

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una planta de oxidación de compuestos orgánicos volátiles con capacidad de oxidación de 30000 kg/h.

Autor: Ignacio AGUIRRE FERNÁNDEZ-PRADA

Fecha: Noviembre 2007





DOCUMENTOS DEL PROYECTO

1.- DOCUMENTO N° 1: MEMORIA Y ANEXOS.

2.- DOCUMENTO N° 2: PLANOS.

3.- DOCUMENTO N° 3: PLIEGO DE CONDICIONES.

**4.- DOCUMENTO N° 4:
PRESUPUESTO.**

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

**DOCUMENTO N° 1: MEMORIA Y
ANEXOS.**

PROYECTO BÁSICO.

ÍNDICE MEMORIA Y ANEXOS.

A) MEMORIA.

1.1. Objeto del proyecto	2
1.2. Alcance.....	2
1.3. Antecedentes	3
1.4. Normas y referencias.....	5
1.4.1. Disposiciones legales y normativa aplicada.....	5
1.4.2. Bibliografía.....	6
1.4.3. Programas de cálculo	8
1.5. Definiciones y abreviaturas	8
1.6. Requisitos de diseño	11
1.7. Análisis de soluciones	18
1.8. Resultados finales	26
1.9. Descripción del proceso.....	32
1.10. Orden de prioridad entre documentos	35
1.11. Sistema de control.....	36
1.11.1 Variables a controlar	38
1.11.2 Sistema de monitoreo continuo	42
1.11.3 Secuencia de encendido.....	43
1.11.4 Lead/Lag control de temperatura.....	44
1.12. Disposición de equipos y línea principal del proceso.....	44
1.13. Tipos de intercambiadores de calor.....	45
1.14. Suportación de tuberías.....	60
1.15. Aislamiento de tuberías.....	61
1.16. Sistema de protección contra incendios.....	62
1.17. Sistema de alumbrado.....	65
1.18. Seguridad.....	68

B) ANEXOS A LA MEMORIA.

ANEXO I: CÁLCULOS.....	1
ANEXO II: COMBUSTIÓN.....	65
ANEXO III: CARACTERÍSTICAS DE OXIDADORES Y QUEMADORES.....	81
ANEXO IV: INSTRUMENTACIÓN.....	113
ANEXO V: CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES.....	144
ANEXO VI: HOJAS DE ESPECIFICACIONES.....	154
ANEXO VII: TABLAS Y FIGURAS.....	159

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

MEMORIA.

PROYECTO BÁSICO.

Índice.

1.1. Objeto del proyecto	2
1.2. Alcance.....	2
1.3. Antecedentes	3
1.4. Normas y referencias.....	5
1.4.1. Disposiciones legales y normativa aplicada.....	5
1.4.2. Bibliografía.....	6
1.4.3. Programas de cálculo	8
1.5. Definiciones y abreviaturas	8
1.6. Requisitos de diseño	11
1.7. Análisis de soluciones	18
1.8. Resultados finales	26
1.9. Descripción del proceso.....	32
1.10. Orden de prioridad entre documentos	35
1.11. Sistema de control.....	36
1.11.1 Variables a controlar	38
1.11.2 Sistema de monitoreo continuo	42
1.11.3 Secuencia de encendido	43
1.11.4 Lead/Lag control de temperatura.....	44
1.12. Disposición de equipos y línea principal del proceso.....	44
1.13. Tipos de intercambiadores de calor.....	45
1.14. Suportación de tuberías.....	60
1.15. Aislamiento de tuberías.....	61
1.16. Sistema de protección contra incendios.....	62
1.17. Sistema de alumbrado.....	65
1.18. Seguridad.....	68
1.19. Sistema de numeración.....	75

1.1. Objeto del proyecto.

El objetivo de este proyecto, es el diseño de una instalación de oxidación térmica de compuestos orgánicos volátiles con sistema recuperativo a nivel de ingeniería básica, con su consecuente realización de dimensionado de los distintos equipos que conforman dicho sistema.

Su justificación reside en la necesidad de depuración de una corriente gaseosa de compuestos orgánicos volátiles mediante oxidación térmica, basándose en la legislación existente a aplicar. (Directiva 2001/81/CE, RD – 653/2003 de 30 de mayo y RD – 430/2004 de 12 de marzo.)

Esta legislación nos obliga a mantener la corriente en el oxidador a 850°C, con un tiempo de residencia de al menos dos segundos, para los compuestos orgánicos volátiles más comunes, con una eficiencia de destrucción del 95 al 99%.

Se aprovechará el calor residual de los gases de salida del oxidador térmico, para generar vapor en una caldera de recuperación.

1.2. Alcance.

El diseño de la planta de oxidación térmica de compuestos orgánicos volátiles, consta de los siguientes equipos:

- Oxidador térmico, el cuál se compone de cámara de combustión y quemador.
- Caldera de recuperación, cuyos requerimientos serán especificados. Se consultará con varios proveedores para que cumpla con el caudal de vapor de media a generar según datos de partida, (18 Kg/cm² y 210 °C) que ronda los 12000 Kg/h.
- Intercambiador de calor gas-gas, que actuará como precalentador de nuestra corriente de gases a tratar (Compuestos orgánicos volátiles.).
- Sistema de control automático, y dimensionado de sistema de tuberías.

Como se indica en el documento Planos, se delimita mediante límite de batería, el alcance de dicho proyecto, que comenzaría en el colector general (OTR- 18"-COV-001-A152-C), transportando dichos gases a través de los equipos mencionados anteriormente, que se conectan mediante las diferentes líneas como se explican con

detalle en el apartado 1.9 de dicha memoria, siendo el límite de batería posterior, la línea que conecta la salida del precalentador de los gases oxidados y dirigida hacia chimenea (OTR-24"-PO-005-A152-C).

1.3. Antecedentes.

La instalación a diseñar, objeto de proyecto, se ubica en la planta de combustibles de la refinería "Gibraltar" perteneciente al municipio de San Roque, en la provincia de Cádiz.

Dicho proyecto tiene como objeto la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, mencionado en el anterior punto 1.1.

Las empresas afectadas en el Campo de Gibraltar son: VORDIAN, TORRASPAPEL, NUEVA GENERADORA DEL SUR, ACERINOX, INTERQUISA, REFINERÍA GIBRALTAR, LUBRISUR, PETRESA entre las más relevantes en relación al Plan de Minimización de repercusiones ambientales, que debido a situaciones transitorias o incidentes, no han cumplido con los plazos establecidos en la Orden de 15 de septiembre de 2005, por la que se aprueba el Plan de acción medioambiental para el Campo de Gibraltar, siendo dicha Orden de obligado cumplimiento.

Este proyecto surge de la necesidad de aplicar medidas efectivas para la reducción de dichos compuestos orgánicos volátiles, ya que las medidas preventivas que se están llevando a cabo son en la mayoría de los casos insuficientes.

Las medidas usuales de prevención suelen ser: reparar cuanto antes en caso de fuga, cortar origen de fugas "si es posible", trabajar a favor del viento, concretando, son medidas siempre internas, consistentes en parches poco fiables y que pueden ser de peligro para la población.

Es realmente grave, que no se le de la importancia a los COV'S, para los que no existe un límite legal que garantice que no son perjudiciales para la salud. Son de hecho, responsables de muertes, penetran en el sistema respiratorio y en la sangre y, actúan como disruptores endocrinos y hormonales.

Decir que los compuestos orgánicos volátiles, son unos de los cuatro contaminantes responsables de la acidificación, eutrofización de aguas y suelos y formación de ozono en la troposfera. Por ello surge la directiva 2001/81/CE, dicha directiva establece techos nacionales en cuanto a las emisiones de varios contaminantes entre los cuales se encuentran los COV'S. Dichos techos serán de obligado cumplimiento para el año 2010, siendo el valor en el territorio nacional de 662 KTon de acuerdo con el Protocolo de Gotemburgo.

Además la Ley de 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, establece un listado de los compuestos susceptibles de fijación de límites de emisión, donde figuran los COV'S.

Dicha Ley, nos deriva a acatar el Real Decreto 430/2004, de 12 de marzo, donde se pueden incluir las normas sobre limitación de emisiones procedentes de la incineración de residuos, rigiendo en esta materia el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos, de éstos se fija un límite de emisión de 10 mg/Nm³.

Además de este motivo, se ha observado que dichos gases tiene un alto poder calorífico y que mediante su incineración, se puede aprovechar el calor generado de la destrucción de dichos contaminantes, mediante la producción de vapor de media generada por una caldera recuperativa.

Dentro de la refinería "Gibraltar", en la Planta de Combustibles se localizan una serie de emisiones de COV'S, situadas en el área de Desulfuración.

Las emisiones de dichos compuestos orgánicos volátiles, proceden de las unidades de hidrodesulfuración 1, 2 y 3 de la planta de combustibles, y de equipos próximos que trabajan con hidrocarburos ligeros que precisan de un purgado y de venteo.

Para ello existe un colector que va recogiendo el caudal de cada una de las conducciones que parten de dichas unidades y equipos, y sobre la cuál nos serviremos para reducir y si es posible eliminar dichos contaminantes.

Luego por los motivos anteriormente expresados, se decide reducir dichas emisiones mediante oxidación térmica con sistema recuperativo.

1.4. Normas y referencias.

1.4.1. Disposiciones legales y normativa aplicada.

Para la realización de este proyecto, se ha aplicado una serie de normas y reglamentos que a continuación se exponen:

En cuanto a normativa referente a medio ambiente:

- Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2001 sobre techos nacionales de determinados contaminantes atmosféricos.
- Ley 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Decreto 833/1975 de 6 de febrero.
- Ley 38/1972 de 22 de diciembre, protección del ambiente atmosférico.
- Real Decreto 430/2004 de 12 de marzo, relativa a limitación de emisiones de determinados agentes contaminantes, procedentes de grandes instalaciones de combustión.
- Real Decreto 653/2003 de 30 de mayo referente a incineración de residuos.
- Decreto 292/1995 de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de evaluación de impacto ambiental en la comunidad autónoma de Andalucía.
- Decreto 59/2005 de 1 de marzo.
- Ley 7/1994 de protección ambiental.
- Reglamento de evaluación de impacto ambiental de la comunidad autónoma de Andalucía.
- Orden 15 de septiembre de 2005, Plan de acción medioambiental para el Campo de Gibraltar.

En cuanto a seguridad industrial, protección contra incendios y aparatos a presión:

- Real Decreto 1523/1999 de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas.
- ITC MI-IP-01 referente a refinerías de petróleo.
- Real Decreto 1244/1979, por el que se aprueba el Reglamento de aparatos a presión.

- ITC MIE-AP6, aparatos a presión en refinerías.
- Real Decreto 1942/1993 de 5 de noviembre, Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Instrucción MIE-BT-026.
- Especificaciones CEPESA de aislamientos de tuberías ESP-4205-1.

1.4.2. Bibliografía.

[1] BODURTHA, F.T.

Industrial Explosion Prevention and Protection

Nueva York, McGraw-Hill Book Company, 1980.

[2] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION

Manual de Protección contra Incendios

Madrid, Editorial MAPFRE, 1978.

[3] JOHNSTON, J.C.

Estimating flash points for organic aqueous solutions

Chemical Engineering, 1974.

[4] PERRY, R.H. y GREEN, D.

Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6ª ED.

Nueva York, Mc Graw-Hill, 1984

[5] ÁNGEL VIAN Y JOAQUÍN OCÓN

Elementos de Ingeniería Química (Operaciones Básicas). 3ª ED.

Madrid, Aguilar, 1961.

[6] MANUALES TÉCNICOS Y DE INSTRUCCIÓN PARA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

Combustibles y su combustión.

Madrid, Centro de estudios de la energía.

[7] NICHOLAS P. CHEREMISINOFF.

Pressure safety design practices for refinery and chemical operations.

William Andrew, INC, 1998.

[8] D. MANUEL RUIZ PUEYO

Intercambiadores de calor.

Barcelona, 1980.

[9] JOAQUIN MARIA DE AGUINAGA Y MANUEL CASTILLO.

Normas de presentación de Proyectos fin de carrera.

Madrid.

[10] INTECSA-UHDE.

Curso de intercambiadores de Calor.

Madrid.

[11] **Heat exchanger design hand book**, reprinted from Hydrocarbon Processing. Gulf Publishing Company. 1968.

[12] **Training Manual: Introduction to ASPEN PLUS.**

(Course number ES.100.111.06).

[13] UNE 9-205-87

Calderas. Cálculos relativos a la combustión.

Octubre 1987.

[14] CLIFFORD JONES.

Hydrocarbon Process Safety.

Pennwell Books, 2003.

[15] INSTITUTE OF CLEAN AIR COMPANIES INTERNET WEB PAGE.

Control technology information, thermal oxidation.

March, 1999

[16] U.S. EPA, OFFICE OF AIR QUALITY PLANNING AND STANDARDS.

Stationary source control techniques document for fine particulate matter.

Research Triangle Park, Octubre, 1998.

[17] DAVID A. LEWANDOWSKI.

Design of thermal oxidation systems for volatile organic compounds.

Lewis Publishers, 2000.

[18] ED BAUSBACHER AND ROGER HUNT.

Process Plant Layout and Piping Design.

P T R Prentice Hall, Inc, 1993.

1.4.3. Programas de cálculo.

En el presente proyecto básico, se ha usado el programa Aspen B-Jac, para cálculo de intercambiadores de calor. [12]

1.5. Definiciones y abreviaturas.

Destacamos las siguientes definiciones:

- Aire en exceso: La cantidad de aire necesario, por el quemador, que está en exceso de la cantidad requerida para la combustión perfecta o estequiométrica. Alguna cantidad del exceso de aire, dependiendo de la energía de la mezcla combustible/aire disponible, es requerida para asegurar a través de la mezcla de combustible y aire la combustión completa.
- Atomizador: Parte de un lanzador neumático de aceite, el cual rompe el flujo de combustible líquido en partículas diminutas por medios tanto mecánicos como por el uso de un medio atomizante. El aceite y el medio atomizante se mezclan en el atomizador y entonces fluye hacia el casquillo del aceite para ser descargada dentro del horno.

- Baldosa del quemador: También llamado “Muffle Block” (bloque envolvente) o “Quarl”. Son las piezas de refractario especialmente formadas, las cuales se montan alrededor de la entrada del quemador dentro del horno. El bloque del quemador forma la entrada del flujo del aire del quemador y ayuda a estabilizar la llama.
- Blowdown: es el método utilizado para remover o eliminar contaminantes del agua del tanque de alimentación de la caldera, que suelen ser sólidos disueltos, el porcentaje respecto al caudal de alimentación de agua, oscila entre el 2 y el 5%.
- Capacidad del quemador: Es la cantidad de liberación de calor que el quemador puede dar, es decir, la cantidad de combustible que puede ser quemada completamente a través del quemador, en un conjunto de condiciones de operación.
- Casquillo de gas: La parte del quemador que descarga el gas combustible por medio de una o más aberturas en el horno.
- Combustión subestequiométrica: es la combustión que se produce mediante cantidades de oxígeno inferiores a las teóricas, ocurriendo una oxidación parcial de los reactivos.
- Densidad del gas referida al aire: Relación entre las masas de volúmenes iguales de gas y aire, supuestamente secos, a la temperatura de 0°C y a la presión de 760 mm.
- Enmascaramiento: es la reducción gradual debido a la acumulación de inquemados o sólidos inorgánicos sobre la superficie del catalizador, de manera que impide la penetración del gas a oxidar hacia las zonas activas del catalizador.
- Envenenamiento: resultado de la desactivación del catalizador, debido a la reacción de un reactivo con el catalizador, para formar un nuevo compuesto, transformando las zonas activas del catalizador en zonas no activas.
- Gasto calorífico: Producto del consumo volumétrico del gas por el poder calorífico del gas.
- Límite inferior de explosividad: Es la concentración mínima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire por debajo de la cual, la mezcla no es explosiva. Por ejemplo el límite inferior de inflamabilidad del vapor de acetona en el aire es aproximadamente 2,6% en volumen. Esto significa que en 100 volúmenes de

mezcla vapor de combustible-aire hay 2,6 % de vapor de acetona y $100 - 2,6 = 97,4$ % de aire.

- Límite superior de explosividad: Es la concentración máxima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire, por arriba de la cual, la mezcla no es explosiva. Estos límites se suelen expresar en porcentajes de volumen del gas o vapor en el volumen de la mezcla.
- Oxidación térmica: es el proceso de oxidar materiales combustibles elevando la temperatura del material por encima de su punto de auto-ignición en la presencia de oxígeno, y manteniéndolo a alta temperatura por un tiempo suficiente para completar su combustión a dióxido de carbono y agua.
- Poder calorífico: El valor calorífico superior o bruto (HHV o GHV) incluye el calor de condensación del agua formada durante la combustión. El valor calorífico inferior o neto (LHV o NHV) omite el calor de condensación del agua.
- Productos de combustión incompleta: son aquellos productos de la combustión que no se han oxidado completamente, debido a un insuficiente tiempo, turbulencia o concentración de oxígeno.
- Quemador: Un aparato el cual combina el combustible y el aire en proporciones adecuadas para la combustión la cual permite que la mezcla combustible-aire se quemé establemente para dar un tamaño y forma de llama específica.
- Retroceso de llama: Fenómeno que sólo ocurre en los quemadores de gas de premezcla cuando la velocidad de la llama supera la velocidad de flujo de la mezcla gas-aire que va hacia el casquillo de gas. La llama retrocede al orificio del gas y puede hacer un sonido explosivo cuando ocurre el retroceso de llama.
- Sinterización: es la aglomeración o densificación del soporte material que contiene las zonas activas del catalizador.
- Sustrato: es el material fino, o partícula de pequeño tamaño, tanto cerámico o metálico, sobre el cuál se deposita el catalizador.
- Temperatura adiabática de llama: es la máxima temperatura que una reacción de combustión puede alcanzar, asumiendo las pérdidas de calor y fenómenos de disociación nulos.
- Tiro: El tiro es la diferencia de presión entre cualquier punto en el horno, conducción o chimenea y la atmósfera circundante. El tiro es una presión ligeramente inferior a la atmosférica (normalmente) y es por lo tanto una presión negativa.

- Turndown: La proporción de “turndown” del quemador es el rango de las velocidades de entrada en las cuales un quemador operará satisfactoriamente.
- Washcoat: Término que se refiere al material que se adhiere al sustrato del catalizador, para proveer un área de contacto elevado con el fin de depositar sobre él, el propio catalizador.

En cuanto a las abreviaturas utilizadas, se dan las siguientes:

- A: Aislamiento.
- AI: Aire a instrumentos.
- AIR: Aire de combustión.
- C: Caldera.
- CH: Chimenea.
- COV: Compuestos orgánicos volátiles.
- E: Intercambiador de calor gas-gas.
- F: Filtro.
- FG: Fuel gas.
- LIE: Límite inferior de explosividad.
- LSE: Límite superior de explosividad.
- OT: Oxidador térmico.
- OTR: Oxidación térmica recuperativa.
- PO: Productos oxidados.

