**

- 1) Cuidar que el cable de alimentación esté en buen estado, sin presentar abrasiones, aplastamientos, punzaduras, cortes ó cualquier otro defecto.
- 2) Conectar siempre la herramienta mediante clavija y enchufe adecuados a la potencia de la máquina.
- 3) Asegurarse de que el cable de tierra existe y tiene continuidad en la instalación si la máquina a emplear no es de doble aislamiento.
- 4) Al terminar se dejará la máquina limpia y desconectada de la corriente.
- 5) Cuando se empleen en emplazamientos muy conductores (lugares muy húmedos, dentro de grandes masas metálicas, etc.) se utilizarán herramientas alimentadas a 24 v como máximo ó mediante transformadores separadores de circuitos.

- 6) En el caso de tener que trabajar sobre una pieza suelta esta estará apoyada y sujeta.
- 7) No soltar la herramienta mientras esté en movimiento.

### **Compresor:**

- Antes de la puesta en marcha, revisar las mangueras, uniones y manómetros, sustituyéndose las que no estén en buen estado.
- Con el calderín, ya despresurizado, se purgará periódicamente el agua de condensación que se acumula en el mismo.
- Se extenderán las mangueras procurando no interferir en los pasos.
- No se interrumpirá el suministro de aire doblando la manguera, deberán ponerse en el circuito de aire las llaves necesarias.
- No se utilizará el aire a presión para la limpieza de personas o de vestimentas.
- En el caso de producir ruido con niveles superiores a los que establece la ley (90 dB) utilizarán protectores auditivos todo el personal que tenga que permanecer en su proximidad. Al terminar el trabajo se recogerán las mangueras y se dejará todo el circuito sin presión.
- En los lugares cerrados se conducirán los humos de escape al exterior ó se realizará ventilación forzada, o se dotará al tubo de escape de un filtro contra emanaciones de CO<sub>2</sub>.

### 8.6.6. DIRECTRICES GENERALES PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS DORSOLUMBARES

En la aplicación de lo dispuesto en el anexo del R.D. 487/97 se tendrán en cuenta, en su caso, los métodos o criterios a que se refiere el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

#### 1. Características de la carga.

La manipulación manual de una carga puede presentar un riesgo, en particular dorsolumbar, en los casos siguientes:

- Cuando la carga es demasiado pesada o demasiado grande.
- Cuando es voluminosa o difícil de sujetar.
- Cuando está en equilibrio inestable o su contenido corre el riesgo de desplazarse.
- Cuando está colocada de tal modo que debe sostenerse o manipularse a distancia del tronco o con torsión o inclinación del mismo.
- Cuando la carga, debido a su aspecto exterior o a su consistencia, puede ocasionar lesiones al trabajador, en particular en caso de golpe.

## 2. Esfuerzo físico necesario.

Un esfuerzo físico puede entrañar un riesgo, en particular dorsolumbar, en los casos siguientes:

- Cuando es demasiado importante.
- Cuando no puede realizarse más que por un movimiento de torsión o de flexión del tronco.
- Cuando puede acarrear un movimiento brusco de la carga.
- Cuando se realiza mientras el cuerpo está en posición inestable.
- Cuando se trate de alzar o descender la carga con necesidad de modificar el agarre.

## 3. Características del medio de trabajo.

Las características del medio de trabajo pueden aumentar el riesgo, en particular dorsolumbar en los casos siguientes:

- Cuando el espacio libre, especialmente vertical, resulta insuficiente para el ejercicio de la actividad de que se trate.

- Cuando el suelo es irregular y, por tanto, puede dar lugar a tropiezos o bien es resbaladizo para el calzado que lleve el trabajador.
- Cuando la situación o el medio de trabajo no permite al trabajador la manipulación manual de cargas a una altura segura y en una postura correcta.
- Cuando el suelo o el plano de trabajo presentan desniveles que implican la manipulación de la carga en niveles diferentes.
- Cuando el suelo o el punto de apoyo son inestables.
- Cuando la temperatura, humedad o circulación del aire son inadecuadas.
- Cuando la iluminación no sea adecuada.
- Cuando exista exposición a vibraciones.

#### 4. Exigencias de la actividad.

La actividad puede entrañar riesgo, en particular dorsolumbar, cuando implique una o varias de las exigencias siguientes:

- Esfuerzos físicos demasiado frecuentes o prolongados en los que intervenga en particular la columna vertebral.
- Período insuficiente de reposo fisiológico o de recuperación.
- Distancias demasiado grandes de elevación, descenso o transporte.
- Ritmo impuesto por un proceso que el trabajador no pueda modular.

#### 5. Factores individuales de riesgo.

Constituyen factores individuales de riesgo:

- La falta de aptitud física para realizar las tareas en cuestión.
- La inadecuación de las ropas, el calzado u otros efectos personales que lleve el trabajador.
- La insuficiencia o inadaptación de los conocimientos o de la formación.
- La existencia previa de patología dorsolumbar.

### 8.6.7 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

#### Vías de circulación y zonas peligrosas

Las vías de circulación, incluidas las escaleras, las escaleras fijas y los muelles y rampas de carga deberán estar calculados, situados, acondicionado y preparados para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.

Las dimensiones de las vías destinadas a la circulación de personas o de mercancías, incluidas aquellas en las que se realicen operaciones de carga y descarga, se calcularán de acuerdo con el número de personas que puedan utilizarlas y con el tipo de actividad.

Cuando se utilicen medios de transporte en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el recinto.

Se señalarán claramente las vías y se procederá regularmente a su control y mantenimiento.

Las vías de circulación destinada a los vehículos deberán estar situadas a una distancia suficiente de las puertas, portones, pasos de peatones, corredores y escaleras.

Si en la obra hubiera zonas de acceso limitado, dichas zonas deberán estar equipadas con dispositivos que eviten que los trabajadores no autorizados puedan penetrar en ellas. Se deberán tomar todas las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores que estén autorizados a penetrar en las zonas de peligro. Estas zonas deberán estar señalizadas de modo claramente visible.

#### Mantenimiento preventivo general

El articulado y Anexos del R.D. 1215/97 de 18 de Julio indica la obligatoriedad por parte del empresario de adoptar las medidas preventivas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y salud de los trabajadores al utilizarlos.

Si esto no fuera posible, el empresario adoptará las medidas adecuadas para disminuir esos riesgos al mínimo.

Como mínimo, sólo deberán ser utilizados equipos que satisfagan las disposiciones legales o reglamentarias que les sean de aplicación y las condiciones generales previstas en el Anexo I.

Cuando el equipo requiera una utilización de manera o forma determinada se adoptarán las medidas adecuadas que reserven el uso a los trabajadores especialmente designados para ello.

El empresario adoptará las medidas necesarias para que mediante un mantenimiento adecuado, los equipos de trabajo se conserven durante todo el tiempo de utilización en condiciones tales que satisfagan lo exigido por ambas normas citadas.

Son obligatorias las comprobaciones previas al uso, las previas a la reutilización tras cada montaje, tras el mantenimiento o reparación, tras exposiciones a influencias susceptibles de producir deterioros y tras acontecimientos excepcionales.

Todos los equipos, de acuerdo con el artículo 41 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95), estarán acompañados de instrucciones adecuadas de funcionamiento y condiciones para las cuales tal funcionamiento es seguro para los trabajadores.

Los artículos 18 y 19 de la citada Ley indican la información y formación adecuadas que los trabajadores deben recibir previamente a la utilización de tales equipos.

El constructor, justificará que todas las maquinas, herramientas, máquinas herramientas y medios auxiliares, tienen su correspondiente certificación -CE- y que el mantenimiento preventivo, correctivo y la reposición de aquellos elementos que por deterioro o desgaste normal de uso, haga desaconsejare su utilización sea efectivo en todo momento.

Los elementos de señalización se mantendrán en buenas condiciones de visibilidad y en los casos que se considere necesario, se regarán las superficies de tránsito para eliminar los ambientes pulvígenos, y con ello la suciedad acumulada sobre tales elementos.

La instalación eléctrica provisional de obra se revisará periódicamente, por parte de un electricista, se comprobarán las protecciones diferenciales, magnetotérmicos, toma de tierra y los defectos de aislamiento.

En las máquinas eléctricas portátiles, el usuario revisará diariamente los cables de alimentación y conexiones; así como el correcto funcionamiento de sus protecciones.

Las instalaciones, máquinas y equipos, incluidas las de mano, deberán:

- 1) Estar bien proyectados y contruidos teniendo en cuenta los principios de la ergonomía.
- 2) Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- 3) Utilizarse exclusivamente para los trabajos que hayan sido diseñados.
- 4) Ser manejados por trabajadores que hayan sido formados adecuadamente.

Las herramientas manuales serán revisadas diariamente por su usuario, reparándose o sustituyéndose según proceda, cuando su estado denote un mal funcionamiento o represente un peligro para su usuario (mangos agrietados o astillados).

## INSTALACIONES GENERALES DE HIGIENE EN LA OBRA

### Servicios higiénicos

Cuando los trabajadores tengan que llevar ropa especial de trabajo deberán tener a su disposición vestuarios adecuados.

- Los vestuarios deberán ser de fácil acceso, tener las dimensiones suficientes y disponer de asientos e instalaciones que permitan a cada trabajador poner a secar, si fuera necesario, su ropa de trabajo.
- Cuando las circunstancias lo exijan (por ejemplo, sustancias peligrosas, humedad, suciedad), la ropa de trabajo deberá ponerse guardada separada de la ropa de calle y de los efectos personales.
- Cuando los vestuarios no sean necesarios, en el sentido del párrafo primero de este apartado, cada trabajador deberá poder disponer de un espacio para colocar su ropa y sus objetos personales bajo llave.