1.6. Requisitos de diseño.

Datos de partida:

Los datos del proceso son los siguientes:

Las condiciones de Límite de Batería de las corrientes de entrada para la planta de Oxidación Térmica son:

Descripción	Temperatura de operación (°C)	Presión de operación (Kg/cm ²)
Aire de combustión.	180	2.0
Aire de combustión para la puesta en marcha.	180	2.0
Aire para instrumentos.	20	4.0
Fuel gas.	40	2.0
Gases de COV.	65	1.0
Gas inerte.	35	7.0
Vapor de media.	209	18.0

La composición inicial de la corriente de COV es:

GASES DE COV	
Composición	% mol
O ₂	8
CO	2.4
C ₄ H ₁₀	0.35
C ₃ H ₈	0.35
C ₆ H ₁₄	0.2
CO ₂	2.5
H ₂ O	10
N ₂	76.2

Los caudales de operación de gases COV, son:

Q.normal de COV: 30.000 Kg/h.

Q.mínimo de COV: 18.000 Kg/h.

Q.máximo de COV: 36.000 Kg/h.

Los servicios auxiliares con los que contamos son los siguientes:

Condiciones del aire comprimido con el que contamos:

Descripción	Aire de planta	Aire de Instrumentos
Pres. max., kg/cm ² g	10	10
Pres. nor., kg/cm ² g	7	4
Pres. diseño, kg/cm ² m	12	12
Temperatura máx., °C	35	35
Temperatura nor, °C	20	20
Contenido en aceite máx., ppm	50	50

Condiciones relativas al nitrógeno:

Descripción	N ₂ Gas.
Pres. nor., kg/cm ² g	7
Pres. diseño, kg/cm ² m	13
Temperatura máx., °C	35
Temperatura nor, °C	Amb.
Temperatura dis, °C	50

En cuanto al combustible utilizado, en este caso el fuel gas, damos las características del mismo:

Descripción	Fuel gas
Densidad específica	0,448
Poder calorífico inferior, Kcal./kg	12500

Peso molecular	13
H ₂ , % Mol	53,5
C ₁ , % Mol	23,5
C ₂ , % Mol	14,9
C ₃ , % Mol	5,8
C ₄ , % Mol	1,4
SH ₂ , % Mol	0,9
Pres. nor, kg/cm ² g	2,0
Temp. max, °C	180
Temp. nor, °C	40

En cuanto a la climatología del emplazamiento, hemos tenido en cuenta la temperatura, humedad relativa, lluvia, viento y presión barométrica.

Temperatura y humedad relativa

- Temperaturas: Máxima 35 °C / Mínima 0.5 °C / Media 17 °C.
- Humedad relativa: 60%.

Lluvia

- Promedio anual de lluvia: 881 mm.
- Promedio de días de lluvia al año (≥ 1 mm): 70.

Viento

- Direcciones predominantes: O-NO 40%
E-SE 35%

Altura desde el nivel del suelo, m	Presión del viento Kg/m ²
<30	100
30-100	125
>100	150

Presión barométrica

- Presión barométrica de diseño, mbar: Atmosférica a nivel del mar.

Los equipos se diseñarán teniendo en cuenta la atmósfera salina.

Los datos de partida establecidos por los que se derivan de la legislación, reglamentación aplicable, normativa son:

MEDIO AMBIENTE:

Decreto 59/2005 de 1 de marzo:

Según el artículo 2, del capítulo primero de dicho decreto, deberá cumplir con las normas técnicas que resulten aplicables por razones de seguridad, sanidad, protección del medio ambiente, prevención de riesgos laborales, ordenación de consumos energéticos y reglamentaciones específicas.

Del capítulo segundo, artículo 3, clasificación de los establecimientos y actividades que necesitan autorización administrativa:

Vemos que según ley 7/1994, de protección ambiental, no necesitamos procedimiento de Evaluación de impacto ambiental. Debemos presentar ante la delegación provincial competente en materia de industria, la solicitud y la documentación necesaria, (artículo 4 del capítulo tercero del decreto 59/2005 del 1 de marzo), aportando también el dictamen de un Organismo de Control, sobre la adecuación del establecimiento o instalación a la reglamentación aplicable en materia de seguridad industrial.

Reglamento de evaluación de impacto ambiental de la comunidad autónoma de Andalucía.

ORDEN de 27 de mayo de 2005:

Según capítulo II, deberá presentarse como en el artículo 2 de dicho capítulo, la documentación requerida en el mismo.

SEGURIDAD INDUSTRIAL:

Aplicamos la instrucción técnica complementaria MI-PI 01 refinerías, aprobada por el Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre. (Reglamento de instalaciones petrolíferas).

Para ello tendremos en cuenta varios artículos de esta itc:

-Artículo 1: establece las prescripciones técnicas en relación con la seguridad con las refinerías de petróleo y sus parques de almacenamiento de productos petrolíferos.

-Artículo 2: Donde observamos que dicha instrucción técnica se refiere a las instalaciones de tratamiento de residuos, refinados, productos intermedios, etc., referidos todos al ámbito de refinerías de crudo de petróleos.

-Artículo 7: Donde diseñamos nuestra instalación respetando las distancias entre las instalaciones, como se recogen en este artículo, distancias respecto a cargaderos (20 metros para clase B, o 15 para clase C, D), 30 metros respecto a otras unidades, 20 metros respecto a estaciones de bombeo de hidrocarburos (decir que las estaciones de bombeo de hidrocarburos de la refinería donde implantamos nuestra instalación, están a mayor distancia que la indicada por este artículo, están aisladas de todas las unidades.), 30 metros respecto a antorcha, estaciones de bombeo contra incendios (30 metros), centrales de vapor (30 metros), instalaciones de mezcla de alquilos de plomo (20 metros), edificios administrativos y sociales, laboratorios generales y talleres no integrados en unidades (20 metros), etc.

- Artículo 9: sobre las vías de circulación, se seguirá respetando dichos caminos como las unidades contiguas a dicha instalación.

- Artículos 10 y 11 respecto a seguridad en unidades de tratamiento y sistemas de alivio de presión.

- Artículo 27. Medios generales de lucha contra incendios.

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS:

Instrucción MIE BT-026:

Según el 1º punto del anexo 1 de dicha instrucción, nuestra instalación se encuentra dentro del ámbito de aplicación, ya que se refiere a emplazamientos con riesgo de incendio o explosión, siendo estos, todos aquellos en los que se fabriquen, procesen, manipulen, traten, utilicen o almacenen sustancias sólidas, líquidas o gaseosas susceptibles de inflamarse o de hacer explosión.

Punto 3 del anexo 1: hace referencia a la clasificación de emplazamientos, y podemos ver que nuestra instalación se encuadra en el tipo 1, ya que pertenece a aquellos lugares en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables.

Dentro del tipo de emplazamiento 1, encuadramos nuestra instalación a la zona 2. (Punto 3.1.3 del anexo 1 de dicha instrucción.)

Reglamento de aparatos a presión:

Aplicamos el reglamento de aparatos a presión aprobado por el Real Decreto 1244/1979:

Según artículo 5, estamos dentro de su ámbito.

En cuanto a la instalación de los diferentes equipos, aplicaremos el artículo 10.

Para el registro de dichos aparatos, aplicaremos el artículo 6.

La seguridad relacionada con el usuario debe ajustarse al artículo 11.

Se tendrá en cuenta el capítulo V, para realizar las pruebas e inspecciones pertinentes de cada equipo.

Para la autorización de la puesta al servicio de dichos equipos, nos ajustaremos al capítulo VI, destacando los artículos 21 y 22, para la autorización de la instalación y autorización de puesta en servicio respectivamente.

En este Real Decreto se contemplan diferentes instrucciones técnicas complementarias, de las cuales aplicamos la ITC-MIE-AP6, relativas a refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.

Para un correcto diseño de los aparatos, debemos destacar los siguientes apartados de dicha ITC:

Punto 4.2 del apartado 4, relativo a las obligaciones del fabricante, como planos, certificados de calidad, etc.

Punto 4.5 del apartado 4, relativo a las obligaciones del instalador, como relación de aparatos, control de calidad del instalador, número de inscripción en el Libro de Registro de Instaladores, etc.

Punto 4.6 del apartado 4, relativo a las obligaciones del usuario, como número de identificación del aparato y denominación, categoría del aparato, características del aparato, datos del fabricante y del aparato, clase de industria a que se destina el aparato y ubicación de la misma, etc.

En cuanto a las pruebas e inspecciones de aparatos a presión, se regirán por el apartado 5 de dicha ITC y para ello seguiremos los puntos 1 y 2 del apartado 5.1 inspecciones y pruebas oficiales.

1.7. Análisis de soluciones.

Para la realización de dicho proyecto, se han estudiado tres alternativas fundamentalmente, además de haber tenido en cuenta otras posibles soluciones que en seguida se rechazaron por no ser viables económicamente.

Las tres alternativas estudiadas para la reducción de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles, son las siguientes:

Oxidación de dichos compuestos, dentro de esta variante o alternativa se destacan la **oxidación térmica y la catalítica**, y como tercera alternativa la **adsorción mediante carbono activo**. También se ha estudiado como otra alternativa, la reducción de dichas emisiones mediante proceso biológico, pero esta idea fue descartada debido a su alto coste, inversión elevada, gran superficie con la cuál no contamos, generación de lodos, y control continuo por ser proceso continuo.

Para poder realizar una estimación o evaluación de las diferentes alternativas, debemos establecer una serie de factores con los cuales podamos trabajar a la hora de comparar las mismas, dichos factores serán: **económicos, disponibilidad de espacio, caracterización de la corriente a oxidar, flexibilidad del sistema de depuración o destrucción de los contaminantes, facilidad de ampliación futura, sensibilidad del sistema, grado de destrucción o efectividad proporcionado por el sistema y facilidad de mantenimiento.**

ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Alternativas estimadas:

- Adsorción mediante **carbón activo**:

Las ventajas que presenta esta técnica son: es una técnica flexible a un abanico de COV con pesos moleculares intermedios, de 45 a 130, además pueden eliminar COV cuando mediante otras técnicas son difíciles de eliminar, su eficacia es elevada y son adecuados para flujos intermitentes.

Los inconvenientes que presenta esta técnica son: la desorción no es completa nunca, existe la necesidad de regeneración periódica, y la más importante y determinante es que la contaminación del aire pasa al agua, con lo que nos encontramos con otro problema de contaminación a tratar. Decir que los compuestos orgánicos volátiles de peso molecular menor a 45 no se adsorben bien, y los de gran peso molecular o mayores a 130 son difíciles su desorción.

No es una técnica que en principio necesite inversiones elevadas, (**factor económico**), pero debido a las características de nuestra corriente, no se produce una adecuada eliminación de los COV a tratar, (**factores eficiencia y caracterización de corriente a tratar**).

- **Oxidación catalítica**:

Las ventajas que presenta esta técnica son:

Su temperatura de operación oscila entre los 250 y 400°C, siendo inferior que en la oxidación térmica, la **eficiencia** es de un 95% de reducción de los COV, es adecuada para aquellas corrientes que necesitan eliminar NOx, el consumo energético es mas bajo que en el caso de la oxidación térmica. [17]

Los inconvenientes que presenta esta técnica son:

El catalizador necesario para la operación óptima del equipo es muy caro, además se debe tener en cuenta la posibilidad de envenenamiento (también tener en cuenta sinterización y enmascaramiento) de dicho catalizador, en los momentos iniciales de operación de dicho equipo puede generar emisiones demasiado elevadas, el coste inicial es muy elevado, no existe lugar a recuperación de calor, ya que no se genera suficiente vapor para que la recuperación energética sea de elevado grado.

Luego los factores determinantes a la hora de rechazar la opción de un sistema de oxidación catalítico son: **factor económico**, ya que se necesitan costes iniciales superiores al sistema térmico, además del coste de los catalizadores que suelen ser de platino y sus aleaciones, además de cromo, cobalto, vanadio y óxidos de manganeso; **factor caracterización de la corriente a oxidar**, debido al poder calorífico que esta presenta y con el cuál podemos generar vapor de media permitiendo la recuperación de calor y por tanto un ahorro energético, **factor de eficiencia**, ya que las eficiencias alcanzadas por los sistemas catalíticos ronda el 95%, pero los sistemas térmicos rondan las eficiencias del 99.99%, el **factor flexibilidad** del sistema, también juega a favor de los sistemas térmicos frente a los catalíticos, que pueden afrontar partículas materiales, diferentes composiciones, ya que cada catalizador irá perdiendo eficiencia con el cambio de la composición de la corriente a oxidar; el **factor de mantenimiento** hace que los sistemas catalíticos sean descartados ya que a veces éstos van perdiendo eficiencia debido a que el catalizador pierde actividad con el tiempo, luego a veces habrá que reponer módulos de los mismos, y por último el **factor sensibilidad**, debido a dichos catalizadores pueden sufrir procesos de sinterización, envenenamiento o enmascaramiento, con el cambio en composición de la corriente a oxidar, lo cuál requiere de un gran control de la temperatura así como de la presión en el lecho, para obtener una idea del estado de nuestro catalizador.

- **Oxidación térmica:**

Las ventajas que presenta esta técnica son: menor coste inicial, combustible adecuado fuel gas, ya que estamos en una refinería, eficiencia del 99% o mayores, simplicidad de gestión, proceso rápido y recuperación energética.

Los inconvenientes que presenta esta técnica son: existe un mayor gasto energético, no es tan adecuado para eliminar NOx como el oxidador catalítico, no es tan adecuado para sustancias corrosivas o halogenadas, está diseñado para corrientes relativamente constantes debido al consumo de fuel gas. [17]

Considerando las características de cada una de las técnicas expuestas, podemos decir que la solución mas viable es la de instalar un sistema de oxidación térmica con recuperación energética, ya que la corriente de productos oxidados se utilizará para producir vapor de media, aportando calor a la correspondiente caldera.

Las claves de dicha elección son su menor coste inicial (**factor económico**), su gran eficiencia (**factor eficiencia**), simplicidad de gestión, por supuesto la recuperación energética que supone dicha instalación (**factor energético**), la disponibilidad del combustible ya que nos emplazamos en una refinería y la constancia en cuanto a caudal se refiere a los COV, aunque como indicábamos con anterioridad, este sistema puede afrontar diversas variaciones en la composición de la corriente gaseosa a oxidar (**factor flexibilidad**), **la caracterización en el factor crítico** en la decisión del sistema de eliminación o depuración a elegir, debido a que gracias a el poder calorífico del mismo, podemos oxidar la corriente gaseosa sin necesidad de aporte de combustible auxiliar, que si será necesario para el arranque de la unidad.

- **Oxidación regenerativa:**

Debido a las dimensiones de estas instalaciones, los factores económicos y disponibilidad de espacio provocan el rechazo de dicha alternativa. (Además de las altas pérdidas de carga debido al paso de gas a través de las cámaras regenerativas).

Una vez seleccionado el sistema de destrucción (en este caso) de los COV, debemos estimar los equipos que compondrán dicha planta, cual de ellos me determinará los demás, que disposición será la adecuada, (por razones de seguridad, mantenimiento, accesibilidad, futura ampliación, acceso de los servicios auxiliares mediante rack de tuberías, etc.), para ello realizamos un plot plan, y estimamos todos estos factores.

El equipo fundamental de la planta, será el **oxidador térmico**, éste será el que determine las características de los demás equipos que irán en función de los requerimientos del oxidador, como la temperatura de precalentamiento de los gases de entrada en el oxidador (condiciona el intercambiador de calor), y la temperatura y caudal de los gases de salida (condiciona el tipo y dimensiones de la caldera de recuperación).

Por razones de seguridad instalaremos el oxidador y caldera alejados de otros equipos de otras plantas adyacentes, debido a la gran carga térmica a la que dichos equipos estarán sometidos.

El intercambiador de calor lo dispondremos, de manera que podamos ampliar la planta si fuera necesario, y dar una distribución de cambiadores en batería.

ELECCIÓN DEL OXIDADOR TÉRMICO.

El oxidador térmico tendrá una geometría cilíndrica, ya que una rectangular provocaría espacios muertos, afectando al grado de mezclado de los gases a oxidar, donde el flujo de fluidos es nulo o casi nulo, dando fenómenos de estancamiento.

Además se incorporará un anillo generador de turbulencias, a una distancia de la punta de llama especificada en el anexo I de cálculos (Pág. 21), de manera que forcemos al fluido a recircular y crear turbulencias que ayuden a incrementar el grado de mezclado y por tanto la efectividad de la combustión.

Su disposición horizontal, se debe a la facilidad con que conectaremos el oxidador con la caldera, mediante una junta sello, evitando en todo lo posible las pérdidas de calor, para la mayor generación de un caudal de vapor de media.

Según la experiencia, el material usado para la carcasa del oxidador térmico suele ser acero al carbono, en nuestro caso será del tipo ASTM A-136, se suelen utilizar de este tipo por su bajo coste, pero debemos protegerlo de la alta temperatura que alcanzan los gases calientes, más adelante describimos dichos materiales, tanto en el punto 1.8 resultados finales, como en el anexo I de cálculo (punto 1.10 Pág. 24).

ELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Este intercambiador de calor, tiene como objeto precalentar una corriente gaseosa de COV, desde 65 a 180°C.

Para justificar la elección del tipo de cambiador de calor, nos basamos en: fluidos responsables de dicho intercambio de calor, el propio calor a intercambiar, el caudal de gases que estamos considerando y por supuesto consideraremos el coste del equipo.

La finalidad, es obtener un diseño óptimo mediante los menores costes posibles iniciales y operativos, así como el servicio lo mas prolongado posible.

Para dicha selección, consideraremos tres posibles tipos de intercambiadores de calor: los de doble tubo, los cambiadores de placa y los de tubo y coraza.

Los cambiadores de calor de doble tubo, tienen mayor eficiencia que los de tubo y coraza, pero como contrapartida, éstos son impensables en cuanto a operación se refiere cuando estamos operando con caudales altos, debido a la gran superficie de contacto requerida, que hace el coste no permisible.

Si utilizásemos cambiadores tipo placas, decir que son los más limitados en cuanto a capacidad, temperaturas de trabajo y presiones admisibles. [8]

Éstos son muy usados en la industria alimentaria y farmacéutica, a condiciones de operación menos agresivas, ya que dichas placas se pueden quebrar fácilmente con los caudales de operación que estamos considerando. Además las juntas que se utilizan en este tipo de cambiadores, podrían resistir tan solo 140°C las juntas más resistentes.