Cuando el tipo de actividad o la salubridad lo requieran, se deberán poner a disposición de los trabajadores duchas apropiadas y en número suficiente.

- Las duchas deberán tener dimensiones suficientes para permitir que cualquier trabajador se aseo sin obstáculos y en adecuadas condiciones de higiene.
- Las duchas deberán disponer de agua corriente, caliente y fría. Cuando, con arreglo al párrafo primero de este apartado, no sean necesarias duchas, deberán tener lavabos suficientes y apropiados con agua corriente, caliente si fuese necesario cerca de los puestos de trabajo y de los vestuarios.

- Si las duchas o los lavabos y los vestuarios estuvieren separados, la comunicación entre uno y otros deberá ser fácil.

Los trabajadores deberán disponer en las proximidades de sus puestos de trabajo de los locales de descanso, de los vestuarios y de las duchas o lavabos, de locales especiales equipados con un núm. suficiente de retretes y de lavabos.

Los vestuarios, duchas, lavabos y retretes estarán separados para hombres y mujeres, o deberán preverse una utilización por separado de los mismos.

#### Locales de descanso o de alojamiento

- a) Cuando lo exijan la seguridad o la salud de los trabajadores, en particular debido al tipo de actividad o el número de trabajadores, y por motivo de alejamiento de la obra, los trabajadores deberán poder disponer de locales de descanso y, en su caso, de locales de alojamiento de fácil acceso.
- b) Los locales de descanso o de alojamiento deberán tener unas dimensiones suficientes y estar amueblados con un número de mesas y de asientos con respaldo acorde con el número de trabajadores.
- c) Cuando no existan estos tipos de locales se deberá poner a disposición del personal otro tipo de instalaciones para que puedan ser utilizadas durante la interrupción del trabajo.
- d) Cuando existan locales de alojamiento dichos, deberán disponer de servicios higiénicos en número suficiente, así como de una sala para comer y otra de esparcimiento.

Dichos locales deberán estar equipados de camas, armarios, mesas y sillas con respaldo acordes al número de trabajadores, y se deberá tener en cuenta, en su caso, para su asignación, la presencia de trabajadores de ambos sexos.

- e) En los locales de descanso o de alojamiento deberán tomarse medidas adecuadas de protección para los no fumadores contra las molestias debidas al humo del tabaco.

## VIGILANCIA DE LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS EN LA OBRA

Indica la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (ley 31/95 de 8 de Noviembre), en su art. 22 que el Empresario deberá garantizar a los trabajadores a su servicio la vigilancia periódica de su estado de salud en función de los riesgos inherentes a su trabajo. Esta vigilancia solo podrá llevarse a efecto con el consentimiento del trabajador exceptuándose, previo informe de los representantes de los trabajadores, los supuestos en los que la realización de los reconocimientos sea imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores o para verificar si el estado de la salud de un trabajador puede constituir un peligro para sí mismo, para los demás trabajadores o para otras personas relacionadas con la empresa o cuando esté establecido en una disposición legal en relación con la protección de riesgos específicos y actividades de especial peligrosidad.

En todo caso se optará por aquellas pruebas y reconocimientos que produzcan las mínimas molestias al trabajador y que sean proporcionadas al riesgo.

Las medidas de vigilancia de la salud de los trabajadores se llevarán a cabo respetando siempre el derecho a la intimidad y a la dignidad de la persona del trabajador y la confidencialidad de toda la información relacionada con su estado de salud. Los resultados de tales reconocimientos serán puestos en conocimiento de los trabajadores afectados y nunca podrán ser utilizados con fines discriminatorios ni en perjuicio del trabajador.

El acceso a la información médica de carácter personal se limitará al personal médico y a las autoridades sanitarias que lleven a cabo la vigilancia de la salud de los trabajadores, sin que pueda facilitarse al empresario o a otras personas sin conocimiento expreso del trabajador.

No obstante lo anterior, el empresario y las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención serán informados de las conclusiones que se deriven de los reconocimientos efectuados en relación con la aptitud del trabajador para el desempeño del puesto de trabajo o con la necesidad de introducir o mejorar las medidas de prevención y protección, a fin de que puedan desarrollar correctamente sus funciones en materias preventivas.

En los supuestos en que la naturaleza de los riesgos inherentes al trabajo lo haga necesario, el derecho de los trabajadores a la vigilancia periódica de su estado de salud deberá ser prolongado más allá de la finalización de la relación laboral, en los términos que legalmente se determinen.

Las medidas de vigilancia y control de la salud de los trabajadores se llevarán a cabo por personal sanitario con competencia técnica, formación y capacidad acreditada.

El R.D. 39/97 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, establece en su art. 37.3 que los servicios que desarrollen funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores deberán contar con un médico especialista en Medicina del Trabajo o Medicina de Empresa y un ATS/DUE de empresa, sin perjuicio de la participación de otros profesionales sanitarios con competencia técnica, formación y capacidad acreditada.

La actividad a desarrollar deberá abarcar:

- Evaluación inicial de la salud de los trabajadores después de la incorporación al trabajo o después de la asignación de tareas específicas con nuevos riesgos para la salud.
- Evaluación de la salud de los trabajadores que reanuden el trabajo tras una ausencia prolongada por motivos de salud, con la finalidad de descubrir sus eventuales orígenes profesionales y recomendar una acción apropiada para proteger a los trabajadores. Y, finalmente, una vigilancia de la salud a intervalos periódicos.

La vigilancia de la salud estará sometida a protocolos específicos u otros medios existentes con respecto a los factores de riesgo a los que esté sometido el trabajador. La periodicidad y contenido de los mismos se establecerá por la Administración oídas las sociedades científicas correspondientes. En cualquier caso incluirán historia clínico-laboral, descripción detallada del puesto de trabajo, tiempo de permanencia en el mismo y riesgos detectados y medidas preventivas adoptadas. Deberá contener, igualmente, descripción de los anteriores puestos de trabajo, riesgos presentes en los mismos y tiempo de permanencia en cada uno de ellos.

El personal sanitario del servicio de prevención deberá conocer las enfermedades que se produzcan entre los trabajadores y las ausencias al trabajo por motivos de salud para poder identificar cualquier posible relación entre la causa y los riesgos para la salud que puedan presentarse en los lugares de trabajo.

Este personal prestará los primeros auxilios y la atención de urgencia a los trabajadores víctimas de accidentes o alteraciones en el lugar de trabajo.

El art. 14 del Anexo IV A del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre de 1.997 por el que se establecen las condiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, indica las características que debe reunir el lugar adecuado para la práctica de los primeros auxilios que habrán de instalarse en aquellas obras en las que por su tamaño o tipo de actividad así lo requieran.

#### 8.6.10. OBLIGACIONES DEL EMPRESARIO EN MATERIA FORMATIVA ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS

El artículo 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95 de 8 de Noviembre) exige que el empresario, en cumplimiento del deber de protección, deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva, a la contratación, y cuando ocurran cambios en los equipos, tecnologías o funciones que desempeñe.

Tal formación estará centrada específicamente en su puesto o función y deberá adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos. Incluso deberá repetirse si se considera necesario.

La formación referenciada deberá impartirse, siempre que sea posible, dentro de la jornada de trabajo, o en su defecto, en otras horas pero con descuento en aquella del tiempo invertido en la

misma. Puede impartirla la empresa con sus medios propios o con otros concertados, pero su coste nunca recaerá en los trabajadores.

Si se trata de personas que van a desarrollar en la Empresa funciones preventivas de los niveles básico, intermedio o superior, el R.D. 39/97 por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención indica, en sus Anexos III al VI, los contenidos mínimos de los programas formativos a los que habrá de referirse la formación en materia preventiva.

## **8.7.- LEGISLACION, NORMATIVAS Y CONVENIOS DE APLICACIÓN AL PRESENTE ESTUDIO:**

### **8.7.1. LEGISLACIÓN**

- LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES (LEY 31/95 DE 8/11/95).
- REFORMA NORMATIVA DE PREVECIÓN DE RIESGOS LABORALES (LEY 54/03)
- REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN (R.D. 39/97 DE 7/1/97).
- ORDEN DE DESARROLLO DEL R.S.P. (27/6/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS EN MATERIA DE SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO (R.D.485/97 DE 14/4/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO (R.D. 486/97 DE 14/4/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD RELATIVAS A LA MANIPULACIÓN DE CARGAS QUE ENTRAÑEN RIESGOS, EN PARTICULAR DORSOLUMBARES, PARA LOS TRABAJADORES (R.D. 487/97 DE 14/4/97).
- PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS DURANTE EL TRABAJO (R.D. 664/97 DE 12/5/97).

- EXPOSICIÓN A AGENTES CANCERÍGENOS DURANTE EL TRABAJO (R.D. 665/97 DE 12/5/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD RELATIVAS A LA UTILIZACIÓN POR LOS TRABAJADORES DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (R.D. 773/97 DE 30/5/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD PARA LA UTILIZACIÓN POR LOS TRABAJADORES DE LOS EQUIPOS DE TRABAJO (R.D. 1215/97 DE 18/7/97).
- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN (R.D. 1627/97 de 24/10/97).
- DISPOSICIONES MINMAS PARA LA PROTECCION DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES FRENTE AL RIESGO ELECTRICO (R.D. 614/01 DE 8/06/01).
- DISPOSICIONES MINIMAS PARA LA PROTECCION DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A LOS RIESGOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS (R.D. 681/03 DE 12/06/03).
- REAL DECRETO POR EL QUE SE DESARROLLA EL ARTICULO 24 DE LA LEY 31/95, EN MATERIA DE COORIDNACION DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES (R.D. 171/04 DE 30/01/04).
- REAL DECRETO POR EL QUE SE MODIFICA EL R.D. 1215/97 EN MATERI DE TRABAJOS TEMPORALES EN ALTURA (2177/04 DE 12/11/04).
- REAL DECRETO SOBRE LA PROTECCION DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES FRENTE A LOS RIESGOS DERIVADOS O QUE PUEDAN DERIVARSE DE LA EXPOSICION A VIBRACIONES MECANICAS (R.D. 1311/05 DE 4/11/05).