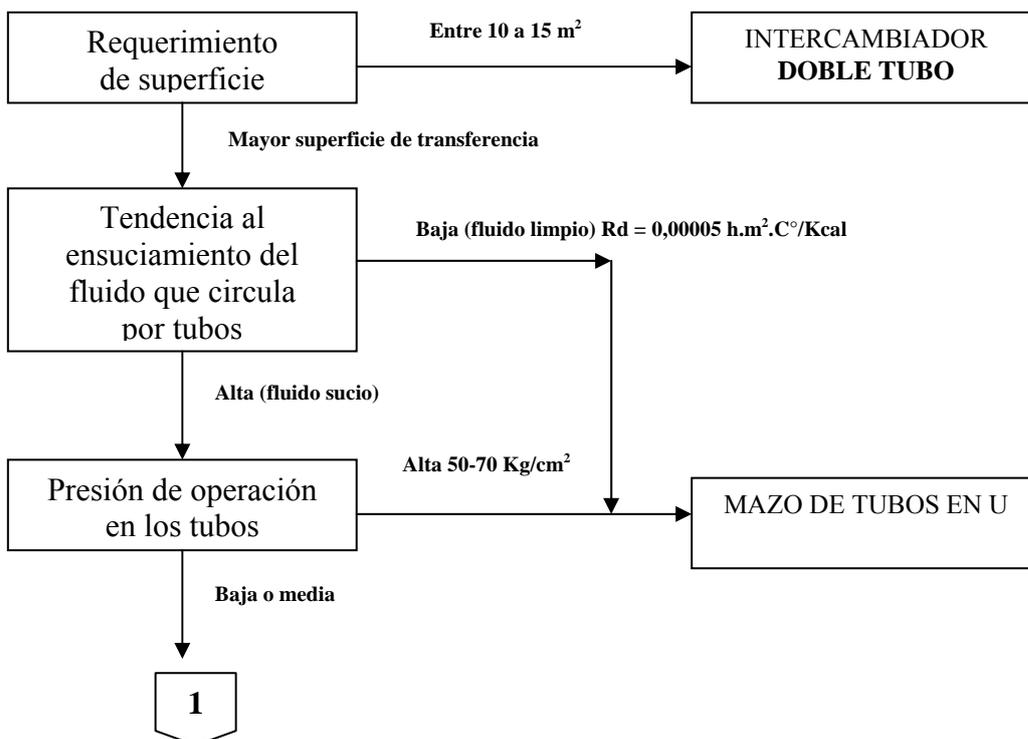
Luego todo nos indica el uso de intercambiadores de tubo y coraza, siendo éstos los más económicos, y los de mayor flexibilidad en cuanto a operación se refiere.

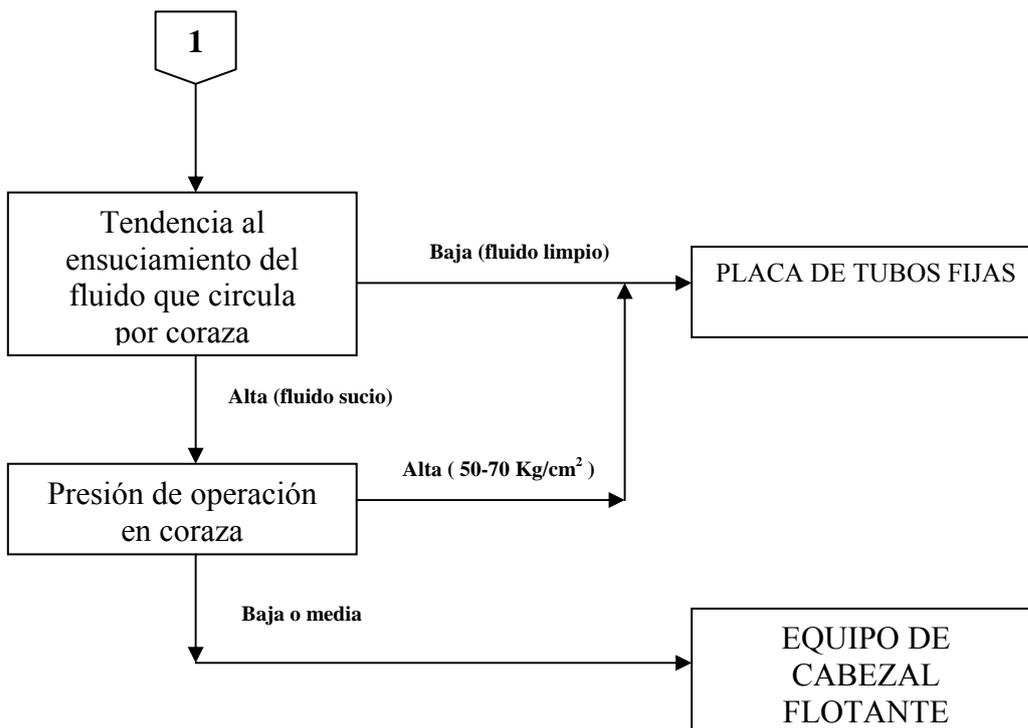
El aspecto fundamental que nos sugiere el uso de dicho tipo de cambiador de calor, es el aspecto económico, directamente relacionado con el aspecto técnico, ya que el área requerida por otros intercambiadores es excesiva para los caudales que manejamos. Una vez seleccionado el tipo de intercambiador de calor, debemos especificar dentro de los del tipo tubo y coraza el diseño del mismo.

Para efectuar y mejorar un intercambio de calor, usaremos un arreglo triangular, ya que es más compacto que el arreglo cuadrado, y suele dar coeficientes de transferencia mayores, entorno a un 25 % mas elevado que los anteriores.

Podemos observar en el siguiente esquema un ejemplo de proceso de selección del mismo:

ESQUEMA DE SELECCIÓN





Al ser más compacto, podremos introducir un mayor número de tubos.

Para un diseño óptimo, siempre apuraremos la caída de presión que se produce a lo largo de dicho cambiador.

Teniendo en cuenta los fenómenos de corrosión que dichos gases pueden traer consigo, podemos usar placas de impacto, con el fin de proteger de aquellas vibraciones las partes sometidas a impacto.

Para evitar los problemas de fouling, se usará un haz de tubos extraíbles, de manera que se facilite la limpieza de los mismos.

Por último al ser el fluido frío, el menos viscoso, este será el que circule por carcasa a fin de evitar las mayores pérdidas que se darían si se condujesen por lado tubos.

Finalmente nos guiaremos por el código TEMA para su diseño, ya que ésta ha estudiado, clasificado y controlado estos intercambiadores de calor introduciendo estándares de los mismos.

1.8. Resultados finales.

La tabla que a continuación se presenta, muestra los valores en tanto por ciento de moles que se generan tras el proceso de combustión, como se puede ver, las emisiones de COV han sido eliminadas.

Ya que se trata de una predicción de la actuación de la Planta diseñada, dicho caudal de gases o productos gaseoso de la combustión, deberá ser controlado mediante un sistema de monitoreo continuo, para cerciorarse de la efectividad de dicha Planta, que por otra parte, y según la bibliografía y experiencia suelen alcanzar grados de efectividad del 99.99%. [17]

Componentes	Moles originales	Moles reaccionan	Moles introducidos	Moles Generados	Moles Totales	Moles %
N ₂	0,762		0,023		0,785	76,140
O ₂	0,08	0,072	0,006		0,014	1,358
CO ₂	0,025			0,061	0,086	8,341
H ₂ O	0.10			0,046	0,146	14,161
C ₄ H ₁₀	0,0035	0,0035				
C ₃ H ₈	0,0035	0,0035				
C ₆ H ₁₄	0,002	0,002				
CO	0,024	0,024				
TOTAL	1	0,11	0,03	0,11	1,03	100

Los equipos estimados para realizar la oxidación térmica con recuperación de calor son los siguientes:

Oxidador térmico:

El Oxidador térmico que forma parte de este proyecto será de las siguientes dimensiones:

Longitud: 12.20 metros, posición horizontal y conectado mediante una junta sello con la caldera de recuperación de calor, el diámetro será de 2.45 metros, e irá protegido con materiales aislantes y material refractario.

Dicho Oxidador se compondrá de un quemador que deberá generar una potencia de 1025406 Kcal. / h., de manera que se genere una llama de longitud no superior a 3.3 metros, trabajando a presión positiva de 1.9 atmósferas de presión. (Evitando acumulación de gases.)

El tiempo de residencia de los gases a oxidar deberá ser de al menos 2 segundos, y la temperatura en el interior de la cámara de 850 °C.

El material refractario es un hormigón refractario HF, de un espesor de 10 cm., el ladrillo de diatomeas será el material que a continuación se sitúe sobre la cámara de oxidación, y tendrá un espesor de 20 cm., dicho material será un compuesto de Kiesselghur, denominado diatosil – 5.

Para la selección de los materiales aislantes y refractarios, se ha tenido en cuenta la densidad y porosidad de los materiales, así como la conductividad a la temperatura de operación de cada uno de los elementos constitutivos, propiedades que se relacionan con el comportamiento deseado de dichos materiales.

El elemento cara a los gases calientes, en nuestro caso es el hormigón refractario, ha de ser de mayor densidad, ya que buscamos propiedades de resistencia mecánica, para evitar el desprendimiento del mismo, y como contrapartida es menos poroso y pierde propiedades térmicas. En un segundo caso, buscamos propiedades de aislamiento, obteniendo mayor grado de insolación, este comportamiento es debido a la mayor porosidad del elemento, en este caso será el ladrillo de diatomeas, (diatosil – 5).

La chapa que forma dicho cilindro será de acero al carbono y su temperatura externa girará entorno los 65°C.

Intercambiador de calor:

El intercambiador de calor será del tipo AES, (ver Fig.I.1), de acuerdo con los requerimientos del código TEMA clase “B” (tubular exchanger manufacturers association) y código ASME sección VIII división 1, las dimensiones del mismo serán: 1.300 mm/5.399 mm (diámetro interior y longitud), su posición será horizontal, constará de 1438 tubos de una longitud de 2500 mm de $\frac{3}{4}$ ”, BGW16, paso triangular y pitch 1”.

Los cálculos que nos han llevado a este diseño se presentan en el documento de anexo, concretamente en el anexo 1 (Pág. 30), además se presenta su hoja de especificaciones en el anexo VI dentro del apartado Anexos a la Memoria.

El cálculo de elementos mecánicos constitutivos, se ha llevado siguiendo el código TEMA, en él presentamos cálculos referentes a empaaduras, tubuladuras, tornillos de ojo, círculo máximo de tubos, varillas tensoras, diámetros de mamparas de choque y baffles, diámetros de espejo flotante, de sus machos, altura de mamparas, etc.

El material de su carcasa será de acero al carbono, éste equipo irá soportado mediante cunas, las cuales se elevarán mediante zapatas de hormigón según requerimientos de los apoyos de los codos que se conectan al equipo, partiendo de las diferentes líneas de proceso.

Se ha elegido un paso triangular, ya que supone un incremento del 25% en el coeficiente de transmisión de calor, respecto de la disposición cuadrada, y al haberse elegido un intercambiador de dimensiones poco elevadas, la pérdida de carga que supone dicha disposición triangular se hace más tolerable. [11]

- | | |
|---|--|
| 1. Stationary Head—Channel | 20. Slip-on Backing Flange |
| 2. Stationary Head—Bonnet | 21. Floating Head Cover—External |
| 3. Stationary Head Flange—Channel or Bonnet | 22. Floating Tubesheet Skirt |
| 4. Channel Cover | 23. Packing Box Flange |
| 5. Stationary Head Nozzle | 24. Packing |
| 6. Stationary Tubesheet | 25. Packing Follower Ring |
| 7. Tubes | 26. Lantern Ring |
| 8. Shell | 27. Tie Rods and Spacers |
| 9. Shell Cover | 28. Transverse Baffles or Support Plates |
| 10. Shell Flange—Stationary Head End | 29. Impingement Baffle |
| 11. Shell Flange—Rear Head End | 30. Longitudinal Baffle |
| 12. Shell Nozzle | 31. Pass Partition |
| 13. Shell Cover Flange | 32. Vent Connection |
| 14. Expansion Joint | 33. Drain Connection |
| 15. Floating Tubesheet | 34. Instrument Connection |
| 16. Floating Head Cover | 35. Support Saddle |
| 17. Floating Head Flange | 36. Lifting Lug |
| 18. Floating Head Backing Device | 37. Support Bracket |
| 19. Split Shear Ring | 38. Weir |
| | 39. Liquid Level Connection |

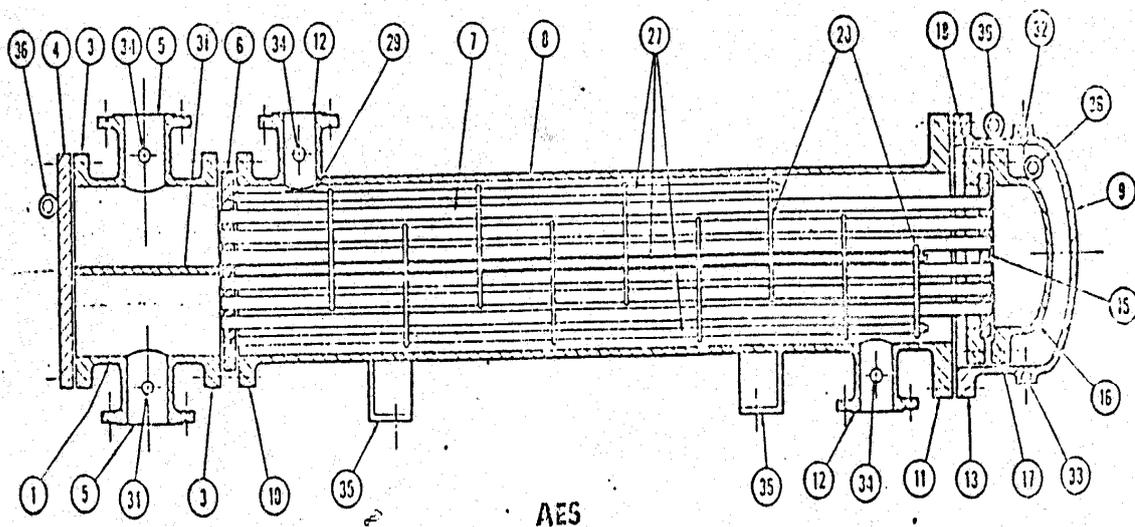


Figura 1-1

El arreglo de los tubos será de tipo triangular (tipo (a)) como se menciona con anterioridad y como podemos ver en la figura 2 y en la figura 3, las cuales se muestran a continuación:

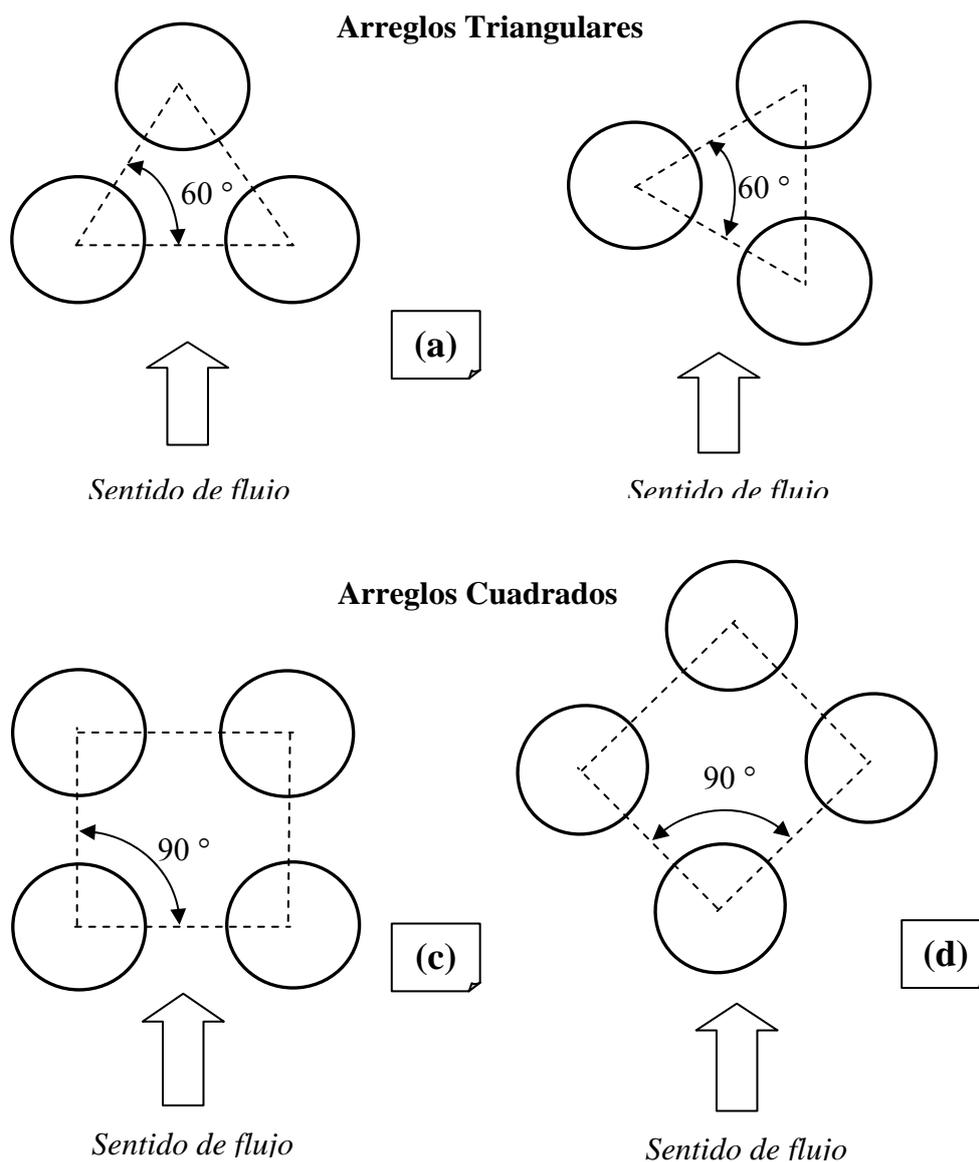


Fig. 2.

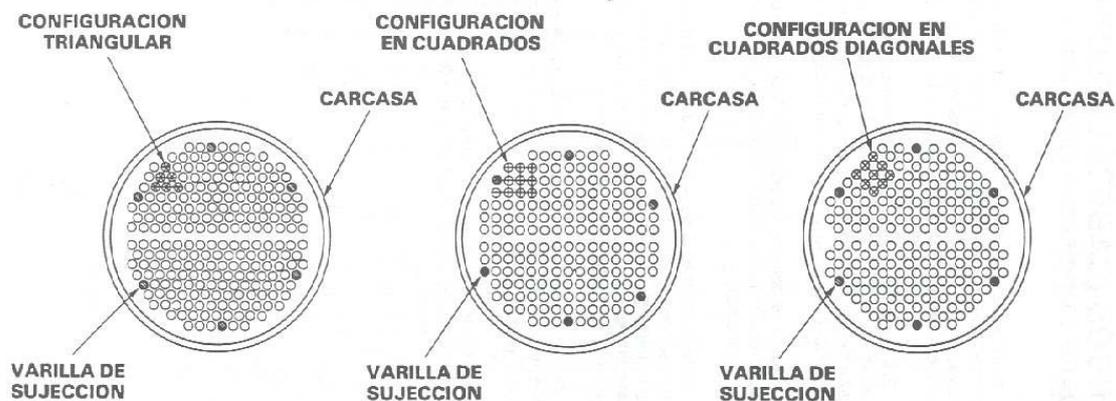


Fig. 3.