- REAL DECRETO SOBRE LA PROTECCION DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS DERIVADOS CON LA EXPOSICION AL RUIDO (R.D. 286/06 DE 10/03/06).
- REAL DECRETO POR EL QUE SE MODIFICA EL RD 39/97 DE 17 DE ENERO POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN Y EL R.D. 1627/97 DE 24 DE OCTUBRE POR EL QUE SE ESTABLECEN LAS DISPOSICIONES MINIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCION (R.D. 604/06 DE 19/05/06).
- ORDENANZA GENERAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (O.M. DE 9/3/71) Exclusivamente su Capítulo VI, y art. 24 y 75 del Capítulo VII.
- REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (OM de 31/1/40) Exclusivamente su Capítulo VII.
- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (R.D. 2413 de 20/9/71).
- R. MINISTERIO DE TRABAJO 11/3/77 SOBRE EL BENCENO.
- R.D. 1316/89 SOBRE EL RUIDO.
- R.D. 53/92 SOBRE RADIACIONES IONIZANTES.

### 8.7.2. NORMATIVAS

Norma UNE 81 707 85 Escaleras portátiles de aluminio simples y de extensión.

Norma UNE 81 002 85 Protectores auditivos. Tipos y definiciones.

Norma UNE 81 101 85 Equipos de protección de la visión. Terminología. Clasificación y uso.

Norma UNE 81 200 77 Equipos de protección personal de las vías respiratorias.  
Definición y clasificación.

Norma UNE 81 208 77 Filtros mecánicos. Clasificación. Características y requisitos.

Norma UNE 81 250 80 Guantes de protección. Definiciones y clasificación.

Norma UNE 81 304 83 Calzado de seguridad. Ensayos de resistencia a la perforación de la suela.

Norma UNE 81 353 80 Cinturones de seguridad. Clase A: Cinturón de sujeción.  
Características y ensayos.

Norma UNE 81 650 80 Redes de seguridad. Características y ensayos.

### 8.7.3. CONVENIOS

#### CONVENIOS DE LA OIT RATIFICADOS POR ESPAÑA

- Convenio nº 167 de la OIT de 20/6/88 sobre seguridad y salud en la industria de la construcción.
- Convenio nº 119 de la OIT de 25/6/63 sobre protección de maquinaria. Ratificado por Instrucción de 26/11/71.(BOE de 30/11/72).
- Convenio nº 155 de la OIT de 22/6/81 sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo. Ratificado por Instrumento publicado en el BOE de 11/11/85.
- Convenio nº 127 de la OIT de 29/6/67 sobre peso máximo de carga transportada por un trabajador. (BOE de 15/10/70).

### **8.8.- PLIEGO DE CONDICIONES**

El objeto de este Pliego de Condiciones es fijar condiciones generales y particulares por las que se desarrollarán los trabajos y se utilizarán las dotaciones de Seguridad y Salud. Estas condiciones se plantean agrupadas de acuerdo con su naturaleza, en:

## 8.8.1. CONDICIONES DE NATURALEZA FACULTATIVA

### Introducción

El Contratista o constructor principal se someterá al criterio y juicio de la Dirección Facultativa o de la Coordinación de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras.

El Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras será el responsable del seguimiento y cumplimiento del Plan de Seguridad, el cual es la plasmación del presente Estudio de Seguridad y Salud, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 1627/97, siendo su actuación independiente de la Dirección Facultativa propia de la obra.

A dicho Técnico le corresponderá realizar la interpretación técnica y económica del Plan de Seguridad, así como establecer las medidas necesarias para su desarrollo, (las adaptaciones, detalles complementarios y modificaciones precisas).

Cualquier alteración o modificación de lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud, sin previa autorización escrita de la Dirección Facultativa o la coordinación en materia de seguridad y salud en fase de ejecución de las obras, podrá ser objeto de demolición si ésta lo estima conveniente.

### Libro de incidencias.

Libro de incidencias de acuerdo con el artículo 13 del Real Decreto 1627/97 existirá en cada centro de trabajo, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado, habilitado al efecto.

Este libro será facilitado por el Colegio Profesional al que pertenezca el Técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

El libro de Incidencias, que deberá mantenerse siempre en la obra, estará en poder del Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra. A dicho libro

tendrán acceso la Dirección Facultativa de la obra, los Contratistas, Subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materias de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de las Administraciones Públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con el control y seguimiento del Plan de Seguridad.

Efectuada una anotación en el libro de incidencias, el Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra estará obligado a remitir, en el plazo de 24 horas, una copia a la Inspección de Trabajo y S.S. de la provincia en la que se ejecuta la obra. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

#### Obligaciones de las partes

##### **Promotor:**

El promotor abonará a la Empresa(s) Constructora(s), previa certificación del coordinador de seguridad y salud en fase de ejecución de las obras, las partidas incluidas en el documento Presupuesto del Plan de Seguridad.

##### **Contratista:**

La Empresa Constructora viene obligada a cumplir las directrices contenidas en el Plan de Seguridad y Salud coherente con los sistemas de ejecución que se van emplear. El Plan de Seguridad e Higiene ha de contar con aprobación del Coordinador de Seguridad y Salud y será previo al comienzo de la obra. El Plan de seguridad y salud de la obra se atenderá en lo posible al contenido del presente Estudio de Seguridad y Salud. Los medios de protección personal, estarán homologados por el organismo competente. Caso de no existir éstos en el mercado, se emplearán los más adecuados bajo el criterio del Comité de Seguridad e Higiene, con el visto bueno de Dirección Facultativa o Coordinador de Seguridad y Salud.

La Empresa Constructora cumplirá las estipulaciones preceptivas del Estudio de Seguridad y Salud y del Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte, o de los posibles subcontratistas y empleados.

La Contrata realizará una lista de personal, detallando los nombres de los trabajadores que perteneciendo a su plantilla van a desempeñar los trabajos contratados, indicando los números de afiliación a la Seguridad Social. Dicha lista debe ser acompañada con la fotocopia de la matriz individual del talonario de cotización al Régimen Especial de Trabajadores Autónomos de la Seguridad Social; o en su defecto fotocopia de la Inscripción en el libro de matrícula para el resto de las sociedades.

Asimismo, se comunicarán, posteriormente, todas las altas y bajas que se produzcan de acuerdo con el procedimiento anteriormente indicado.

También se presentarán fotocopia de los ejemplares oficiales de los impresos de liquidación TC1 y TC2 del Instituto Nacional de la Seguridad Social. Esta documentación se presentará mensualmente antes del día 10.

#### **Coordinador de seguridad y salud en fase de ejecución:**

La Dirección Facultativa y el Coordinador de Seguridad y Salud considerarán el Estudio de Seguridad como parte integrante de la ejecución de la obra correspondiéndoles el control y la supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación de éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Periódicamente, según lo pactado, se realizarán las pertinentes certificaciones del Presupuesto de Seguridad, poniendo en conocimiento del Promotor y de los organismos competentes el incumplimiento, por parte de la Empresa Constructora, de las medidas de Seguridad contenidas en el Plan de Seguridad.

## **Trabajadores:**

De acuerdo con el artículo 29 de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, los trabajadores tendrán las obligaciones siguientes, en materia de prevención de riesgos:

Corresponde a cada trabajador velar, según sus posibilidades y mediante el cumplimiento de las medidas de prevención que en cada caso sean adoptadas, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario.

Los trabajadores, con arreglo a su formación y siguiendo las instrucciones del empresario, deberán en particular:

- Usar adecuadamente, de acuerdo con la naturaleza de los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas de éste.
- No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes o que se instalen en los medios relacionados con su actividad o en los lugares de trabajo en los que ésta tenga lugar.
- Informar de inmediato a su superior jerárquico directo, y a los trabajadores asignados para realizar actividades de protección y de prevención o, en su caso, al servicio de prevención, acerca de cualquier situación que, a su juicio, entrañe, por motivos razonables, un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.
- Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y salud de los trabajadores en el trabajo.
- Cooperar con el empresario para que éste pueda garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y no entrañen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores.

El incumplimiento por los trabajadores de las obligaciones en materia de prevención de riesgos a que se refieren los apartados anteriores tendrá la consideración de incumplimiento laboral a los efectos previstos en el artículo 58.1 del Estatuto de los Trabajadores. Lo dispuesto en este apartado será igualmente aplicable a los socios de las cooperativas cuya actividad consista en la prestación de su trabajo, con las precisiones que se establezcan en sus Reglamentos de Régimen Interno.

#### 8.8.2. CONDICIONES DE NATURALEZA TECNICA

Se definen en este apartado las condiciones técnicas que han de cumplir los diversos materiales y medios auxiliares que deberán emplearse, de acuerdo con las prescripciones del presente Estudio de Seguridad en las tareas de Prevención durante la ejecución de la obra.

Con carácter general todos los materiales y medios auxiliares cumplirán obligatoriamente las especificaciones contenidas en el Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación que le sean aplicables con carácter específico, las protecciones personales y colectivas y las normas de higiene y bienestar, que regirán en la ejecución de la obra, serán las siguientes.