Caldera de recuperación:

Se definirán los requisitos que a de cumplir la misma.

Esta caldera deberá intercambiar un calor de 19314597 KJ. / h, con una entrada de productos oxidados a una temperatura de 850°C, para que a la salida se obtenga una corriente de estos productos oxidados a 300°C.

Para ello se contará con una bomba que proporcione un caudal de 13774Kg. / h de agua, y se producirá un vapor de media de 13118Kg. /h a 18 Kg. /cm², y 210 °C., se producirá un blowdown del 5% del caudal de alimentación, para evitar el fenómeno de fouling, incrustamientos, etc., luego dicho caudal será de 656 Kg. / h aproximadamente.

La longitud de la misma será de 6 metros, con una junta sello que proporcione una correcta unión con el oxidador, se aconseja un diámetro de dicha conexión de 1960mm.

Las dimensiones de dicho equipo se estiman en el documento n° 2 dedicado a planos.

Líneas.

Para poder transportar estos fluidos es necesario un sistema de tuberías, que vienen bien especificadas en el documento de anexo I (Punto 1.15 Pág. 45).

Con la proyección de esta instalación se asegura limitar la emisión de COV, por debajo de los requerimientos legales como se puede ver en el anexo 1 correspondiente a cálculos.

El sistema de control será explicado en el apartado 1.11 de dicho documento.

Instrumentos:

Para poder realizar un control del proceso, tanto por razones de seguridad como por eficiencia en la operación del sistema, debemos contar con el instrumental necesario que se compone de la siguiente manera:

15 válvulas de control/corte, para los diferentes lazos de control, 2 válvulas autorreguladoras que a fallo de aire cierran, 7 manómetros de manera que tendremos controladas las presiones de las líneas que intervienen en la instalación, 3 interruptores de presión que miden la presión relativa y que se conectan con 3 indicadores remotos (señal computerizada), 6 indicadores de temperatura (3 de ellos se sitúan en el Oxidador y otro a la salida de la caldera para proteger el intercambiador de calor), 4 transmisores de temperatura y una placa de orificio con el fin de controlar el caudal de gases COV'S de alimentación y lograr su lazo de control pertinente con el aire necesario para la correcta combustión.

La disposición de dichos instrumentos se define en el plano n° 4 del documento de Planos.

1.9. Descripción del proceso.

Antes de entrar en profundidad con la descripción del proceso, señalamos que el sistema de numeración y nomenclatura para identificación tanto de equipos como de líneas, viene reseñado en el punto 1.19 de este documento.

Los gases de COV fríos a depurar son conducidos desde el límite de batería por el colector general (OTR- 18"-COV-001-A152-C) al Oxidador térmico (OTR-OT-001).

En este colector se tendrán las válvulas de corte todo/nada automáticas OTR-XV-001/002/003 enclavadas por el valor de la temperatura en la cámara de combustión del Oxidador (OTR-OT-001) a través del lazo de control OTR-TI/TT-001.

De esta manera se consigue que durante la puesta en marcha o parada de la planta no se pueda introducir la corriente de COV al Oxidador (OTR-OT-001) sino que esta sea venteadada a la atmósfera por tener la válvula de corte todo/nada OTR-XV-002 abierta.

Únicamente abrirán las otras 2 válvulas de corte todo-nada OTR-XV-001/003 cuando la temperatura de la cámara de combustión del Oxidador (OTR-OT-001) haya alcanzado valor de 850°C. (Según marca la legislación vigente RD-653/2003 del 30 de Mayo).

En el colector vendrá instalada una placa de orificio (OTR-FE-001) con el transmisor OTR-FT-001 que mandará la medida de caudal de la corriente gaseosa de COV a depurar.

Antes de depurar la corriente gaseosa de COV frías, será conducida hacia el precalentador de gases de COV (OTR-E-001) para conseguir alcanzar una temperatura de llama elevada sin necesidad de utilizar un combustible auxiliar.

En el colector de gases de COV fríos (OTR-18"-COV-001-A152-C) se dispondrá del indicador de temperatura (OTR-TI-004) a la entrada del precalentador (OTR-E-001), y a la salida del mismo en la línea OTR-20"-COV-002-A152-C se dispondrá también del indicador (OTR-TI-005).

La corriente de gases de COV fríos conducida por el colector general (OTR- 18"-COV-001-A152-C) entran por la carcasa del precalentador (OTR-E-001) a 65°C y salen por el colector (OTR-20"-COV-002-A152-C) a 180°C hacia el Oxidador Térmico (OTR-OT-001).

Durante la Puesta en marcha de la Planta se necesitara consumir fuel gas.

El fuel gas necesario es conducido por la línea OTR-4"-FG-007-A152-N al quemador del Oxidador Térmico.

Por la línea OTR-1/2"-FG-006-A152-N es conducido el fuel gas a piloto del quemador. En la línea de fuel gas (OTR-4"-FG-007-A152-N) dispondrá de un filtro (OTR-F-001), de una válvula autorreguladora (OTR-PCV-001) y de las válvulas de corte todo/nada

automáticas OTR-XV-005/006/007 enclavadas por la señal del detector de llama (OTR-BE-001) del piloto del quemador del Oxidador Térmico (OTR-OT-001) asegurando que sólo se introduzca fuel gas al quemador en el caso de que el piloto este encendido.

El control de la temperatura de la cámara de combustión se realizará con el lazo de control OTR-TI/TT-002 que manda señal al enclavamiento que actúa sobre la válvula de corte todo/nada automática OTR-XV-008 que abrirá/cerrará el paso del fuel gas al quemador.

El fuel gas necesario para el piloto del quemador se conduce en continuo por la línea OTR-1/2"-FG-006-A152-N que dispondrá de las válvulas de corte todo/nada automáticas OTR-XV-009/010/011 como seguridad del sistema.

Además por la línea OTR-2"-LIG-001-I150-N se podrá introducir gas inerte para poder asegurar la Planta.

El aire de combustión necesario para la puesta en marcha o en caso de parada de la planta es introducido al quemador por la línea (OTR-14"-AIR-001-A151S-C) que dispondrá de una válvula de corte todo/nada automática OTR-XV-012 accionada por un enclavamiento (OTR-TI/TT-003) en función de la temperatura en la cámara de combustión del Oxidador Térmico (OTR-OT-001).

Asegurándonos de que si existen variaciones en la composición y/o caudal de la corriente de gases de COV a depurar no se alcancen temperaturas superiores a las diseñadas.

El aire de combustión necesario para la oxidación térmica de la corriente de COV se consumirá en continuo por la línea OTR-4"-AIR-002-A151S-C, en el Límite de Batería dispondremos de este aire a una temperatura de 180°C. Únicamente necesitamos aire de combustión cuando queramos oxidar/depurar los gases de COV, es decir, cuando tengamos una temperatura de 850°C en la cámara de combustión del Oxidador (OTR-OT-001) según la composición y caudal de la corriente de COV a depurar se requiere 880 Kg./h de aire de combustión, por lo que se controlará el caudal de aire de

combustión a través del lazo de control OTR-FE-FT-FC-001 y con la válvula de control OTR-FV-001 se asegura la proporción de Oxígeno estequiométrico necesario.

Como se trabaja a sobrepresión (0,9 Kg/cm²) los gases de COV oxidados salen de la cámara de combustión del Oxidador Térmico (OTR-OT-001) por la junta/sello (OTR-JUNTA-PO-003-C) hacia la caldera de recuperación (OTR-C-001) para aprovechar su calor residual y producir vapor de media presión.

Como sistema de seguridad para el diseño del precalentador (t^a de diseño de 338 °C por tubos) y la integridad de la línea, en caso de que no funcionara la caldera y la temperatura de salida de los gases de COV no fuera la establecida en el proceso, se instalará la válvula para venteo OTR-XV-013 y la válvula de corte todo/nada automática OTR-XV-014, enclavadas con el lazo de control OTR-TT-004/OTR-TI-006.

Los gases de COV oxidados salen de la caldera de recuperación (OTR-C-001) todavía calientes (300°C) por la línea OTR-24"-PO-004-A152-C al precalentador de gases de COV (OTR-E-001).

Los gases de COV oxidados entran por tubos al precalentador, calentando en contracorriente a la corriente gaseosa de COV fría, y salen a 190°C por la línea OTR-24"-PO-005-A152-C hacia su emisión a la atmósfera por la chimenea que se encuentra fuera del alcance de este proyecto.

1.10. Orden de prioridad entre documentos.

El orden de prioridad de los documentos que componen el presente proyecto básico será el siguiente:

- Pliego de condiciones.
- Planos.
- Presupuesto.
- Memoria.

1.11. Sistema de control.

La planta de oxidación térmica con sistema recuperativo diseñada constará de toda la instrumentación necesaria para su buen funcionamiento integrada en un sistema de control distribuido.

El equipo principal será el Oxidador Térmico (OTR-OT-001) que dispondrá de quemador y cámara de combustión. Este equipo llevará instalado un cuadro de control de encendido para poder efectuar el encendido/apagado del piloto del quemador y por consiguiente proceder al arranque / o parada de la planta.

Al disponer de un piloto con detector de llama integrado por electrodo U.V. se recibe la información necesaria para introducir el combustible auxiliar o la corriente gaseosa de COV a depurar cuando exista llama en el piloto.

Como lógica de Control se ha diseñado:

- Válvulas de corte todo/nada automáticas con enclavamientos.
- Válvula de control accionada por el caudal de gases de COV a depurar.

A continuación se exponen la lista de enclavamientos:

I. Según lazo de control OTR-TI/TT-001.

Opción A) a 850°C → Abre válvulas de corte OTR-XV-001/003

Cierra válvula de corte OTR-XV-002

Opción B) a 840°C → Cierra válvula de corte OTR-XV-003/002

Abre válvula de corte OTR-XV-001

II. Según lazo de control OTR-TI/TT-002

Opción A) a 850°C → Cierra válvula de corte OTR-XV-008

Opción B) a 835°C → Abre válvula de corte OTR-XV-008

III. Según interruptor de presión OTR-PSL-001

A baja presión → Cierra válvula de corte OTR-XV-004

IV. Según interruptor de presión OTR-PSL-002

Según señal del detector de la llama OTR-BE-001

<u>Opción A)</u> A baja presión		Cierra válvula corte
y/o	→	OTR-XV-005/007
no señal detector llama		Abre válvula corte
		OTR-XV-006

<u>Opción B)</u> Señal detector de llama	→	Abre válvulas de corte
y		OTR-XV-005/007
hay presión		Cierra válvula de corte
		OTR-XV-006

V. Según interruptor de presión OTR-PSL-003

A baja presión → Cierra válvula de corte OTR-XV-009/011

Abre válvula de corte OTR-XV-010

VI. Según lazo de control OTR-TI/TT-003

Opción A) a 850°C → Cierra válvula de corte OTR-XV-012

Opción B) a 865°C → Abre válvula de corte OTR-XV-012

VII. Según lazo de control OTR-TI-006/TT-004

A temperatura de 330°C → Cierra válvula de corte OTR-XV-014

Abre válvula de corte OTR-XV-013

1.11.1 Variables controladas en los gases.

Este apartado tiene el objeto de indicar aquellas variables cuya medida y control son imprescindibles, es decir, estrictamente necesarias para el óptimo funcionamiento de la Planta de Oxidación, así como la instrumentación mínima necesaria que conlleva.

Puntos aclaratorios:

- No tendremos en cuenta variables de escasa importancia de cara al control global del proceso, o sean estrictamente intrínsecas a algún determinado equipo. (Como ejemplo variables que sean necesarias para controlar el grado de corrosión de algún equipo, etc.)
- Los valores de las variables que debemos controlar, son estrictamente aplicables sólo en caso de funcionamiento bajo las condiciones de aplicación para las que se diseña la instalación, ya que en otras condiciones, los valores que han de adoptarse para el control de esas variables, para el óptimo funcionamiento de la instalación, pueden ser muy distintos en función de cuales sean las condiciones de operación.

Por tanto será imprescindible llevar a cabo una medida y control de las siguientes variables:

Caudal, temperatura, presión, así como detección de presencia o ausencia de llama.

A) Caudal:

Para la medida y control de caudal, se dispondrá de una placa de orificio (**OTR FE 001**), en la línea **OTR – 18” – COV – 001 – A152 – C**, que mediante una señal emitida por el transmisor **OTR FT 001**, controlaremos el caudal de aire necesario para la combustión de los gases a oxidar, función que debe ejecutar el controlador **OTR FC 001**.

B) Temperatura:

Para la medición y control de la temperatura utilizaremos indicadores de temperatura y transmisores de temperatura.

Para el control de la temperatura del equipo **OTR – OT – 001**, es decir del oxidador térmico, dispondremos de varios indicadores de temperatura mediante termopares, los cuales son **OTR TI 001**, **OTR TI 002** y **OTR TI 003**, dichos termopares se instalarán en diferentes partes del oxidador, y deberán indicar una temperatura próxima a los 850 °C como operación normal de dicho oxidador térmico.

Decir que en el documento N°2 Planos, se detalla el lazo al cual pertenece cada uno de estos instrumentos.

También detallaremos los indicadores de temperatura de las líneas más relevantes de la instalación, en este caso las que componen las líneas de proceso.

Así pues, debemos contar con otros tres indicadores de temperatura, el **OTR TI 005**, que indicará la temperatura de la línea **OTR - 20” – COV – 002 – A152 – C**, este termopar contribuye al control de los gases COV de salida del intercambiador de calor **OTR – E – 001**, en cuya operación normal deberá indicar la temperatura de 180 °C, como precalentamiento de dichos gases.

También es conveniente realizar un control de los gases COV de entrada, para asegurar que su temperatura es de 65 °C, y esta medida la realizará el transmisor de temperatura **OTR – TI – 004**, que se ubicará en la línea **OTR - 18” – COV – 001 – A152 – C**, a la entrada del intercambiador de tubo y coraza **OTR – E – 001**.

Es de especial importancia el indicador de temperatura **OTR – TI – 006**, ya que controla la entrada de PO en el **OTR – E - 001**, productos oxidados que proceden de la caldera recuperativa **OTR – C – 001**, y que si entrasen a una temperatura superior a la de 330 °C, podrían dañar el intercambiador de calor.

Este indicador de temperatura se encuentra en la línea **OTR - 24” – COV – 004 – A152 – C**.

Ahora pasaremos a indicar los transmisores de temperatura con los cuales la Planta de Oxidación cuenta.

Para la línea **OTR - 24” – COV – 004 – A152 – C**, contaremos con un transmisor de temperatura que transmitirá la señal hacia los controladores de las válvulas **OTR XV 013** (abre de venteo) y **OTR XV 014** que regula la entrada al **OTR – E – 001**.

Para el control del oxidador térmico también contaremos con tres transmisores de temperatura, situados en diferentes puntos del mismo a fin de realizar un óptimo control del mismo.

Estos son: **OTR – TT – 001**, **OTR – TT – 002** y **OTR – TT – 003**, como se indican en el documento N°2 de Planos.

C) Presión:

Los indicadores de presión de los que se dispondrán en esta Planta, serán los siguientes:

OTR – PI – 001, el cual se ubica en la línea **OTR - 18” – COV – 001 – A152 – C**, indicando la presión de los gases COV fríos, es decir los destinados a precalentarse mediante su entrada en el intercambiador de calor.

Para controlar la presión de entrada de gas inerte a quemador utilizaremos el indicador de presión **OTR – PI – 002**, que e situará sobre la línea **OTR - LIG – 2” – 001 – I150 – N**.

Para ejercer el control de la presión en las líneas de fuel gas, tanto la destinada para el encendido como para quemador piloto, contaremos con los siguientes indicadores de presión:

OTR – PI – 003, destinado a indicar la presión de fuel gas en el colector, fuel gas destinado al oxidador térmico, dicho indicador se encuentra en la línea **OTR – 4” – FG – 007 – A152 – N**.

En esta misma línea también contaremos con otros dos indicadores de presión uno antes y el otro después de la línea de venteo, de manera que controlemos de forma adecuada la presión de fuel gas destinada a alimentar el oxidador térmico.

Dichos indicadores de presión son el OTR – PI – 004 y OTR – PI – 005, y también contaremos con otro indicador que nos informe de la presión que la línea que surte fuel gas hacia el piloto del oxidador térmico, dicho indicador es el OTR – PI – 006, y la línea será la **OTR – 1/2” – FG – 006 – A152 – N**.

También será necesario ejercer un control en la línea OTR – 14” – AIR – 001 – A151S – C, de manera que controlemos la presión de aire destinado a combustión durante la puesta en marcha de los equipos que componen el sistema de combustión de dicha Planta.

Disposición de los interruptores de presión:

En la línea **OTR – 4” – FG – 007 – A152 – N**, contaremos con un interruptor de presión OTR – PSL – 002, que controlará la presión de fuel gas al quemador del oxidador térmico, e irá conectado con el indicador remoto OTR – PAL – 003 incidiendo en la válvula OTR – XV – 004, de la misma manera actuaremos con los interruptores OTR – PSL – 001, controlando la presión de gas inerte que se suministra al oxidador mediante la línea **OTR - LIG – 2” – 001 – I150 – N**, y por último destacaremos el interruptor OTR – PSL – 003, encargado de regular la presión de fuel gas a piloto, conectado con el indicador remoto OTR – PAL – 004, situado en la línea **OTR – 1/2” – FG – 006 – A152 – N**, incidiendo en la válvula OTR – XV – 009.

1.11.2 Sistema de monitoreo continuo.

Para cumplir con la Directiva 2001/81/CE, y asegurar que nuestra Planta finalmente cumple los objetivos para los cuales se ha diseñado, instalaremos un sistema de monitoreo continuo, de tal manera que nos permita obtener medidas de las emisiones de las sustancias que componen el gas de salida por chimenea, y así comprobar el cumplimiento de la Directiva anteriormente mencionada.

Este sistema deberá incluir los siguientes elementos:

Sistema de monitoreo y de acondicionamiento, analizador y monitor de gas y por último un sistema de adquisición de datos.

Se utilizará como sistema de monitoreo en continuo, el tipo extractivo, que extrae muestras de la corriente gaseosa del ducto de salida de nuestra planta, y que se deberá transportar hasta el monitor de gas, el cual deberá situarse en una atmósfera controlada o ambientalmente protegida.

La razón de no ubicar dicho sistema de monitoreo en las proximidades del conducto o chimenea tiene su explicación en la protección del instrumental asociado al mismo, debido a las temperaturas que se pueden dar en la misma, velocidades, materia particulada, sustancias corrosivas y el vapor del agua que contiene la corriente gaseosa de salida de la chimenea.

Se ha escogido dicho sistema de tipo extractivo debido a su precio más barato que otros sistemas de medición, además de su fácil mantenimiento y reparación in situ.

Al no ubicarse en la chimenea, no estará, expuestos a condiciones ambientales tan adversas, luego no necesitarán protección, tendrán buena accesibilidad, se dispondrá de un cuarto donde se calibren mejor los aparatos, ya que este deberá estar ambientalmente controlado.

1.11.3 Secuencia de encendido.

Después de verificar, la funcionalidad de cada uno de los elementos de cada equipo, la secuencia de encendido desde una posición de parada, o estado frío, será la siguiente:

- 1) Se arranca el compresor que mueve el gas COV.
- 2) Las válvulas que controlan el caudal de aire de combustión para arranque, se colocan en posición de purga.
- 3) Las válvulas de seguridad se cierran y las válvulas de control de fuel gas para encendido se colocan en posición de mínimo.
- 4) La cámara de combustión es purgada mediante aire, hasta desplazar un volumen de aire igual a cuatro veces el de dicha cámara del oxidador.
- 5) La cabeza del quemador se regula en posición de apagado, y es venteada hasta llenar la línea de fuel gas hasta el quemador completamente.
- 6) La válvula de control de aire se coloca en posición de encendido.
- 7) Se activa el generador de chispa del quemador para encender el quemador piloto. Éste deberá encenderse en un intervalo de tiempo inferior a 15 segundos, de otra forma se deberá repetir el ciclo hasta dicha etapa de encendido.
- 8) Una vez que el sensor de llama piloto verifica la misma, las válvulas de seguridad de la línea de fuel gas para arranque de la unidad, son abiertas para iniciar la combustión.
- 9) Una vez estabilizada la llama, las válvulas de aire y fuel gas se ajustan a sus posiciones normales de operación. Si la ignición en el quemador no aparece en un intervalo de tiempo inferior a 5 segundos después de abrir las válvulas de seguridad de la línea de fuel gas para el arranque de la unidad, deberán ser cerradas, y se repetirá el proceso de purga en dicha línea, para comenzar de nuevo con la etapa 5°.

Una vez que se establecen las condiciones normales de operación, la repurga del sistema no es requerida si la desaparición de la llama (flame out) ocurre, y el quemador retoma la ignición antes de que la temperatura de ignición caiga por debajo de los 1400 °F. [17]

1.11.4 Lead/Lag control de temperatura.

En el oxidador térmico, se pueden producir cambios de temperatura que salgan fuera de los valores del set point.

La estrategia en el control de temperatura será la siguiente:

Si se da un descenso en la temperatura de la cámara de oxidación, será la corriente de aire la que lidere, abriendo válvula de aire antes que la acción de la válvula de fuel gas, que abrirá después hasta alcanzar el ratio aire/fuel gas.

Si de lo contrario, la temperatura aumente por encima de valores deseados, será la válvula de fuel gas la primera en actuar cerrando, seguida de la acción de la válvula de aire.

Con este control, evitaremos excesos de adición de fuel gas, además de rápidos aumentos de temperatura. [17]

1.12. Disposición de equipos y línea principal del proceso.

La disposición de los equipos será la indicada en el documento Planos, así como la línea principal de procesos, en el plano OTR-X-003 viene perfectamente indicados, la disposición de dichos equipos.

Dicha disposición se ha seleccionado con vistas a la posible parada de las unidades, a fin de tener el suficiente espacio para su reparación, limpieza e incluso la futura inclusión de otra unidad que necesitase de éste intercambiador de calor para el precalentamiento de la corriente a tratar. [18]

Para la disposición de la principal línea de procesos, se han tenido en cuenta varios factores como: tamaño de accesorios, que influyen de manera directa en la altura de soportación de las diferentes unidades, sistema de protección contra incendios, ya que se prolongará el sistema antiguo hacia el área de procesos objeto de dicho proyecto y acceso adecuado a las diferentes unidades.

La disposición de dicha línea principal de procesos, viene perfectamente definida en los planos OTR – X – 007, así como las diferentes conexiones entre los equipos que conforman dicha instalación, estas vistas se pueden observar en los planos OTR – X – 008 donde se presenta la conexión entre caldera e intercambiador de calor, OTR – X – 009 donde observamos la conexión entre incinerador e intercambiador de calor y OTR – X – 010, donde presentamos la conexión entre caldera e incinerador, dichos planos se encuentran en el documento Planos.

1.13. Tipos de intercambiadores de calor

En principio y a igualdad de restantes condiciones el equipo más adecuado es el más económico, al respecto, debe tenerse en cuenta que entre dos equipos del mismo tipo e igual superficie el de mayor longitud es el más barato, por lo cual la primera característica a considerar será conseguir la mayor longitud posible dentro de lo que los límites operativos puedan fijar, la velocidad y pérdida de carga de los fluidos, el espacio disponible en planta, las características de los tubos, el ensuciamiento (es más fácil limpiar a los tubos por dentro que por fuera), la presión de trabajo (el espesor de pared es menor con el diámetro), la corrosión de los fluidos (es más fácil cambiar los tubos que la coraza), etc. Se recuerda que el criterio de selección juega entre dos grandes factores: seguridad de operación y costo del equipo.

Deberá definirse el tipo de distribuidor, el tipo de coraza y el tipo de cabezal de retorno o salida existiendo la normalización TEMA, que designa con una letra a cada uno de los dispositivos mencionados según las figuras I-1, I-2, I-3, I-5.

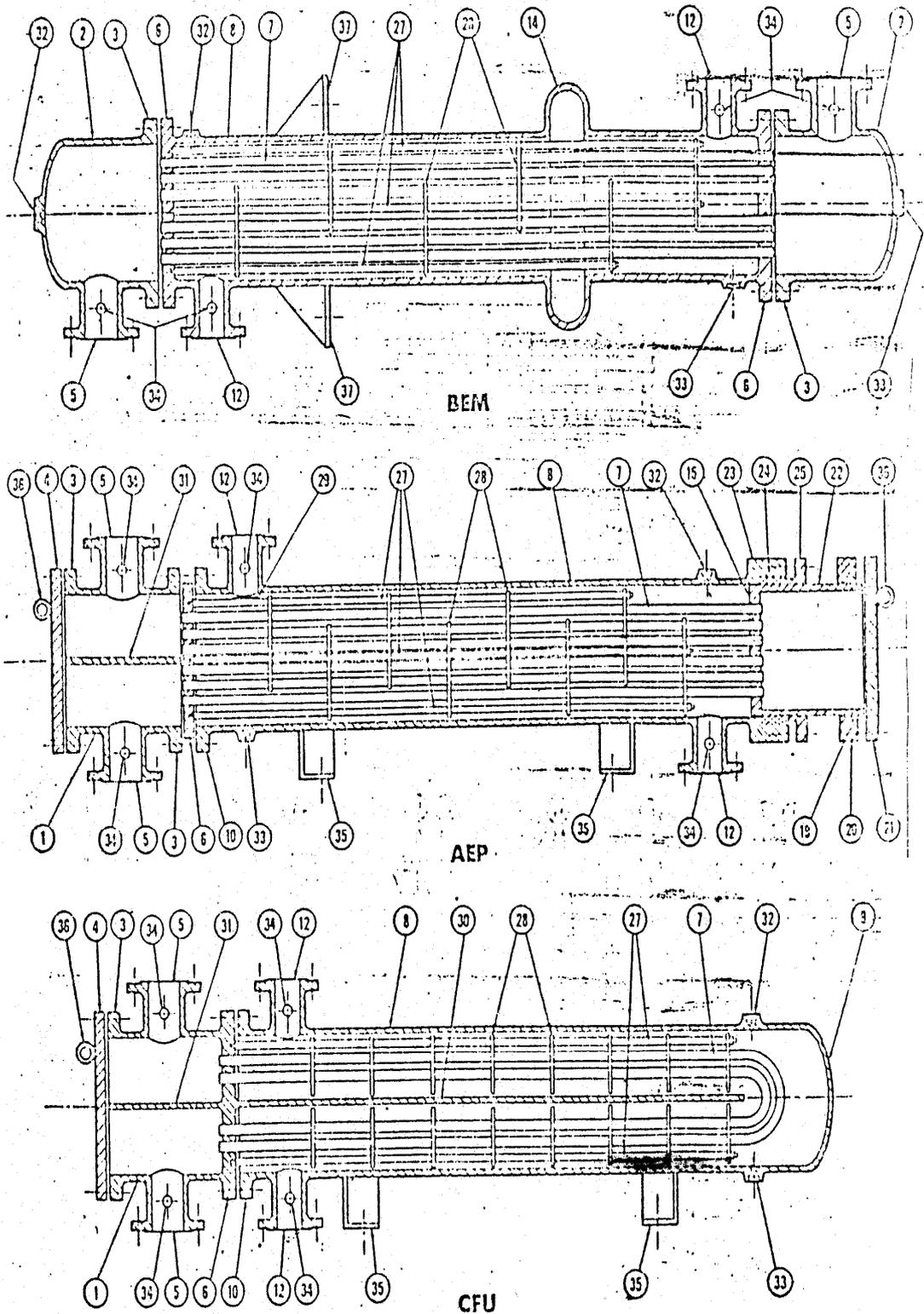
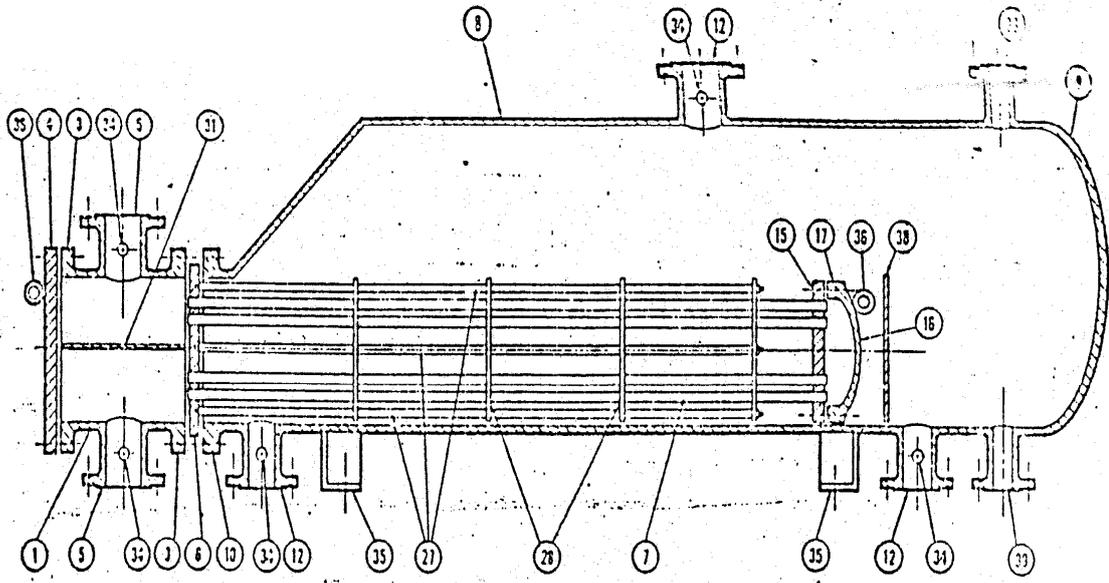
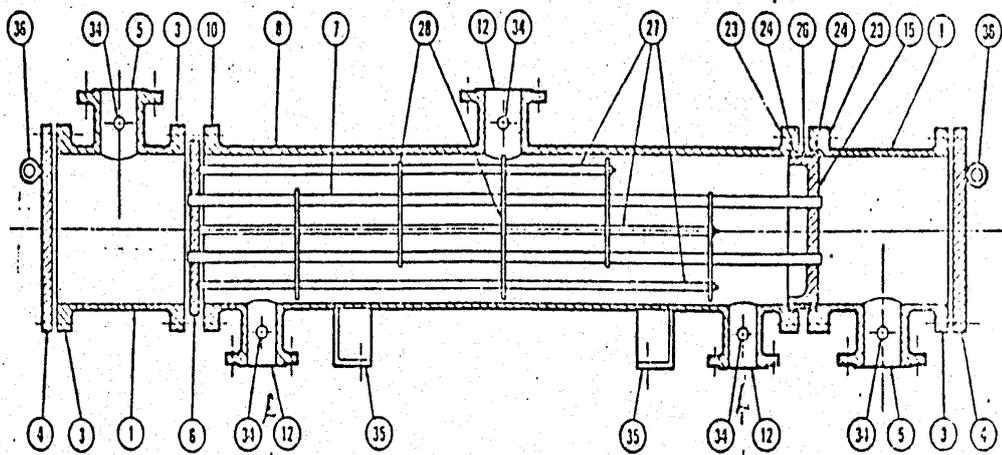


Figura 1-2



AKT



AJW

Figura 1-3

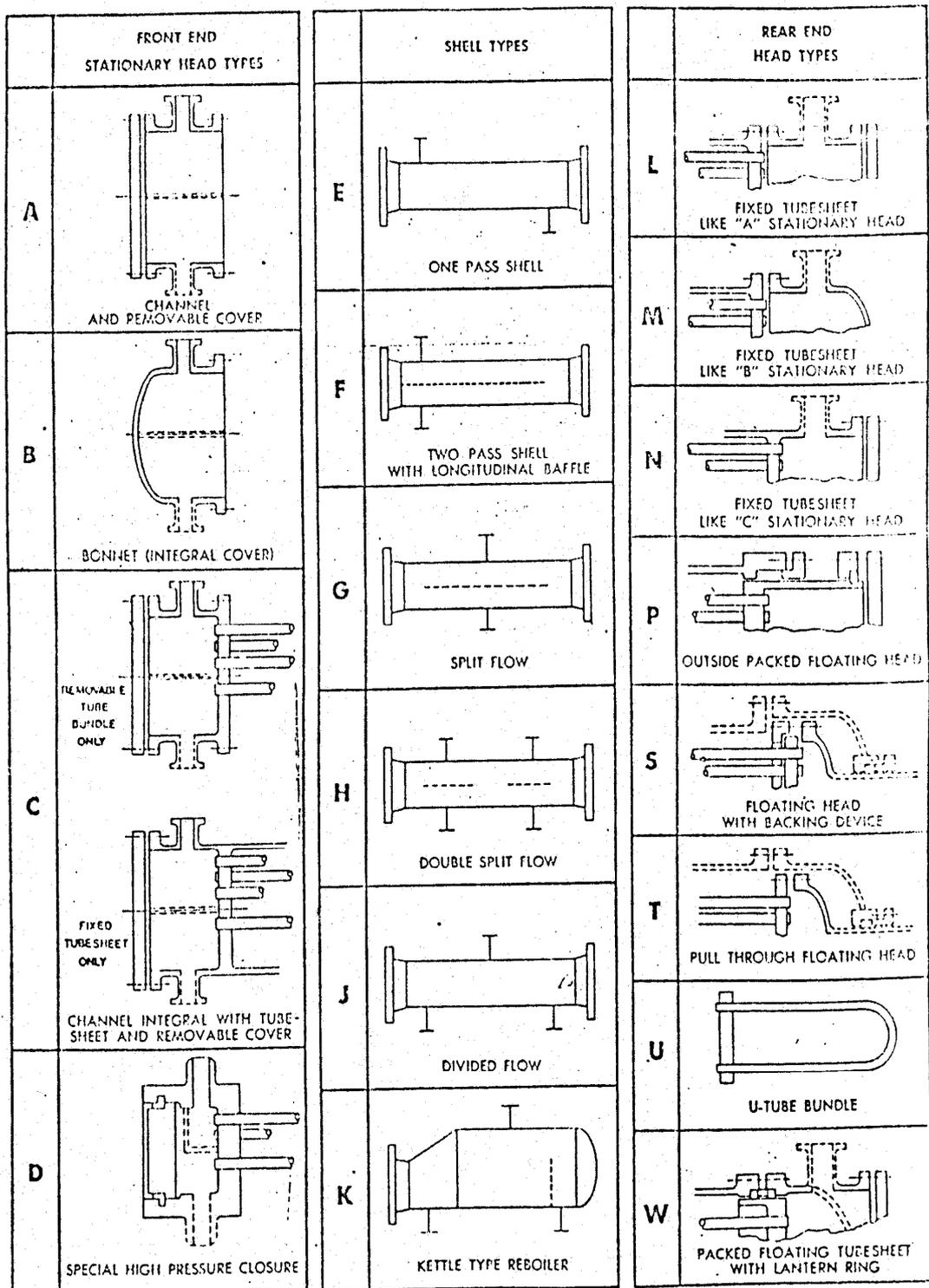


Figura 1-5

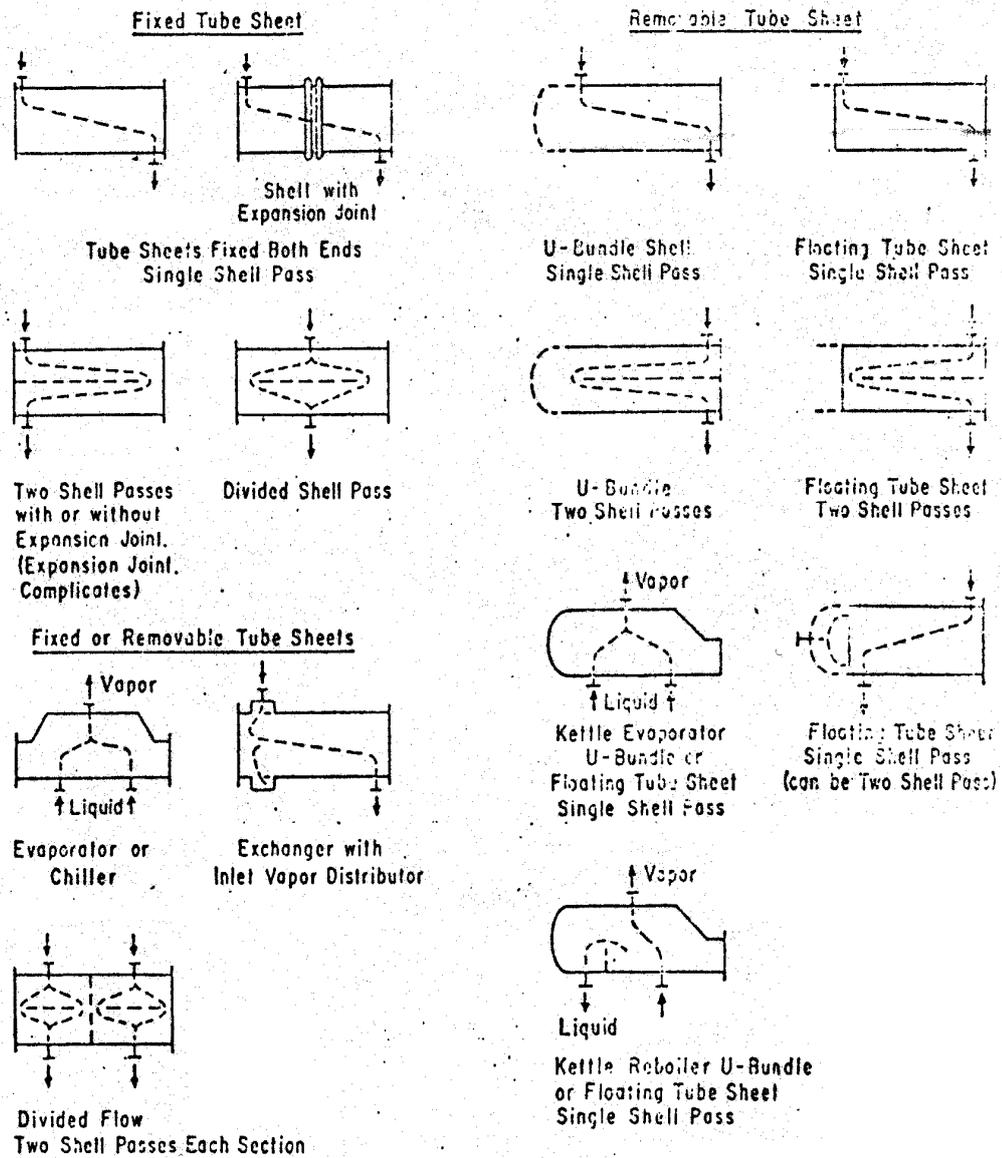


Figura 1-6

COMPONENTES DE UN EQUIPO DE INTERCAMBIO

1. TUBOS

Básicamente existen dos tipos básicos: los lisos y los de superficie extendida externa o interna, estos últimos son utilizados cada vez más ya que resuelven problemas de casos de muy bajos coeficientes de transferencia de calor (enfriamiento con aire), los tubos lisos pueden estar contruidos con pared de un único metal o con pared doble. El tubo de doble pared consiste en dos paredes tubulares (un tubo dentro de otro) estrechamente en contacto, contruidos en dos materiales distintos. Un empleo frecuente de tubos de pared doble es acero externo y bronce admiralty o cuproníquel interno en condensadores de amoniaco que utilizan agua como medio refrigerante.