##### Condiciones de los medios de protección

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tienen fijada una vida útil, desechándose a su término. Si se produjera un deterioro más rápido del previsto en principio en una determinada protección, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista.

Toda protección que haya sufrido un deterioro, por la razón que fuere, será rechazada al momento y sustituida por una nueva.

Aquellos medios que por su uso hayan adquirido holguras o desgastes superiores a los admitidos por el fabricante, serán repuestos inmediatamente. El uso de una prenda o equipo de protección nunca deberá representar un riesgo en sí mismo.

### Equipos de protección individual

El equipo de protección individual, de acuerdo con el artículo 2 del R.D. 773/97 es cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin, excluyéndose expresamente la ropa de trabajo corriente que no esté específicamente destinada a proteger la salud o la integridad física del trabajador, así como los equipos de socorro y salvamento.

Una condición que obligatoriamente cumplirán estas protecciones personales es que contarán con la Certificación "CE", R.D. 1407/1992, de 20 de Noviembre.

Deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

### Protecciones colectivas

En su conjunto son las más importantes y se emplean acordes a las distintas unidades o trabajos a ejecutar. También en ellas podemos distinguir:

Unas de aplicación general, es decir, que tienen o deben tener presencia durante toda obra (señalización, instalación eléctrica, Extintores, etc.) y otras que se emplean sólo en determinados trabajos: andamios, barandillas, redes, vallas, etc.

#### **Vallas de protección**

Estarán construidas a base de tubos metálicos, teniendo como mínimo 90 cm. de altura. Dispondrán de patas para mantener su verticalidad.

#### **Marquesinas de seguridad**

Tendrán el vuelo y la resistencia adecuados para soportar, el impacto de los materiales y su proyección hacia el exterior.

### **Barandillas**

Las barandillas rodearán el perímetro de la planta debiendo estar condenado el acceso a otras por, el interior de las escaleras. Deberán tener la suficiente resistencia para garantizar la retención de personas.

### **Escaleras de mano**

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes.

### **Plataformas elevadoras**

Tendrán la suficiente resistencia para la carga que deban soportar, estarán convenientemente ancladas y dotadas de barandillas. Cables de sujeción de cinturón de seguridad, sus anclajes y soportes han de tener la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que puedan ser sometidos de acuerdo con su función protectora.

### **Redes**

Serán de poliamida y sus dimensiones principales serán tales que cumplan con garantía la función protectora para la que están previstas.

### **Pórticos limitadores de gálibos**

El dintel estará debidamente señalizado de forma que llame la atención. Se colocaran carteles a ambos lados del pórtico anunciando dicha limitación de altura.

### **Señales**

Estarán de acuerdo con la normativa vigente.

### **Interruptores diferenciales y tomas de tierra**

La sensibilidad mínima de los interruptores diferencial será para alumbrado de 30 mA y para fuerza de 300 mA.

La resistencia de las tomas de tierra no ser superior a la que garantice, de acuerdo con la sensibilidad del interruptor diferencial, una tensión máxima de contacto de 24 V.

Se medirá su resistencia de forma periódica.

### **Extintores**

Serán adecuados en agente extintor y tamaño al tipo incendio previsible y se revisaran cada seis meses como máximo.

### **Botiquín**

Los lugares de trabajo dispondrán de material para primeros auxilios en caso de accidente, que deberá ser adecuado, en cuanto a su cantidad y características, al número de trabajadores, a los riesgos a los que estén expuestos y a las facilidades de acceso al centro de asistencia médica más próximo, según se define en el Anexo VI del R.D. 486/97 de Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

Se dispondrá además de un botiquín portátil que contenga desinfectantes y antisépticos autorizados, gasas estériles, algodón hidrófilo, vendas, esparadrapo, apósitos adhesivos, tijeras, pinzas y guantes desechables. Este material se revisará periódicamente y se irá reponiendo en cuanto caduque o se utilice.

Si se supera el número de 50 trabajadores se deberá disponer de un local destinado a los primeros auxilios y otras acciones sanitarias. Igualmente en lugares de trabajo con más de 25 trabajadores si, por su peligrosidad, así lo estime la autoridad laboral.

### **Instalaciones de Higiene y Bienestar**

Los vestuarios, duchas, lavabos y retretes se dispondrán en los términos en que se expresa el Anexo V del mencionado R.D. 486/97.

Se dispondrá del personal necesario para la limpieza y conservación de estos locales con las condiciones higiénicas exigibles.

### **Partes de accidentes y deficiencias**

Contará, al menos, con los datos siguientes: Identificación de la obra. Día, mes y año en que se ha producido el accidente. Hora de producción de accidente. Nombre del accidentado. Categoría personal y oficio del accidentado. Lugar (tajo) en el que se produjo el accidente. Causas del accidente. Importancia aparente del accidente. Posible especificación sobre fallos humanos. Lugar, persona y forma de producirse la primera cura (Medico, practicante, socorrista, personal

de obra) Lugar de traslado para hospitalización. Testigos del accidente (verificación nominal versiones de los mismos).

Como complemento de este parte se emitirá un informe que contenga:

- Explicaciones sobre como se hubiera podido evitar el accidente.
- Ordenes inmediatas para ejecutar.

### **Parte de deficiencias**

Que deberá contar con los datos siguientes: Identificación de la obra. Fecha en que se ha producido la observación. Lugar (tajo) en el que se ha hecho la observación. Informe sobre la deficiencia observada. Estudio de mejora de la deficiencia en cuestión.

### 8.8.3. CONDICIONES DE NATURALEZA LEGAL

#### Disposiciones legales

Independientemente de la Legislación que se referencia en otro apartado de este Estudio de Seguridad y Salud, habrá que estar a lo dispuesto en la legislación siguiente:

- REGULACION DE LA JORNADA DE TRABAJO Y DESCANSOS. R.D. 1561/1995 de 21 Septiembre y R.D. 2001/1983 de 28 Julio.
- ESTABLECIMIENTO DE MODELOS DE NOTIFICACION DE ACCIDENTES DE TRABAJO. (O.M. 16 Diciembre 1987, B.O.E. 29 Diciembre 1987).

#### Seguros

Deberá contarse con Seguros de Responsabilidad Civil y de otros Riesgos que cubran tanto los daños causados a terceras personas por accidentes imputables a las mismas o a las personas de las que deben responder, como los daños propios de su actividad.

#### 8.8.4. CONDICIONES DE NATURALEZA ECONOMICA

Salvo pacto en contrario, una vez al mes, la empresa contratista redactará la valoración de las partidas que en materia de seguridad se hubiesen realizado en la obra. La valoración se hará conforme al Plan de Seguridad y de acuerdo con los precios contratados por el Promotor, siendo dicha valoración visada y aprobada por la Dirección Facultativa o la coordinación de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras, sin este requisito no podrá ser abonada por el Promotor.

El abono de las certificaciones expuestas anteriormente se hará conforme se estipule en el contrato de obra.

En caso de ejecutar en obra unidades no previstas en principio, se definirán total y correctamente las mismas y se les adjudicará el precio correspondiente procediéndose a su abono tal y como se indica en apartados. En caso de plantearse una revisión de precios, el Contratista comunicará esta proposición al Promotor, por escrito, habiendo obtenido la aprobación previa de la Dirección Facultativa o la coordinación de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras.

#### **8.9.-MEDICIONES Y PRESUPUESTO PARA PROYECTO DE SEGURIDAD**

Debido a la dificultad existente a la hora de redactar un presupuesto de las medidas de seguridad el presupuesto correspondiente se ha llevado a cabo según las oportunas partidas alzadas en el documento presupuesto de este proyecto, ya que es de obligación por parte de cada contratista el incluir un presupuesto de seguridad en el Plan que debe elaborar antes del comienzo de las obras.

En este presupuesto se recogen todas las medidas de protección colectivas y personales que deban utilizar durante el desarrollo de la obra para ejecutar esta en condiciones de absoluta seguridad, admitiéndose partidas alzadas ya que a priori son elementos de difícil valoración.

#### **8.10.- PLANOS**

Cada contratista deberá incluir en el Plan de Seguridad que elaborará antes del inicio de las obras aquellos planos o croquis representativos de los medios de seguridad que vaya a utilizar durante el desarrollo de las obras, así como los esquemas de montaje de aquellos elementos en que sea necesario.



**ESTUDIO BÁSICO DE  
SEGURIDAD Y SALUD**

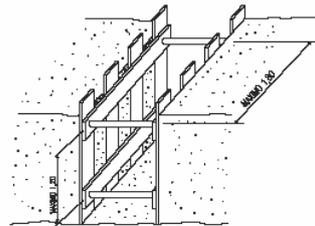
PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA  
PARA LA REGENERACIÓN DE AMINAS  
MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO



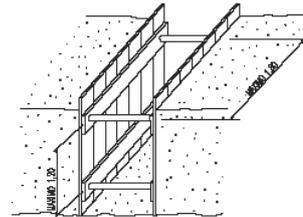
## **ANEXO**

FIGURA N° 1

## ENTIBACIÓN



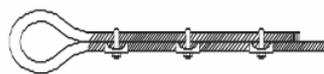
Profundidad entre 1,30 y 2,00 m



Profundidad mayor de 2 m

FIGURA N° 2

## CABLE DE ACERO



Los cables de acero que se ejecuten con perrillos, deben disponerse de forma que la cogida se realice con 3 perrillos al menos y dirigidos todos hacia el mismo lado.