Usualmente la selección del tubo no presenta grandes dificultades y dado que deben insertarse en las placas de tubos, forman parte de un diseño integrado. Por lo general el diámetro de tubos a utilizar puede ser 3/4" OD y 1" OD, en casos extremos también se pueden utilizar tubos de 1/2", 5/8", 1 1/4", 1 1/2" y 2" OD, naturalmente en cuanto al espesor se debe comprobar que el tubo elegido pueda soportar las presiones medias. Lo más frecuente es usar tubos de 3/4" OD 14 BWG y 1" OD 12 BWG cuando el material es acero al carbono o aluminio y 3/4" OD 16 BWG y 1" OD 14 BWG cuando el material es acero inoxidable, cobre o sus aleaciones.

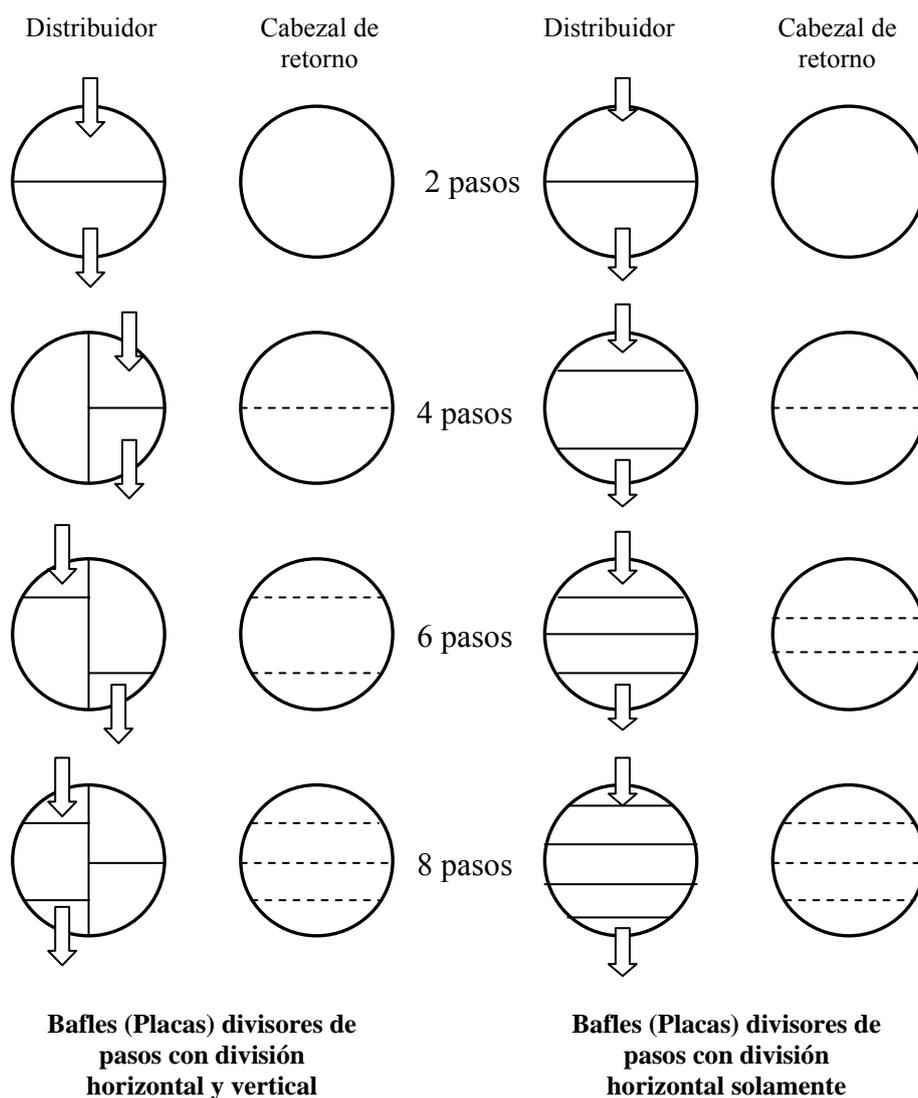
2. BAFFLES

Constituyen una parte esencial del equipo de intercambio, se relacionan con la performance del mismo a través de la velocidad y trayectoria de los fluidos dentro de la unidad, vamos a distinguir entre baffles que ubicados en el distribuidor y en el cabezal de retorno que determinan el número de pasos por tubos y los que se colocan en el interior de la coraza (deflectores), que obligan al fluido a circular normalmente al mazo de tubos.

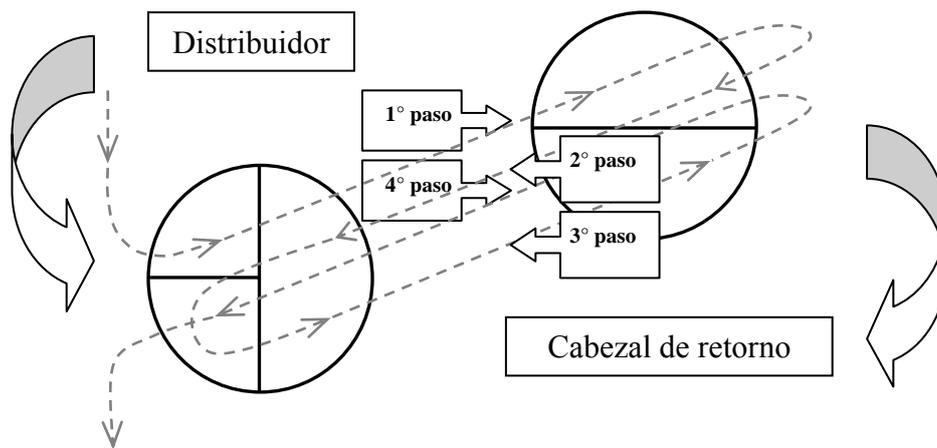
2.A. BAFFLES (PLACAS) UBICADAS EN EL DISTRIBUIDOR

Estos baffles se colocan en los cabezales de entrada (distribuidor) y de retorno para dirigir al fluido a través de los tubos en la posición relativa, dentro del mazo, más adecuada para la transferencia de calor y para determinar una velocidad media de circulación razonable. Los baffles de partición de pasos son soldados a las paredes de los cabezales. Generalmente no se excede el valor de ocho pasos por tubo, siendo más conveniente considerar la posibilidad de dos unidades con menor número de pasos por tubos.

Las figuras presentan esquemáticamente la división de placas por tubos y el sentido de circulación del fluido para los casos más típicos.



Puede verse que los pases impares por tubos requerirán baffles en ambos cabezales y la ubicación de las conexiones de entrada y salida por tubos se hallaran una en cada extremo de la unidad, lo que provocara los mismos inconvenientes en el Piping que presentan los equipos de paso único por tubos.



2.B. BAFFLES Y PLACAS SOPORTE UBICADAS EN EL INTERIOR DE CORAZA.

La función, el tipo y la disposición de los baffles en la coraza se vincula estrechamente a la performance del equipo, y la selección de estos parámetros debe situar al equipo en un punto de operación óptimo donde se obtenga un coeficiente de transferencia elevado con una pérdida de carga menor a la admisible. La performance del lado coraza del intercambiador depende del contacto del fluido con los tubos del mazo relacionada en forma directa a la trayectoria determinada por los baffles. El corte del baffle, la relación entre el área de ventana y el área de corte interior de coraza determina la velocidad del fluido entre el baffle y la pared interior de la coraza mientras que el espaciado entre los baffles se relaciona con las velocidades del fluido en las secciones de flujo paralelo y perpendicular al mazo, todas afectan a la transferencia del calor y a la pérdida de carga.

El material utilizado para baffles y soportes determina el espesor de los mismos, que en general no debe ser menor a 3/16" y que puede llegar a 1/2" en unidades grandes.

2.C. PLACAS SOPORTE.

Son baffles segmentales cuyo borde de corte se encuentra una hilera encima (como máximo), o en la misma hilera central de tubos en la coraza, esto equivale a decir un corte de aproximadamente 50 %. Dado que cada placa soporte fija solamente la mitad de los tubos, han de hallarse colocadas alternadamente respecto a su orientación en la coraza. No deben existir zonas no soportadas del mazo que sobrepasen los correspondientes valores admisibles según la siguiente tabla:

MÁXIMA LONGITUD NO SOPORTADA DE TUBO		
Tubería O.D.	Acero al Carbono Acero inoxidable Aleaciones de níquel	Aluminio Aleaciones de cobre
1/4"	26"	22"
3/8"	35"	30"
1/2"	44"	38"
5/8"	52"	45"
3/4"	60"	52"
1"	74"	64"
1 1/4"	88"	76"
1 1/2"	100"	87"

Los orificios para el pasaje de los tubos deben perforarse 1/64" más grandes que el diámetro externo del tubo si la longitud máxima no soportada es mayor a 36" y si es menor o igual a 36", deben ser 1/32" más grandes hallándose libres.

2.D. BAFFLES SEGMENTALES.

Este tipo de baffle es de uso muy generalizado, tienen un diámetro cercano al diámetro interior de coraza dejando libre el área de un segmento circular que constituye la ventana del baffle o deflector. La porción abierta que representa el área libre para el flujo de fluido oscila entre el 20 y el 50 % del área de corte interior de coraza. El área neta de flujo será entonces la superficie mencionada menos el espacio ocupado por los tubos que atraviesan la ventana.

2.E. BAFFLES TIPO DISCO Y ANILLO.

La trayectoria de flujo a través de estos baffles es uniforme a lo largo de todo el intercambiador, el disco y el anillo son cortados de la misma placa y se ubican alternadamente a lo largo del equipo presentando la desventaja de que los fluidos que circulan por coraza deben ser limpios.

2.F. PLACAS DE CHOQUE.

Se colocan en los puntos donde el fluido ingresa a la coraza para proteger a los tubos más externos del mazo de la acción de sólidos en suspensión que se hallen en la corriente de un líquido, gotas de líquido en corrientes gaseosas, etc. Se pueden evitar así los fenómenos de corrosión-erosión, que dañan los mazos con gran rapidez.

2.G. BAFFLES LONGITUDINALES

Se colocan en el interior de la coraza de una unidad para dividir el flujo que circula por coraza en dos o más partes, originándose velocidades más altas que mejoran la transferencia de calor o conformando el mazo en dos áreas divididas para el subenfriamiento del líquido o enfriar vapores no condensables medida que abandonan la

coraza, el baffle longitudinal debe encontrarse perfectamente sellado en sus bordes para evitar el by-pass.

3. VARILLAS Y ESPACIADORES

Se acostumbra a ubicarlos en la periferia del mazo, debiendo tener en cuenta que dicho espacio representa una reducción de tubos a utilizar para el intercambio. El número y tamaño depende de las dimensiones y construcción del intercambiador. La siguiente tabla es una recomendación dada por las normas TEMA.

Diámetro de coraza [inch]	Diámetro mínimo de varilla	Nº mínimo de varillas
6 a 15	1/4	4
16 a 27	3/8	6
28 a 33	1/2	6
34 a 48	1/2	8
49 y más	1/2	10

4. PLACAS DE TUBOS

Son los elementos ubicados en el extremo anterior y posterior del mazo y que separan el fluido que circula por los tubos del que circula por coraza. La mayoría de los servicios requieren de placas simples (una sola placa en cada cabezal), solamente los servicios con fluidos peligrosos o corrosivos donde las pérdidas podrían originar problemas serios hacen necesario el uso de placas dobles.

4.A. UNION PLACA – TUBO

La calidad de unión entre los tubos y la placa es extremadamente importante un tipo de unión inadecuada provocaría pérdidas de uno de los fluidos de acuerdo a la mayor presión de operación. El tipo de unión puede tener varios diseños dependiendo del tipo de servicio y del intercambiador.

5. DISPOSICIÓN DE LOS TUBOS EN LA PLACA

La disposición de los tubos en la placa determina el número de tubos de un tamaño pitch seleccionado que pueden ubicarse dentro de una coraza de un determinado diámetro interior. El número de tubos que se ubican en el interior de la coraza varía en función del número de pasos por tubos y de la existencia de baffles longitudinales. Los tamaños más comunes para intercambiadores son 3/4" OD y 1" OD, los tubos de 5/8" OD y 1/2" OD son utilizados en mazos compactos como los que aparecen en sistemas de refrigeración, en general presentan problemas de limpieza en la zona exterior e interior asociados a los de fabricación. Los tubos de 1 1/4" OD, 1 1/2" OD y algunos de mayor diámetro se utilizan en evaporadores, hervidores y reboilers. Los tubos de 3", 3 1/2" y 4" OD se utilizan en hornos y en casos particulares de intercambio (precalentadores de aire, economizadores de hornos y calderas).

6. NUMERO DE TUBOS

El número de tubos que pueden ubicarse dentro de un diámetro interior de determinada coraza depende de las características arreglo y paso por tubos y de las tolerancias de fabricación. Es necesario aclarar que el número real de tubos que van a conformar el mazo y a ubicarse en la placa deben surgir de un plano que tenga en cuenta las características mencionadas. No obstante las tablas pueden presentar gran utilidad para prever la geometría interna del equipo (áreas de flujo en la ventana y cross flow, N° de tubos aproximados, N° de tubos en hilera central, etc).

Ningún tubo del mazo puede hallarse fuera de una circunferencia auxiliar (OTL) y cuyo diámetro es menor al diámetro interior de coraza, la diferencia entre este círculo y el diámetro interior de coraza depende del tipo de intercambiador y oscila entre 1/2 a 2" en equipos de placas fijas, mazo en "U" y cabezales flotantes tipo "S", "P" o "W".

Cuando un intercambiador tiene varios pasos por tubos, deben tenerse en cuenta pequeñas bandas longitudinales, sin tubos sobre las que deben apoyarse los baffles distribuidores de flujo ubicados en el cabezal fijo y el cabezal flotante, estos espacios tampoco se encuentran estandarizados, solamente debe tenerse en cuenta que el valor seleccionado no origine un pasillo de magnitud excesiva en el mazo, a través del cual el fluido que deba circular por el mazo no pase por el mismo, debe ser si lo suficientemente amplio para dejar de 3 a 4 mm de distancia entre las placas y el tubo más cercano, en el caso de los arreglos en cuadro, los espacios entre tubos deben quedar alineados, a pesar de pertenecer a pasos distintos con el objeto de que la limpieza exterior del mazo no se vea obstaculizada.

En los mazos de tubos en "U", los codos más pequeños tienen como mínimo un diámetro de curvatura de tres veces el diámetro exterior de los tubos.

El baffle de choque debe colocarse distanciado de la conexión de entrada de modo tal que el área del segmento circular que queda libre para el pasaje de fluido sea como mínimo igual a la mitad del área de flujo de la conexión.

7. DISPOSICIÓN DE TUBOS, DISTINTOS TIPOS DE ARREGLOS, DISTANCIA ENTRE CENTROS

La disposición de tubos en la placa y en el mazo involucra la ubicación de los mismos siguiendo características de regularidad geométrica donde la combinación entre las dimensiones del tubo, paso (distancia entre centros) y arreglos seleccionados ha de lograr una performance óptima del equipo bajo las condiciones prescriptas por las especificaciones de diseño.

Las posibilidades se reducen a cuatro involucrando dos tipos de distribución “triangular” y “cuadrada”. La distribución triangular permite colocar a IDS constante un mayor número de tubos en el mazo, con el inconveniente que imposibilita la limpieza externa de los mismos por medios mecánicos (limpieza química solamente), como para este tipo de limpieza no es necesario retirar el mazo, la distribución o arreglo triangular se emplea solamente en equipos de placa fija, en tanto que la cuadrada se utiliza para cabezales tipo “U” o flotantes.

Consideraciones: Si la velocidad del fluido no es demasiado elevada el coeficiente de transferencia es relativamente más bajo, esta desventaja encarece el costo del equipo y las mejoras mencionadas no compensan esta situación, por lo cual se utiliza más frecuentemente el arreglo en cuadro rotado. Cuando el equipo opera en presencia de cambios de fase aparecen factores particulares que cobran importancia en la elección del arreglo: facilidad de limpieza, canales adecuados para la liberación de burbujas de vapor evitando la formación de bolsones de vapor (que aislarían parte de la superficie de transferencia), trayectoria del condensado, acumulación del mismo y facilidad de remoción, etc.

La distancia entre centros (paso o pitch), se relaciona directamente con el arreglo y materialmente con los factores que aconsejan determinada selección, en general la distancia entre centros suele ser un 25 % mayor al diámetro exterior de los mismos, así para tubos de 3/4” el pitch es de 15/16”, para 1” es 1 1/4”. En la distribución en cuadro se exige como mínimo una separación de 1/4” entre tubos para permitir la limpieza exterior por medios mecánicos, lo que determina que un tubo de 3/4” tenga un pitch de 1” y uno de 1” de 1 1/4”.

8. SUPERFICIE DE INTERCAMBIO

La superficie de intercambio neta proporcionada por un equipo debe determinarse a partir del plano de construcción, antes de pasar a su determinación es preciso definir algunos conceptos.