FIGURA N° 3.1

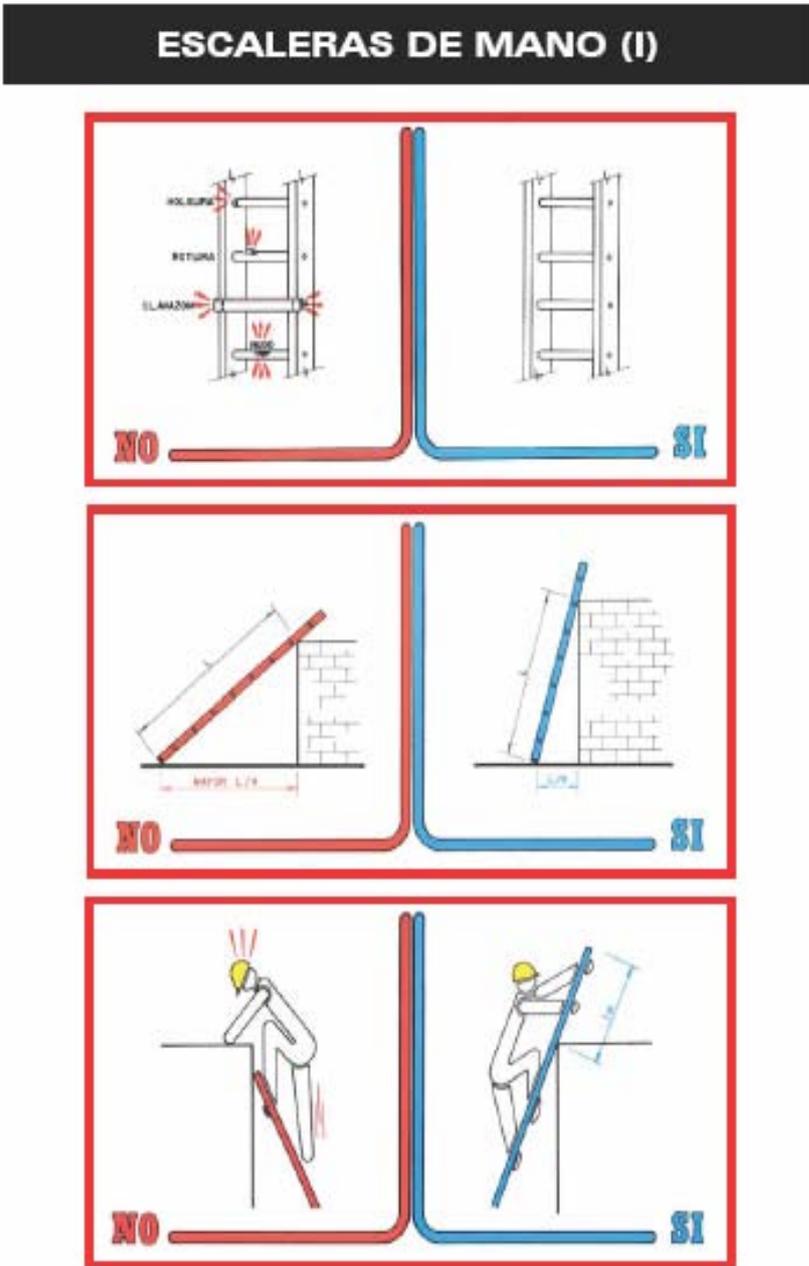


FIGURA N° 3.2

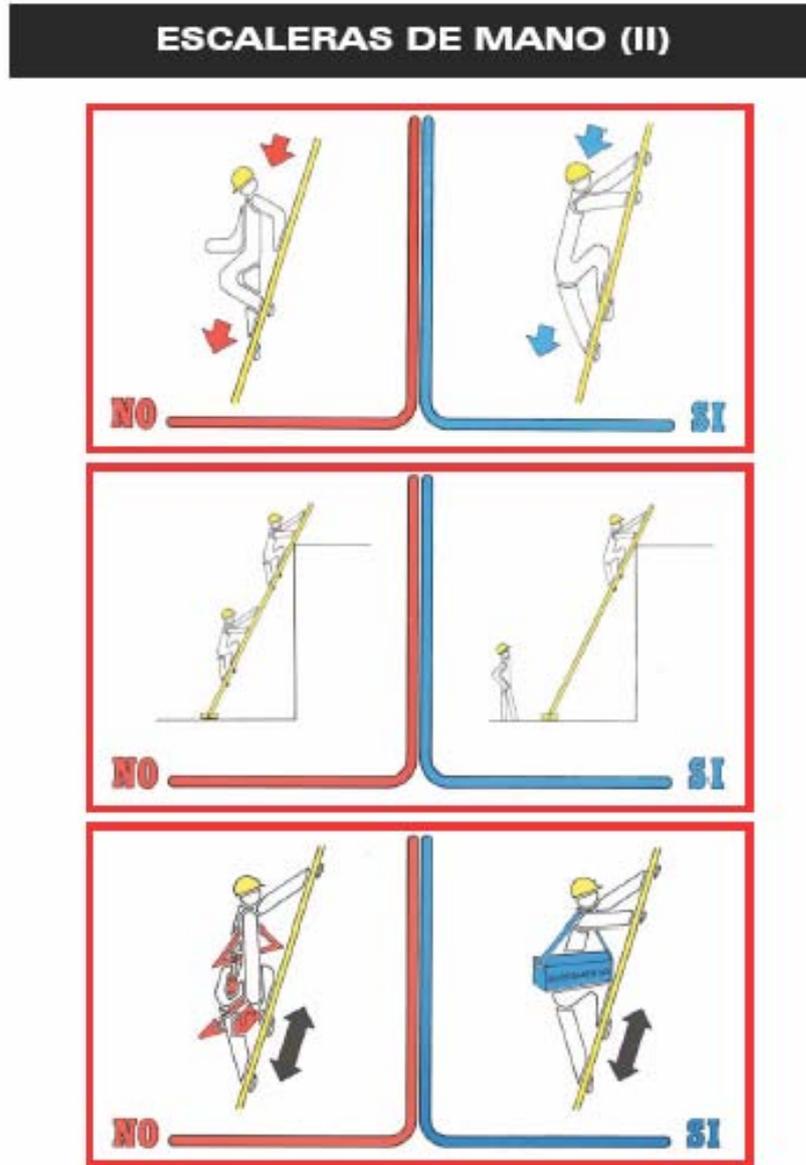


FIGURA Nº 4.1

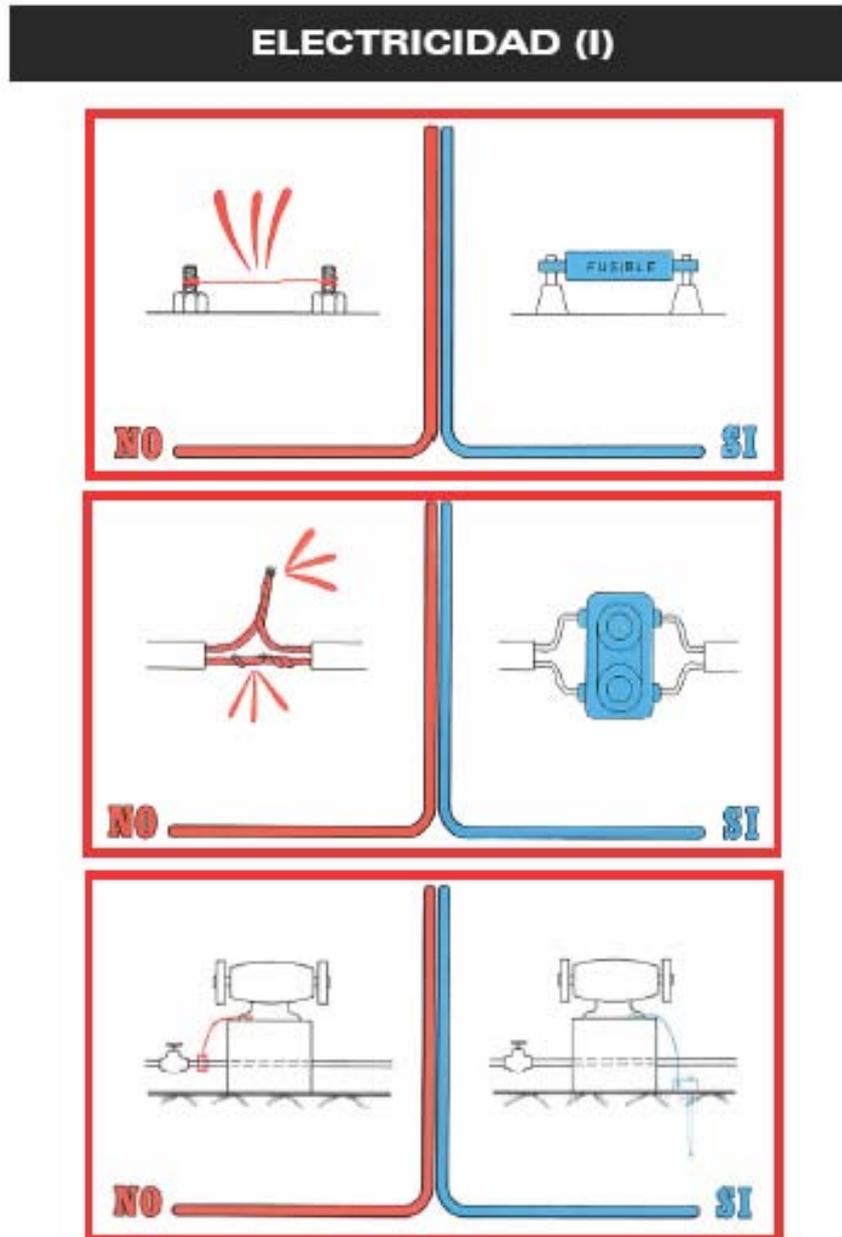


FIGURA Nº 4.2



FIGURA N° 5

## ELEVACIÓN DE CARGAS

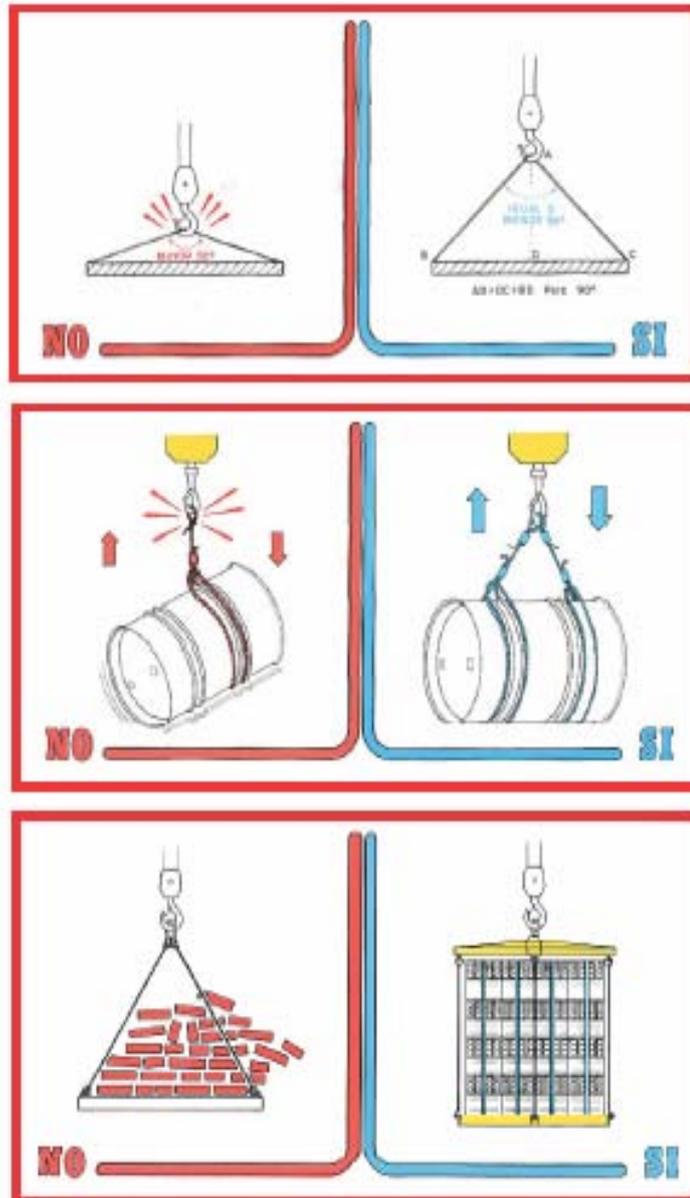


FIGURA N° 6.1

### ANDAMIOS TUBULARES (I)

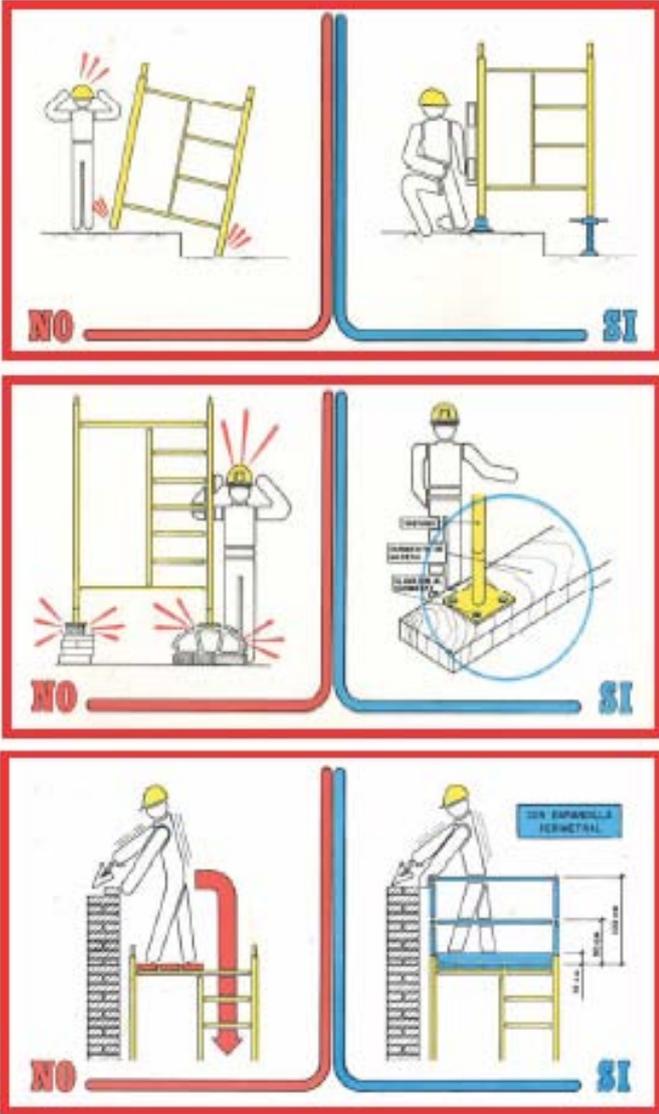


FIGURA N° 6.2

## ANDAMIOS TUBULARES (II)

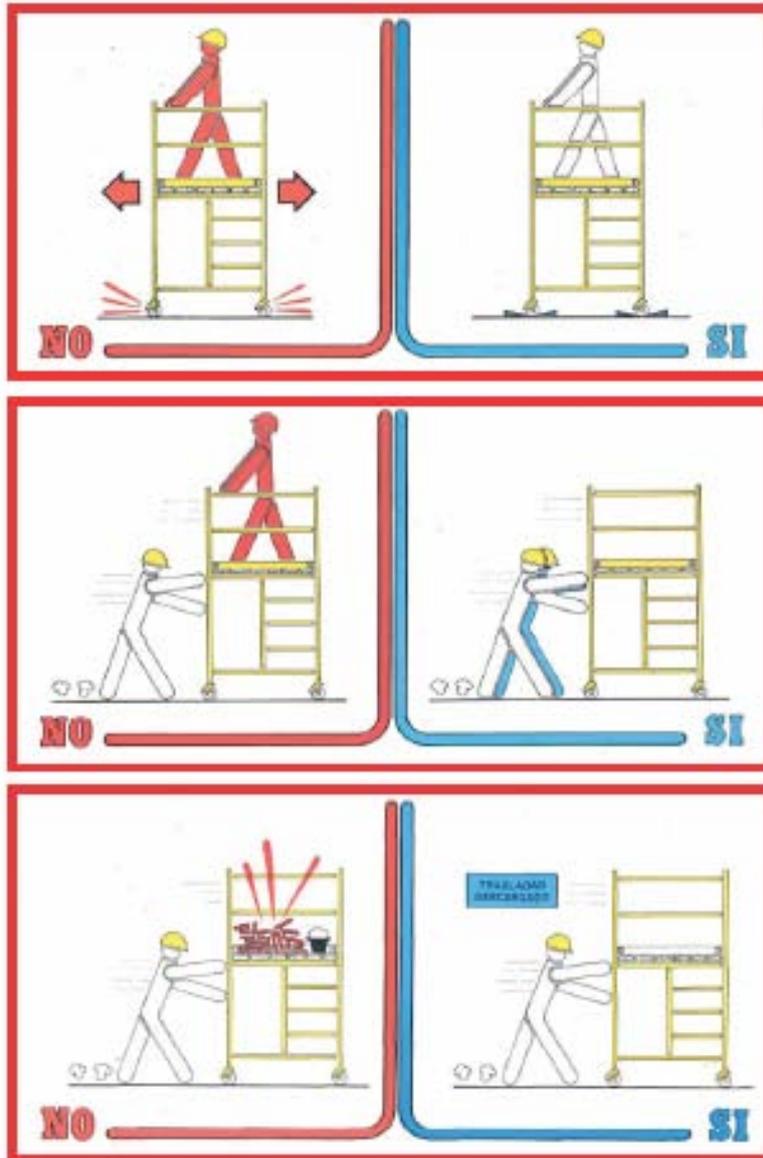


FIGURA Nº 7

TENDIDOS ELÉCTRICOS EXTERIORES

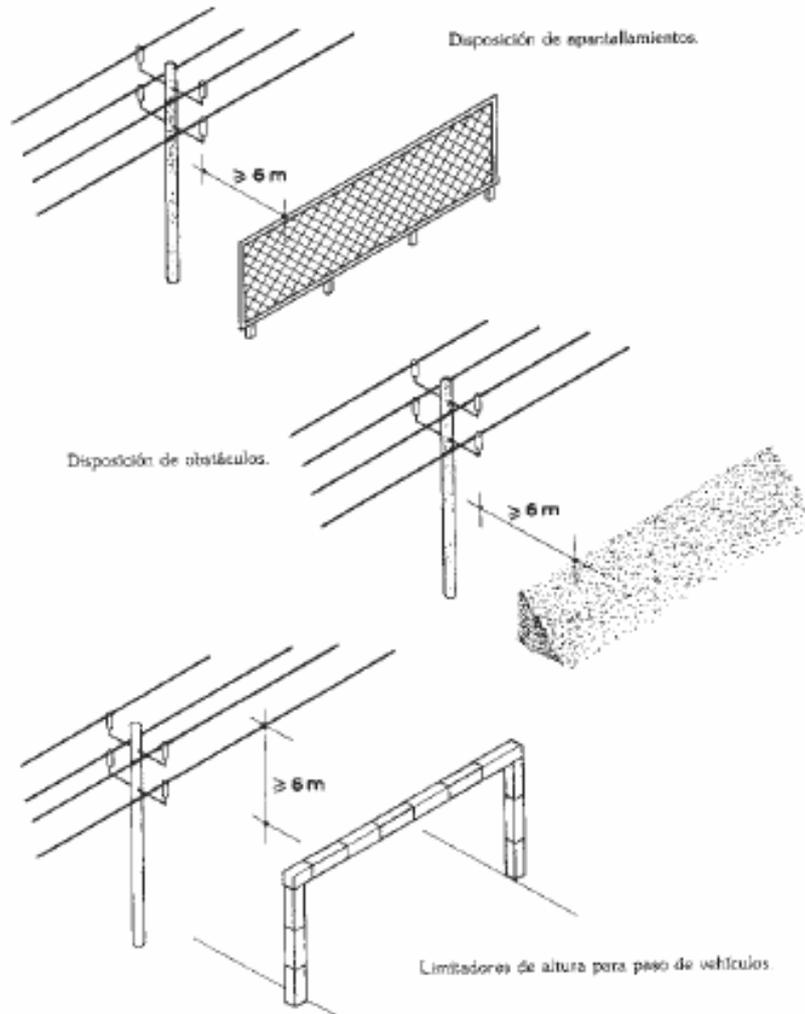
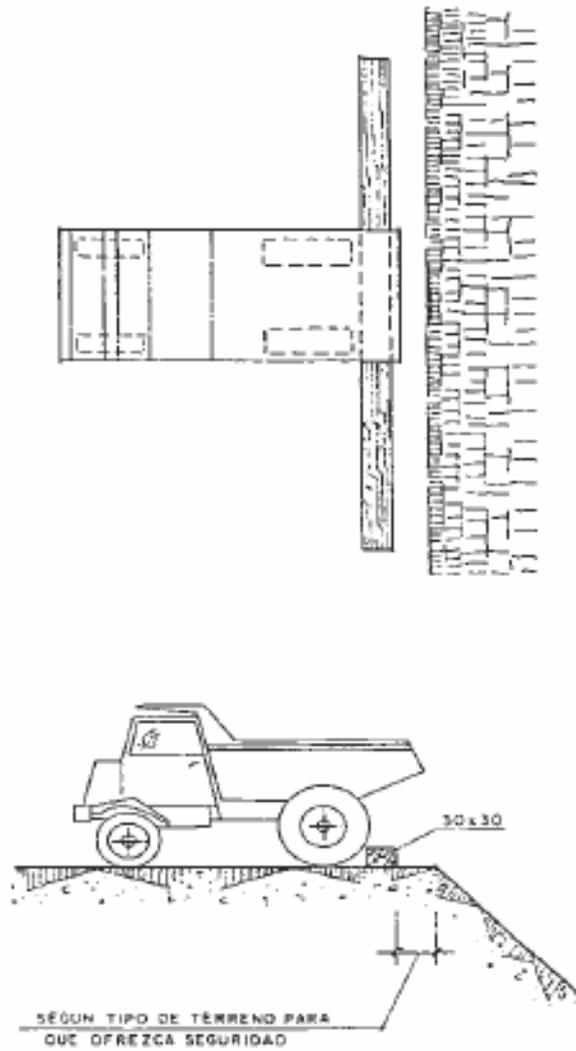


FIGURA Nº 8

TOPE DE RETROCESO





FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERACIÓN DE  
AMINAS MEDIANTE COLUMNA DE RELLENO

DOCUMENTO N° 9

# **CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES**

Macarena Vargas Marín

Septiembre, 2007

## 9.0. ÍNDICE CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

	<u>Página</u>
<b>9.0 Índice consideraciones medioambientales</b>	<b>1</b>
<b>9.1 Justificación de la Ley 7/1994, de la Comunidad Autónoma Andaluza</b>	<b>2</b>