8.A. NUMERO DE TUBOS

El número de tubos que intervendrá es el número real de tubos del mazo, luego de todas las modificaciones realizadas: eliminación de tubos perimetrales para respetar tolerancias, eliminación de tubos por varillas y espaciadores, eliminación de hileras por pasos múltiples, etc.

8.B. LONGITUD NOMINAL DE TUBOS

Es la longitud total del tubo, que en el caso de ser recto se construye generalmente en longitudes estándar. De acuerdo a esto pueden construirse de: 8, 10, 12, 16, 24 o 32 ft.

Es obvio que pueden construirse de otras longitudes. Los tubos sobresalen de las placas de tubos a efectos de realizar una buena unión entre 1/4" y 1/2", con estos elementos puede entonces definirse la distancia entre las caras externas de las placas.

8.C. LONGITUD EFECTIVA DE TUBOS

Es la longitud expuesta a la circulación de ambos fluidos y que debe utilizarse en el cálculo del área de transferencia. Esto se hace para tener en cuenta la parte de los tubos que se insertan en las placas que no se considera efectiva para transferir calor (esta diferencia entre longitud nominal y efectiva origina en algunos casos correcciones importantes en el valor de la superficie de transferencia efectiva. El cálculo de la longitud efectiva difiere en el caso de tratarse de mazos de tubos en "U").

9. CONEXIONES

Las conexiones para el ingreso y salida de los fluidos ubicados en el cabezal distribuidor y en la coraza, se dimensionan a través de las ecuaciones convencionales de pérdida de carga o utilizando guías sobre velocidades de uso muy generalizadas. Debe ponerse especial atención ante la presencia de condiciones críticas.

1.14. Suportación de tuberías.

Los puntos de suportación necesaria del sistema de tuberías, vienen indicados en el documento Planos, y el tipo de soportes podrán ser del tipo indicado en el anexo. En cuanto a la suportación de los equipos se realizará de acuerdo a la normativa, y viene indicado en el plano OTR – X – 006, del documento Plano.

Debido al tamaño de los accesorios, y altura de suportación del sistema de tuberías, se deberá levantar el intercambiador de calor gas-gas a una altura de 1.20 metros, mediante una zapata de hormigón de la suficiente resistencia para soportar el peso de dicho equipo lleno de aquel fluido de mayor densidad que circule a través de él.

La suportación de los equipos, se realizará mediante soportes tipo cuna, como se indica en el plano OTR – X – 010, del documento Planos, y como se menciona en la página 59 del documento Pliego de Condiciones.

En cuanto a la suportación de las tuberías que conforman la línea principal de procesos, ésta se realizará mediante rodetes, o soportes indicados en el anexo VII del documento Anexo.

En cada cambio de dirección, como puede ser un codo o cualquier accesorio, se deberá ubicar un apoyo, como viene expresado en la página 65 del documento Pliego de Condiciones.

Para obtener una separación segura entre apoyos destinados a soportar las tuberías del proceso, se ha recurrido a una tabla que en función del diámetro de la tubería y el tipo de material y su resistencia a la flexión y presión interna, se determina dicha distancia entre apoyos, dicha tabla se recoge en el documento Anexo, concretamente anexo VII.

También, en el documento de Anexo, específicamente en el anexo I, dedicado a la presentación de cálculos, se recoge un cálculo de dicha distancia para la línea principal de procesos, para ello se ha supuesto que la tubería se comporta como una viga simplemente apoyada, que es el caso mas restrictivo en cuanto a condiciones de trabajo.

Para ello se ha tenido en cuenta la tensión debido a presión interna, la tensión debido a flexión, y la suma de ambas deberá ser menor a la tensión admisible, dividida por un coeficiente de seguridad, que en este caso es de 1.5.

Los apoyos de dicho sistema de tuberías serán tipo rodetes (o a elección en el anexo VII), como viene indicado en el documento Pliego de Condiciones, dicho sistema de apoyos tiene como función permitir un grado de libertad de movimiento que se pueda dar debido a dilataciones del material, debido a las temperaturas de proceso que manejamos, alcanzándose en algunos casos hasta los 300C°, como la línea que une la caldera de recuperación con el intercambiador de calor gas-gas.

1.15. Aislamiento de tuberías.

Para el aislamiento de aquellas tuberías, que por su energía calorífica, requieran de aislamiento para la conservación de calor, tanto por razones de necesidades de proceso como por razones de seguridad, nos acogemos a la especificación de aislamientos de tuberías ESP-4205-1, de CEPESA, el cuál consta de una manta de fibra de vidrio, como aislante, chapas de aluminio para sostener dicho aislante y protegerlo de las condiciones adversas, y finalmente debemos afianzar dicha chapa mediante lazadas de un material de acero galvanizado, con una máxima separación de 300 mm, según dicha especificación.

No obstante el aislamiento de tuberías viene detallado en el documento Pliego de Condiciones, pliego de condiciones particulares, apartado 2 (condiciones técnicas relativas a los equipos), página 65.

Los solapes de las chapas de sustentación del material aislante, han de ser de al menos 500 mm, y cuando se trate de tuberías en disposición vertical dicho solape debe configurarse de manera que en caso de lluvia, el agua no pueda entrar a través de dichos solapes, así pues, la chapa de cota superior solapará de forma que su superficie quede expuesta al medio externo, y su cara interna en contacto con la chapa de inferior cota. Es decir los solapes siempre se configurarán a favor de agua.

1.16. Sistema de protección contra incendios.

El sistema de protección contra incendios que se aplicará en el área de procesos, seguirá manteniendo la armonía del sistema de protección contra incendios que antecede a dicha Planta de Oxidación.

Así pues, dotaremos a los nuevos equipos de dicha Planta de un sistema de protección contra incendios de manera que puedan cumplir con los requerimientos de CEPESA.

El abastecimiento de agua procederá de la red, independientemente del agua que se destina para procesos. Dicha red transcurre por debajo del nivel del suelo, y por los caminos. El propósito de transcurrir por los caminos, es el de la fácil localización de la línea que pudiera ser afectada por avería, o la simple inspección, revisión y/o reparación. [18]

Además dicha red de tuberías va enterrada bajo los caminos a fin de evitar entorpecer el tráfico de vehículos o el paso del personal por la zona, y evitar también debido a las bajas temperaturas en invierno, la congelación del agua que porta dicha red contra incendios.

En cuanto a la normativa, la reglamentación a aplicar de obligado cumplimiento relativo a este proyecto es:

- Reglamento de instalaciones petrolíferas. (R.D. 2085 del 20 de octubre de 1994.)
- R.D. de 1942/96 (R.I.P.C.I)

Los elementos que conforman dicho sistema de protección contra incendios son los siguientes:

Tres hidrantes equipados con lanza, tres mangueras de 2.5", 3.5" y 4.5" y un extintor.

La presión disponible en la red será de 7.5 Kg. /cm², siendo la presión requerida de la lanza en cada punto hidrante de 7.4 Kg. /cm² aproximadamente, dicha presión se debe generar en la punta de lanza de cada uno de los puntos hidrantes situados conforme al documento Planos.

En dicho documento podemos observar la ubicación de cada uno de los hidrantes, de manera que el primero, cubriría la cabeza del intercambiador de calor gas-gas OTR-E-001, el ventilador que impulsa los gases a depurar y parte del conjunto caldera-oxidador térmico (OTR-C-001/OTR-OT-001). Para proteger dichos equipos, con el hidrante anteriormente indicado, se precisa un diámetro en punta de lanza de 2.5", como se indica en el documento Anexo, página 57 del anexo I, en el apartado 1.19.

Los otros dos puntos hidrantes, que también van equipados con lanza, están situados conforme a los planos, y se ubican de manera estratégica, de forma que uno de ellos cubrirá el lado calle del conjunto caldera-oxidador térmico, (OTR-C-001/OTR-OT-001) y parte del intercambiador de calor (OTR-E-001).

Además se dispondrá de un extintor, para combate de posible comienzo de incendio, así como el hecho de proporcionar el posible acceso a dichos puntos hidrantes, no obstante colocados a una distancia a la cuál se debería tener un acceso adecuado.

La superficie total a cubrir con los equipos de protección contra incendios es la siguiente:

Equipo/Elemento	Superficie (m ²)
Ventilador	4
Intercambiador	20.7
Caldera	12
Oxidador Térmico	40.7

Así pues, el área total a cubrir por dichos elementos de protección contra incendios, será de 77,4 m².

De la red, partirán tres colectores independientes hacia cada punto hidrante, a fin de evitar que se produzca una avería o situación adversa que origine el mal funcionamiento de los tres hidrantes a la vez, por causa de un solo colector.

Cada hidrante proporciona un caudal, suficiente para cubrir toda la superficie anteriormente indicada.

Como se indica en el anexo I del documento Anexo, tenemos tres hidrantes que proporcionarán los siguientes caudales:

Protección intercambiador-ventilador: 271.7 L/min. (Aptdo. 1.18, Pág. 47 del anexo I).

Protección caldera: 240 L/min. (Aptdo. 1.18, Pág. 49 del anexo I).

Protección oxidador: 814 L/min. (Aptdo. 1.18, Pág. 49 del anexo I).

El caudal que deben proporcionar dichas lanzas, ha de ser tal que en posición de descarga se consiga un caudal constante a fin de evitar posibles desajustes.

Como ya se ha indicado con anterioridad, del colector general e independiente al entramado de agua destinada a procesos, partirán tres colectores con destino a cada punto hidrante, y dichos colectores serán de 6", ya que estos son los que se vienen usando en la Planta de hidrosulfuración, de manera que se prolongará dicho colector hacia Planta colindante a la Planta de Oxidación objeto de este proyecto.

Para una mayor descripción de los elementos que componen cada punto hidrante, así como materiales, caudales, presiones en punta de lanza, debemos acudir al documento Pliego de Condiciones, apartado 5, página 68, relativo al pliego de condiciones particulares.

Resumiendo los resultados serán los siguientes:

Equipo/Elemento	Superficie (m ²)	Diámetro punta de lanza (inch)	Caudal proporcionado (L/min.)	Superficie (m ²)
Ventilador	4	2.5	271.7	4
Intercambiador	20.7			20.7
Caldera	12	3.5	240	12
Oxidador Térmico	40.7	4.5	814	40.7

1.17. Sistema de alumbrado.

El sistema de alumbrado de dicho proyecto, se ha diseñado teniendo en cuenta la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo.

Dicho sistema de alumbrado constará fundamentalmente, de un conjunto de luminarias montadas sobre un pedestal, pudiéndose instalar en escaleras y plataformas.

En el documento Anexos, concretamente en el anexo primero relativo a los cálculos, se ha realizado un cálculo en el que se estima el número y disposición de luminarias, para la superficie a iluminar, conforme a la anterior guía citada, que además es aprobada por el R.D. 486/1997 del 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

En el documento Pliego de Condiciones, se especifican los requerimientos que deben cumplir los materiales de dichas luminarias, así como los materiales que conforman los

soportes, las condiciones atmosféricas para las cuales dichas luminarias rendirán de manera óptima y segura, etc.

Para dar una idea general, los materiales deberán ser resistentes a las condiciones medio ambientales a las que se van a exponer, dichas condiciones se han citado con anterioridad en este documento en la página 13.

Dichas luminarias deben de soportar unas temperaturas que oscilen entre los 40 y 0°C, la humedad relativa será del 60%, dato proporcionado por la refinería Gibraltar del grupo CEPSA, y aún así dichas luminarias están preparadas para soportar humedades relativas del 80%, además del ambiente salino debido a la ubicación de dicha refinería por su cercanía al mar.

La tensión con la que se contará y la frecuencia serán de 220 voltios y 50 Hz respectivamente, datos a tener en cuenta a la hora de efectuar el pedido de los materiales que conforman el sistema de iluminación de dicho proyecto.

Debido al ambiente que se producirá, al operar los equipos que conforman el proyecto, como pueden ser el incinerador y la caldera de recuperación, por citar un ejemplo, las luminarias deberán de ser tipo antiexplosivas, deberán generar poco calor, para evitar cualquier riesgo por motivo de contacto con sustancias combustibles.

El sistema de alumbrado, contará con lámparas que nos proporcionen dos diferentes tipos de servicios, uno actuando de manera normal, y el otro en caso de emergencia por cualquier problema en la red.

Dichas lámparas de iluminación de emergencia, deberán proporcionar una autonomía de una hora de duración, para proceder al arreglo del problema eléctrico, que si por algún motivo no se resolviese debemos tener recambios de las baterías que proporcionan dicha autonomía.

El tubo soporte de cada luminaria, se anclará, sobre una cota por encima de la cota del pavimento, que gracias a una base de hormigón, se elevará del mismo.

Este anclaje se realizará mediante una placa base soldada y galvanizada, fijándose dicha placa mediante pernos de anclaje roscados, con arandelas y tuercas.

Todos estos elementos irán fijados a una base de hormigón, que durante su hormigonado serán colocados acometidas que deberán ser conectadas con las arquetas eléctricas correspondientes.

A la hora de realizar dicho diseño, debemos tener en cuenta una serie de factores que influyen en el procedimiento de cálculo, como pueden ser:

Área a iluminar, nivel de iluminación requerida (lux), tipo de iluminación, tipo de lámpara, artefacto o montaje según situación (escalera, plataforma, pavimento...), factor de depreciación debido a suciedades o usos, factor de utilización, altura de suspensión.

Las lámparas serán de tipo fluorescentes, debido a su menor consumo en comparación con las incandescentes, ya que, consumen la 5^o parte de las anteriores, en consumo eléctrico, para generar un mismo nivel de iluminación, es decir, las lámparas incandescentes consumen un 80 % más para igual eficacia en lúmenes por watt de consumo (lm/w.).

Además la recuperación de la inversión, sería de un periodo de seis meses en el caso de que estuvieran operando 6 horas diarias.

Las lámparas fluorescentes, generan un 80% menos de calor respecto a las incandescentes, dando mayor seguridad y disminuyendo el riesgo de inflamación por origen de contacto lámpara-sustancia volátil.

Anteriormente se han citado los factores a tener en cuenta a la hora de estimar cuántas luminarias necesitaremos, y que distribución es la más adecuada.

La potencia de las lámparas a utilizar serán de 40 wátios, el propio fabricante nos dará la información del flujo lumínico de la lámpara, que dependerá de la eficacia de la misma, el factor de utilización lo obtendremos de las tablas del documento Anexo (anexo VII), el factor de mantenimiento dependerá del uso de las luminarias y del ambiente al que están expuestos, el nivel de iluminación viene reflejado en la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo, que en este caso es de 200 lux (lúmen por metro cuadrado), además la norma UNE relativa a la iluminación de establecimientos y espacios industriales recomienda dicho nivel de iluminación relativo a refinerías de petróleo.

Así pues, en el documento de Anexo, en el anexo 1º relativo a cálculos, y en el documento Pliego de Condiciones, se describe el sistema de iluminación, asegurando una correcta iluminación, tanto en zona de equipos como en accesos al área de procesos de dicha Planta de Oxidación objeto de proyecto.

El número total de luminarias será de 47, repartidas en la superficie total del área de procesos, de manera que en el área Caldera-Oxidador dispondremos de 20 lámparas, como se indica en el documento Anexo, anexo I, apartado 1.19, página 51.

Para el sistema de tuberías, se contará con un conjunto de 11 luminarias y para el conjunto Intercambiador-Ventilador, contaremos con un mínimo de 16 luminarias, según página 61 del anexo I, dentro del apartado 1.20 relativo al cálculo del sistema de alumbrado correspondiente al documento Anexo.

1.18. Seguridad.

La seguridad industrial tiene por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamiento o desecho de los productos industriales.

Las actividades de prevención y protección, tendrían como finalidad limitar las causas que originen los riesgos, así como establecer los controles que permiten detectar o contribuir a evitar, aquellas circunstancias que pudieran dar lugar a la aparición de riesgos y mitigar las consecuencias de posibles accidentes.

Tendrán la consideración de riesgos, relacionados con la seguridad industrial, las que puedan producir lesiones o daños a personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente y en particular los incendios, explosiones y otros hechos susceptibles de producir quemaduras, intoxicaciones, envenenamiento o asfixia, electrocución, riesgos de contaminación producida por instalaciones industriales, perturbaciones

electromagnéticas o acústicas y radiación, así como cualquier otro que pudiera preverse en la norma internacional aplicable sobre seguridad.

Códigos y normas aplicables.

1. El diseño se realizará de acuerdo con el “Reglamento de Seguridad de Refinerías y Parques de Almacenamiento de Productos Petrolíferos”, Decreto 3143/1975 B.O.E. 3-12-75, siguiendo de forma básica las directrices marcadas por la Norma API RP 521 “Guide for pressure Relief and depressuring System”.
2. Todas las plataformas de trabajo y escaleras de acceso serán diseñadas cumpliendo los requisitos de seguridad impuestos en la “Ordenanza General de Seguridad e Higiene”, la Norma ANSI A14.3 y las Normas OSHA relativas a seguridad y salud laboral.
3. Real Decreto 486 / 1997, del 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
4. Real Decreto 1316 / 1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a ruido durante el trabajo. B.O.E núm, 263 del jueves 2 de Noviembre.
5. El sistema de detección y control de incendios estará integrado en el sistema contraincendios del complejo al que pertenecerá este Sistema de control de COV.
6. Se dispondrá del Manual de Seguridad del Sistema de control de COV.

Vías de circulación.

Las vías de circulación de los lugares de trabajo, incluidas las escaleras, pasillos y rampas, deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad para peatones o vehículos que circulen por ellas y para el personal que trabaja en sus proximidades.

El número, situación, dimensiones y condiciones constructivas de las vías de circulación de personas o de materiales deberán adecuarse al número potencial de usuarios y a las características de la actividad y del lugar de trabajo.

La anchura mínima de las puertas exteriores y de los pasillos será de 80 centímetros y 1 metro, respectivamente.

Siempre que sea necesario para garantizar la seguridad de los trabajadores, el trazado de las vías de circulación deberá estar señalizado.

Instalaciones, materiales y equipos eléctricos.

1. Todas las instalaciones, equipos y materiales eléctricos cumplen las exigencias de los reglamentos electrotécnicos de alta y baja tensión.
2. La acometida general para suministro de energía eléctrica será tipo enterrada.
3. La protección contra los efectos de la electricidad estática y las corrientes que puedan producirse por alguna anomalía se establece mediante las puestas a tierra de todas las masas metálicas.
4. Para la protección contra el rayo y las corrientes de circulación las puestas a tierra cumplen lo establecido en la normativa vigente.

Señalización.

La señalización de seguridad se deberá ajustar al R.D 485/1997 sobre disposiciones mínimas en materia de señalización, seguridad y salud en el trabajo.

Prevención de riesgos laborales.

A) Radiación térmica.

Aplicaremos 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.

La legislación española al respecto es bastante restrictiva, ya que el “Reglamento de Seguridad de Refinerías y Parques de Almacenamiento de Productos Petrolíferos”, Decreto 3143/1975 B.O.E. 3-12-75, marca como niveles máximos de emisión 1476 Btu/hft² (4000 Kcal/hm²) a pie de antorcha en condiciones de emergencia y de 185 Btu/hft² (500 Kcal/hm²) en condiciones normales de funcionamiento.