<b>9.2 Trámites administrativos de la Evaluación de Impacto Ambiental</b>	<b>5</b>
<b>9.3 Emisiones atmosféricas</b>	<b>6</b>
<b>9.4 Vertidos líquidos</b>	<b>8</b>
<b>9.5 Residuos sólidos</b>	<b>8</b>
<b>9.6 Emisión de ruido</b>	<b>10</b>
<b>9.7 Olores</b>	<b>10</b>
<b>9.8 Impacto visual</b>	<b>11</b>

## **9.1. JUSTIFICACIÓN DE LA LEY 7/1994 DE LA C.A. ANDALUZA**

Según la Ley 7/1994, de 18 de Mayo, de Protección Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía, desarrollada en el Reglamento de 292/1995 de Evaluación de Impacto Ambiental, será de aplicación tal como se expresa en el artículo 3, a los planes, programas y proyectos de construcción, instalaciones u obras públicas o privadas que se hallen comprendidas en sus anexos I, II y III.

Adicionalmente, en el Artículo 8, se cita que se elaborará una Evaluación de Impacto Ambiental para las actuaciones incluidas en el Anexo primero.

Tal y como se comprueba, la actividad definida en este proyecto se encuentra clasificada en el punto 7 del Anexo I como: “Instalaciones químicas integradas”. Por ello, para la legalización de esta instalación, se requerirá la elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Dado que el EIA es un instrumento de gestión de carácter preventivo, el EsIA (Estudio de Impacto Ambiental), como documento técnico que se incluye en el procedimiento administrativo general de la EIA, será de tipo prospectivo.

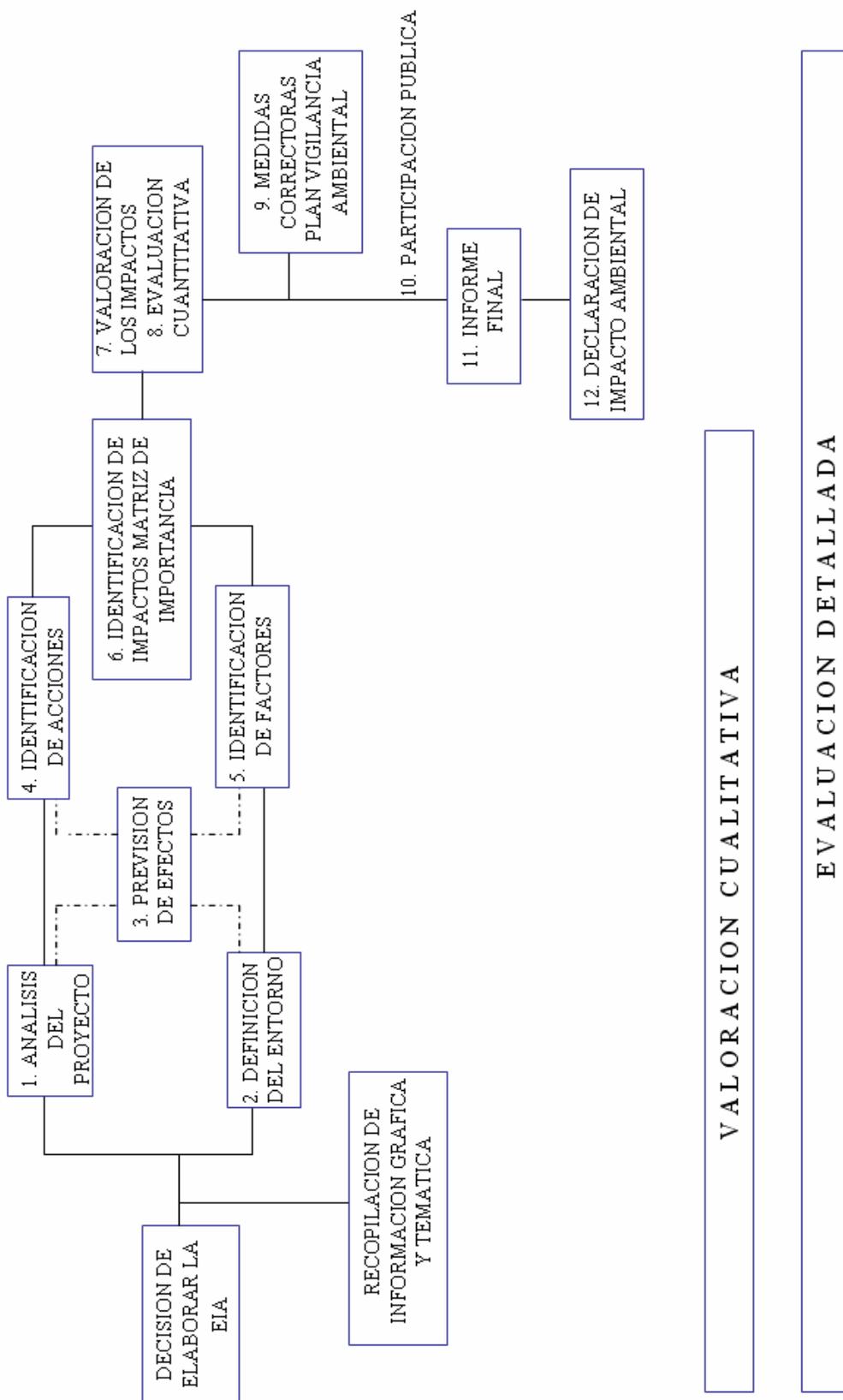
El EsIA, es el documento técnico, de carácter interdisciplinar, que incorporado en el procedimiento de la EIA, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que la actividad consistente en la regeneración de amina puede causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno.

Formando parte del proceso de EIA, es el documento técnico que debe presentar el titular del proyecto, y sobre la base del que se produce la Declaración o Estimación de Impacto Ambiental. Este estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, los efectos notables que la realización de este proyecto podrá producir sobre los distintos aspectos ambientales.

En conclusión, el EsIA es un elemento de análisis que interviene de manera esencial en cuanto a dar información en el procedimiento administrativo que es la EIA y que culmina con la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

Las fases por las que se desarrolla el EsIA incluido en la EIA, se sintetizan en las siguientes:

- Análisis del proyecto y sus alternativas.
- Definición del entorno del proyecto.
- Previsiones de los efectos.
- Identificación de las acciones.
- Identificación de los factores del medio.
- Identificación de relaciones causa-efecto.
- Predicción de la magnitud.
- Valoración cuantitativa.
- Definición de las medidas correctoras.
- Proceso de participación pública.
- Emisión del informe final.
- Decisión del órgano competente.



## 9.2. TRAMITES ADMINISTRATIVOS DE LA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

La normativa andaluza de Prevención Ambiental distingue entre la Evaluación de Impacto Ambiental de:

- Proyectos.
- Planes urbanísticos.
- Planes y programas de infraestructuras físicas.

A este respecto debe considerarse que:

- a) La Evaluación de Impacto Ambiental valorará los efectos directos e indirectos de la propuesta de actuación sobre la población humana, la fauna, la flora, la gea, el suelo, el aire, el agua, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas previsiblemente afectados. Asimismo comprenderá la estimación de los efectos sobre los bienes materiales, el patrimonio cultural, las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y las de cualquier otra incidencia ambiental relevante derivada del desarrollo de la actuación.
- b) La Evaluación de Impacto Ambiental de los Planes y programas, recogerá expresamente sus efectos globales y las consecuencias de sus opciones estratégicas, así como la repercusión de aquéllas previsiones susceptibles de ejecución sin necesidad de plan o proyecto posterior sometido a evaluación individualizada. La Declaración de Impacto Ambiental, deberá establecer expresamente, en su caso, las condiciones específicas para la prevención ambiental de las actuaciones posteriores.

La normativa andaluza establece que el órgano con competencia sustantiva no podrá autorizar, aprobar u otorgar licencia o concesión hasta haberse terminado el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto.

### Fases del procedimiento

El procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos puede resumirse en las siguientes fases:

- 1ª Fase: Consultar previas de la Memoria Resumen.
- 2ª Fase: Presentación del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) e Información Pública.
- 3ª Fase: Corrección por el promotor de las posibles deficiencias del EsIA.
- 4ª Fase: Emisión de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) por el Órgano Ambiental.
- 5ª Fase: Resolución de posibles discrepancias entre el Órgano Sustantivo y el Ambiental.
- 6ª Fase: Publicación de la DIA en el Diario Oficial (BOJA O BOP).

### Contenidos del Estudio de Impacto Ambiental

El Estudio de Impacto Ambiental contendrá, al menos, la siguiente información:

1. Descripción del proyecto y sus acciones. Examen de alternativas técnicamente viables y presentación de la solución adoptada.
2. Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas y ambientales claves.
3. Identificación y valoración de impactos en las distintas alternativas.
4. Propuesta de medidas protectoras y correctoras.
5. Programa de Vigilancia Ambiental.
6. Documento de síntesis.

## **9.3. EMISIONES ATMOSFERICAS**

El diseño y el funcionamiento de la planta regeneradora de amina se ajustarán a los requisitos del Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Los objetivos de dichos requisitos son la prevención o reducción de sus efectos perjudiciales en la salud humana y en el medio ambiente en su conjunto, el establecimiento de métodos y criterios comunes de evaluación de la concentración y depósito de los hidrocarburos aromáticos policíclicos e el aire ambiente y garantizar la obtención y la puesta a disposición pública de información adecuada sobre dicha concentración y depósito.

#### Definiciones según R.D. 812/2007, de 22 de junio

El Real Decreto 812/2007, de 22 de junio sobre la calidad del aire ambiente establece, entre otras, las siguientes definiciones:

<<Hidrocarburos aromáticos policíclicos>>: compuestos orgánicos formados por al menos dos anillos condensados aromáticos constituidos en su totalidad por carbono e hidrógeno.

<<Valor objetivo>>: la concentración en el aire ambiente fijada para evitar, prevenir o reducir los efectos perjudiciales en la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse en lo posible durante un determinado periodo de tiempo.

<<PM10>>: las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo, definido en la norma UNE EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10  $\mu\text{m}$ , con una eficiencia de corte del 50%.

En el anexo primero de este R.D., se fija el valor objetivo del benzo(a)pireno en 1  $\text{ng}/\text{m}^3$ , referido al contenido total en la fracción PM10 como promedio durante un año natural.

#### Emisiones a la atmósfera

Los hidrocarburos decantados son enviados al sistema de antorchas preexistente. Su composición y cantidad depende de la cantidad y calidad de la carga recibida de las distintas unidades.

## 9.4. VERTIDOS LÍQUIDOS

Durante la limpieza de los filtros puede enviarse DEA a las arquetas. Esta limpieza se realiza esporádicamente, cuando se observa obstrucción en los mismos.

El resto de equipos contarán con drenajes que verterán sus residuos líquidos al sistema de drenajes de refinería y que, dependiendo del tipo de fluido del que se trate, se dirigirá hacia su punto adecuado de tratamiento y almacenamiento dentro de la propia refinería.

La realización de un cubeto alrededor de los equipos sujetos a posibles derrames, de acuerdo con la normativa vigente, es una medida correctora de dicha situación, pero no está incluido en el alcance de este proyecto por tratarse de obra civil.

## 9.5. RESIDUOS SÓLIDOS

El diseño y posterior funcionamiento de la planta regeneradora de amina cumplirá con las exigencias del Real Decreto 833/1988 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

El objeto de dichas exigencias es que las actividades productoras de los residuos sólidos y su gestión, se realicen garantizando la protección de la salud humana, la defensa del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

En el anexo primero de dicho R.D. se establecen los criterios para considerar un residuo como tóxico y peligroso. En dicho anexo se muestran las siete tablas que ayudan a identificar los residuos que se generan.

### Residuos tóxicos y peligrosos

Dentro de esta categoría se considera a los filtros de DEA, que son de cartón, se sustituyen aproximadamente una vez al año según su estado, y están contaminados por productos de descomposición de la DEA. Se envían a tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. El código de identificación de este residuo es:

Q5//R3//L20//C44//H4//A451(1)//B5218

También se produce carbón activo impregnado de productos de descomposición de DEA. Este carbón procede del filtro de carbón realizándose un cambio de carbón al año. La cantidad empleada es de 8000 Kg de carbón al año. Se envían a tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Su código de identificación es el mismo que para el caso anterior.

Todos estos residuos contaminados (filtros y carbón activo) se gestionarán para su ulterior recogida por empresas autorizadas.

En cuanto a los residuos inertes y los residuos sólidos urbanos, se tienen recortes de chapas, electrodos, varillas, etc. procedentes de las actividades de mantenimiento de las instalaciones sobre todo durante los periodos de montaje, paradas y reparaciones (Residuos Inertes Voluminosos) y también se generan restos de embalajes, plásticos, bolsas, palés y cajas procedentes del material empleado en el mantenimiento de las instalaciones (R.S.U.).

Todos estos residuos se regirán por lo estipulado en la ley 10/1998 de 21 de Abril acerca de los Residuos. Esta ley establece el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos, y fomenta la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los mismos, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.

Los residuos sólidos urbanos se recogerán en contenedores adecuados a este uso y posteriormente serán recogidos por una empresa autorizada por la refinería para su traslado al vertedero correspondiente.

Para todos estos residuos, la medida a tomar es el establecimiento a priori de qué residuos son peligrosos y cuáles inertes. Se procederá a una recogida periódica de los no reciclables por un gestor autorizado. Los materiales inertes serán enviados a una empresa destinada a su recogida. Los residuos deberán ser guardados en zonas habilitadas a tal fin y en contenedores adecuados.

Como medida preventiva, se mantendrán limpios el ambiente y el suelo de las instalaciones.

## 9.6. EMISION DE RUIDO

El ruido creado en las instalaciones procede de la maquinaria, básicamente de las bombas y motores diversos y de las conversaciones entre los operarios. El punto de nivel de ruido más alto es junto a la bomba B-02 (bomba de fondo de la regeneradora), siendo el nivel de Leq de 94.1, valor del nivel continuo equivalente en dBA, y se define como el nivel de un ruido constante que tuviera la misma energía sonora al medir durante el mismo periodo de tiempo.

El ruido emitido en la instalación debe cumplir en la Comunidad Andaluza con las condiciones marcadas por el Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía y con las Ordenanzas Municipales de San Roque (18/Junio/2001).

En el anexo primero, en la tabla número 2, se indican los niveles límite de emisión de ruido en el exterior de las edificaciones. Debido a que se supera una transmisión total al exterior de 75 dBA (en horario diurno de 7-23 h) en el exterior de las instalaciones, será necesario adoptar alguna medida correctora. Dicha medida correctora consistirá en instalar un dispositivo que aisle acústicamente la bomba B-03.

Con estas medidas, en los puestos de trabajo el nivel diario equivalente o el nivel de Pico serán inferiores a 80 dBA y 140 dBA, según indica el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

## 9.7. EMISION DE OLORES

Como consecuencia de las actividades que se realizarán en las instalaciones de la planta regeneradora de amina, se puede concluir que los únicos elementos que pueden generar olores son los vapores de gases ácidos que puedan evaporar debido a fallos o fisuras en algún equipo o conducción de la planta, y las producidas por los posibles derrames, para lo cual se deberá proceder a una limpieza regular de las instalaciones y se comprobará periódicamente el correcto sellado de los elementos estancos diseñados e instalados.

## **9.8. IMPACTO VISUAL**

El entorno visual de los alrededores corresponde al de una refinería con instalaciones de similares características por lo que no se produce ningún tipo de impacto visual.