B) Ruido

Aplicación del Real Decreto 1316 / 1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a ruido durante el trabajo. B.O.E núm, 263 del jueves 2 de Noviembre.

Debido a que el ruido de combustión es un proceso inherente a él no es posible eliminarlo, por lo que el personal que trabaje en las inmediaciones del sistema de deberá tomar las protecciones acústicas necesarias, tales como tapones o protectores acústicos, además de limitar su permanencia en la zona.

El nivel máximo de ruido a pie de antorcha según norma API RP 521 será de 80 dB.

C) Iluminación

Aplicación del Real Decreto 486 / 1997, del 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Anteriormente ya se ha mencionado las características de dicho sistema.

Condiciones de protección contra incendios.

Se seguirá el “Reglamento de Seguridad de Refinerías y Parques de Almacenamiento de Productos Petrolíferos”, Decreto 3143/1975 B.O.E. 3-12-75 y haciendo uso del reglamento de instalaciones petrolíferas: instrucción técnica complementaria MI-IP 01 «REFINERÍAS», dicho sistema de protección contra incendios ya ha sido descrito con anterioridad.

Utilización de extintores.

a) Protección contra riesgos debidos a hidrocarburos.

En todas las instalaciones en que se almacenen o manejen hidrocarburos se preverá la colocación de extintores de polvo portátiles o sobre ruedas, tipo adecuado a la clase de fuego que pueda producirse. Se prestará especial atención a:

Unidades de proceso, en las que se colocarán extintores portátiles o sobre ruedas para cubrir en cualquier momento los riesgos que puedan derivarse de hornos, bombas, niveles, válvulas de seguridad, purgas y drenajes, entre otros. Su distribución y colocación en la instalación asegurará su rápida acción por el personal de servicio en la misma, hacia puntos de posible peligro.

Postes de carga a granel en cargaderos de vehículos cisterna. En su proximidad y sitio seguro se situará al menos un extintor de polvo seco sobre ruedas de 100 kilogramos o dos de 50 kilogramos, o de otro tipo, de capacidad de extinción equivalente.

Otros puntos de peligro, tales como salas de compresores, zonas de bombas de productos petrolíferos, separadores, etc., tendrán como mínimo dos extintores portátiles de 10 ó 12 kilogramos, o de otro tipo, de capacidad de extinción equivalente.

b) Protección contra otros riesgos.

Se distribuirán extintores apropiados en los diversos locales, de acuerdo con la legislación vigente.

c) Revisión y pruebas de extintores.

Los extintores se revisarán periódicamente de acuerdo con la buena práctica y recomendaciones del fabricante, pero como mínimo una vez al año. También se realizarán pruebas de presión hidráulica de acuerdo con lo preceptuado en el Reglamento de aparatos a presión.

Protección personal.

En las inmediaciones de aquellos puntos donde pueda existir el peligro de quemaduras de personal existirán convenientemente repartidas mantas ignífugas.

En un lugar adecuado de la refinería existirán, para uso del personal dedicado a la lucha contra incendios, trajes de aproximación al fuego, equipos respiratorios, pantallas anticalóricas, guantes, gafas y demás elementos protectores.

Sistema de alarma

Puntos de alarma, para en caso de incendios avisar al servicio de seguridad, estarán repartidos de tal manera que, en ningún caso, la distancia a recorrer para alcanzar un punto, sea superior a 300 metros, a partir de un elemento conteniendo hidrocarburos, excepto tuberías. Caso de no existir puntos de alarma deberán sustituirse por transmisores portátiles de radio en poder de vigilantes o personal de servicio.

Ergonomía.

Los operarios deberán adoptar una posición cómoda de trabajo de tal forma que no tengan que realizar flexiones continuas o adoptar posturas de pie inclinado $> 30\%$. Además se le proporcionaran las herramientas y utensilios necesarios para las actividades en operaciones normales y de mantenimiento.

Los accesorios, válvulas y aparatos a manipular deberán estar colocados de la manera más cómodamente posible para su manipulación.

Instrucciones en caso de descubrir un incendio.

- Estimar si es capaz de atajarlo sólo, si es así, procederá a intentarlo, con los extintores que se encuentren a mano.
- Si no puede apagarlo o no se cree capaz, avisará al miembro de Equipo de Segunda Intervención más próximo.
- Si el incendio no se ha sofocado, o bien no se encuentra próximas algunas de las personas del equipo mencionado, alerte al Centro de Control y Comunicaciones:
 1. Identifíquese
 2. Detalle el lugar, naturaleza y magnitud de la emergencia.
 3. Asegúrese de que reciben el aviso.
- Avise al jefe de la zona.
- Espere órdenes.

1.19. Sistema de numeración.

La nomenclatura utilizada para designar a los equipos, líneas e instrumentación ha sido la siguiente:

· Código utilizado para nombrar las líneas:

OTR – X” – fluido – n° - A152 – A, siendo:

- (i) X: el tamaño de la tubería en pulgadas.
- (ii) Fluido: tipo de fluido que circula por la tubería.
 - 1. COV: Compuesto orgánico volátil.
 - 2. PO: Productos oxidados.
 - 3. FG: Fuel gas.
 - 4. AIR: Aire.
 - 5. LIG: Gas inerte.
 - 6. AI: aire de instrumentos.
- (iii) n°: número de la tubería. Se han numerado según el tipo de material.
- (iv) A152: tipo de material empleado. Especificaciones de Cepsa.
(En Anexo podemos encontrar las distintas clases de tuberías utilizadas).
- (v) A: aislamiento (P: pintado, C: calorífugado, N: sin protección).

· Código para identificación de los equipos:

OTR – identificación – n°, siendo:

Descripción	Identificación
Oxidador térmico	OT
Caldera	C
Intercambiador de calor	E
Filtro	F
Chimenea(Fuera del alcance del Proyecto)	CH

A todas las líneas, equipos e instrumentos le anteceden las letras OTR que significan Oxidación Térmica Recuperativa, que sería el nombre del proceso global.

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

ANEXOS A LA MEMORIA.

PROYECTO BÁSICO.

ÍNDICE ANEXOS.

ANEXO I: CÁLCULOS.....	1
ANEXO II: COMBUSTIÓN.....	62
ANEXO III: CARACTERÍSTICAS DE OXIDADORES Y QUEMADORES.....	77
ANEXO IV: INSTRUMENTACIÓN.....	107
ANEXO V: CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES.....	138
ANEXO VI: HOJAS DE ESPECIFICACIONES.....	148
ANEXO VII: TABLAS Y FIGURAS.....	155

ANEXO I

CÁLCULOS.

Índice de cálculos:

1.1. Cálculo del poder calorífico inferior de la mezcla gaseosa de COV	3
1.2. Reacciones de combustión de la mezcla gaseosa de COV	4
1.3. Cálculo del oxígeno estequiométrico necesario	5
1.4. Cálculo del exceso de aire	7
1.5. Cálculo de la composición de humos generados	9
1.6. Cálculo de la temperatura adiabática de la llama de la mezcla	11
1.7. Cálculo del caudal necesario de aire para la combustión de COV	13
1.8. Cálculo del límite de explosividad	15
1.9. Cálculo de las dimensiones de la cámara de combustión del oxidador.....	20
1.10 Cálculo de la protección de la pared de la cámara de combustión.....	23
1.11 Cálculo de la temperatura adiabática de la llama de fuel gas.....	26
1.12 Cálculo del caudal necesario de fuel gas	28
1.13 Cálculo del caudal necesario de aire para la combustión de fuel gas.....	29
1.14 Cálculo del intercambiador de calor gas-gas.....	30
1.15 Dimensionado de tuberías	42
1.16 Cálculo de la potencia requerida por el ventilador	50
1.17 Distancia máxima entre apoyos de tuberías	50
1.18 Especificación de los requerimientos de la caldera de recuperación.....	54
1.19 Cálculos relativos al sistema de protección contra incendios.....	57
1.20 Cálculos relativos al sistema de alumbrado.....	61

1.1. Cálculo del poder calorífico inferior de la mezcla gaseosa de COV.

Para la realización de dicho cálculo, damos los datos necesarios referentes a la corriente gaseosa de COV: composición y calor de combustión.

Componentes	% mol	Calor de combustión a 15 °C (Kcal/mol)
O ₂	8	-
CO	2,4	67,6
C ₄ H ₁₀	0,35	635,3
C ₃ H ₈	0,35	488,5
C ₆ H ₁₄	0,2	922
CO ₂	2,5	-
H ₂ O	10	-
N ₂	76,2	-
TOTAL	100%	

El poder calorífico inferior de la mezcla será igual a la suma de los poderes caloríficos de cada componente, multiplicados por el tanto por uno de cada componente de dicha mezcla gaseosa.

Como base de cálculo tomaremos 1 mol de gas de COV:

Por lo tanto el número de unidades de calor liberadas por el Butano es:

$$0,0035 \times 635,3 \text{ Kcal/mol} = 2,224 \text{ Kcal/mol}$$

Y así sucesivamente hacemos con todos los componentes:

$$0,024 \times 67,6 \text{ Kcal/mol} = 1,622 \text{ Kcal/mol} \rightarrow \text{CO}$$

$$0,0035 \times 488,5 \text{ Kcal/mol} = 1,710 \text{ Kcal/mol} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8$$

$$0,002 \times 922 \text{ Kcal/mol} = 1,844 \text{ Kcal/mol} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{14}$$

Sumando los calores de cada uno de los componentes obtenemos el poder calorífico inferior total de la mezcla:

$$2,224 \text{ Kcal/mol} + 1,622 \text{ Kcal/mol} + 1,710 \text{ Kcal/mol} + 1,844 \text{ Kcal/mol} = 7,4 \text{ Kcal/mol}$$

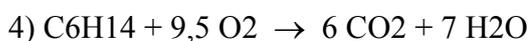
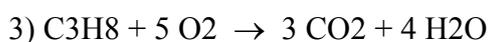
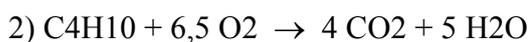
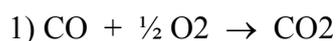
Para resumir el PCI de la mezcla es igual a 7,4 Kcal/mol.

1.2. Reacciones de combustión de la mezcla gaseosa de COV.

Las reacciones de combustión de la mezcla gaseosa son las siguientes:

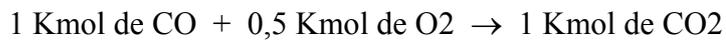


Inicialmente no tenemos hidrógeno, pero en esta corriente inicial contamos con: CO, C₄H₁₀, C₃H₈ Y C₆H₁₄, por tanto las reacciones de combustión son las siguientes:



1.3. Cálculo del oxígeno estequiométrico necesario.

Siguiendo la estequiometría de las reacciones de combustión, siempre planteando en mol, tenemos las siguientes reacciones estequiométricas:



Pesos moleculares:

$$M(\text{CO}) = 28 \text{ Kg. /Kmol}$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ Kg. /Kmol}$$

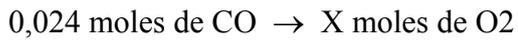
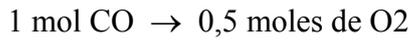
$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ Kg. /Kmol}$$



Como dijimos con anterioridad, se ha tomado como base de cálculo un mol de gas COV.

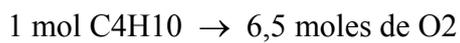
Componentes	Moles
CO	0,024
C ₄ H ₁₀	0,0035
C ₃ H ₈	0,0035
C ₆ H ₁₄	0,002

Luego si 1 mol de CO reacciona con 0,5 de O₂, entonces 0,024 moles de CO reaccionarán con 0,012 de O₂.

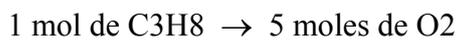


$$X = 0,012 \text{ moles de O}_2.$$

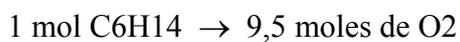
Ya se sabe el oxígeno estequiométrico necesario para la combustión del CO, y así sucesivamente se calculan lo de los demás componentes.



$$X = 0,023 \text{ moles de O}_2$$



$$X = 0,018 \text{ moles de O}_2$$



$$X = 0,019 \text{ moles de O}_2$$

El número de moles de oxígeno totales, será igual a la suma de todos los calculados con anterioridad:

$$0,012 \text{ moles} + 0,023 \text{ moles} + 0,018 \text{ moles} + 0,019 \text{ moles} = \mathbf{0,072 \text{ moles de O}_2}$$

1.4. Cálculo del exceso de aire.

En la realidad, es prácticamente imposible obtener una mezcla homogénea y total del combustible con el comburente, sobre todo teniendo en cuenta el corto espacio de tiempo en que esta mezcla debe realizarse. Esto obliga a emplear una cantidad real de aire comburente mayor de la estrictamente necesaria o aire mínimo de combustión.

La relación entre el aire realmente utilizado y el aire mínimo necesario se le denomina “índice de exceso de aire “, factor o coeficiente de exceso de aire, y se designa normalmente por “n”:

$$n = A. \text{ Real} / A_m$$

Al valor $n-1 = (A.\text{real} - A_m) / A_m$ se le denomina “exceso de aire “y se suele expresar en %, es decir:

$$m = \% \text{ exceso de aire} = (n - 1) \times 100$$

En el proyecto en estudio se utiliza un índice de exceso de aire igual a 1,2 y un exceso de aire de un 20%.

Luego procedemos al cálculo de dicho oxígeno en exceso que debemos suministrar al oxidador:

$$0,072 \text{ moles de } O_2 \rightarrow 100\%$$

$$X \text{ moles de } O_2 \rightarrow 20\%$$

$$X = 0,014 \text{ moles de } O_2$$

Debido a que en la corriente de entrada de la mezcla gaseosa existe un 8% de moles de oxígeno, dicha cantidad se la restaremos al oxígeno de la corriente de entrada de aire, ya que de caso contrario existiría más de un 20% de oxígeno en exceso.

Ya que el total de oxígeno requerido es 0.086 moles por mol de COV, y contamos con 0.08 mol de oxígeno por mol de COV en la corriente de entrada de gases COV, nada mas queda restar a 0.086 los 0.08 con los que ya contamos.

Luego:

$$0,086 \text{ moles de O}_2 - 0,008 \text{ moles de O}_2 = \mathbf{0,006 \text{ moles de O}_2}$$

Despreciándose los componentes escasos del aire, se supone q este es una mezcla de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno (en volumen o en moles), por lo que también se introduce una cantidad de nitrógeno:

$$0,79 \text{ moles de N}_2 \rightarrow 0,21 \text{ moles de O}_2$$

$$X \text{ moles de N}_2 \rightarrow 0,006 \text{ moles de O}_2$$

$$X = 0,023 \text{ moles de N}_2.$$

Para finalizar se calculará los moles de aire a los que corresponden esos 0,006 moles de oxígeno:

$$1 \text{ mol de aire} \rightarrow 0,21 \text{ moles de oxígeno}$$

$$X \text{ moles de aire} \rightarrow 0,006 \text{ moles de oxígeno}$$

$$X = \mathbf{0,029 \text{ moles de aire por mol de COV.}}$$

Para resumir, se necesitan introducir en el oxidador por cada mol de la corriente gaseosa de compuesto orgánico volátil una cantidad de 0,029 moles de aire.

1.5. Cálculo de la composición de humos generados.

Las reacciones de combustión eran:

- 1) $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- 2) $\text{C}_4\text{H}_{10} + 6,5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{C}_6\text{H}_{14} + 9,5 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$

En fase gaseosa los productos de la reacción son el CO_2 , CO , SO_2 , N_2 , (NO_x), O_2 y el H_2O procedente de la reacción del hidrógeno del combustible con el aire.

Primero se verá la cantidad de CO_2 generada:

Si 1 mol de CO genera 1 mol de CO_2 , 0,024 moles de CO generarán X:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de CO} &\rightarrow 1 \text{ mol de CO}_2 \\ 0,024 \text{ moles de CO} &\rightarrow X \text{ moles de CO}_2 \end{aligned}$$

$$X = \mathbf{0,024 \text{ moles de CO}_2}$$

Se continuará con los demás componentes:

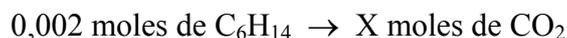
$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de C}_4\text{H}_{10} &\rightarrow 4 \text{ moles de CO}_2 \\ 0,0035 \text{ moles de C}_4\text{H}_{10} &\rightarrow X \text{ moles de CO}_2 \end{aligned}$$

$$X = \mathbf{0,014 \text{ moles de CO}_2}$$

$$1 \text{ mol de C}_3\text{H}_8 \rightarrow 3 \text{ moles de CO}_2$$



$$X = \mathbf{0,011 \text{ moles de } CO_2}$$



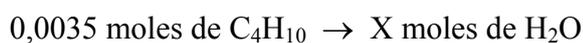
$$X = \mathbf{0,012 \text{ moles de } CO_2}$$

En total tenemos una **generación de CO_2** de:

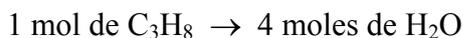
$$0,012 \text{ moles} + 0,014 \text{ moles} + 0,024 \text{ moles} + 0,011 \text{ moles} = \mathbf{0,061 \text{ moles de } CO_2}$$

La cantidad de H_2O generada es:

Si 1 mol de C_4H_{10} genera 5 moles de H_2O , 0,0035 moles de C_4H_{10} generarán:



$$X = \mathbf{0,018 \text{ moles de } H_2O}$$



$$X = \mathbf{0,014 \text{ moles de } H_2O}$$



$$X = \mathbf{0,014 \text{ moles de } H_2O}$$

En total tenemos una **generación de H₂O** de:

0,018 moles de H₂O + 0,014 moles de H₂O + 0,014 moles de H₂O = **0.046 moles de H₂O**

Para hallar la **composición de los humos** en moles se debe sumar a las cantidades previamente calculadas las cantidades originales de la corriente de entrada de los gases de COV que no han reaccionado, por ejemplo se hará con el CO₂:

0,061 moles de CO₂ generados + 0,025 moles originales = **0,086 moles de CO₂**

Componentes	Moles originales	Moles reaccionan	Moles introducidos	Moles Generados	Moles Totales	Moles %
N ₂	0,762		0,023		0,785	76,140
O ₂	0,08	0,072	0,006		0,014	1,358
CO ₂	0,025			0,061	0,086	8,341
H ₂ O	0.10			0,046	0,146	14,161
C ₄ H ₁₀	0,0035	0,0035				
C ₃ H ₈	0,0035	0,0035				
C ₆ H ₁₄	0,002	0,002				
CO	0,024	0,024				
TOTAL	1	0,11	0,03	0,11	1,03	100

1.6. Cálculo de la temperatura adiabática de la llama de la mezcla.

Una parte del calor de combustión se pierde al exterior por conducción, convección y radiación.

Ahora vamos a realizar una primera aproximación, suponiendo condiciones adiabáticas, es decir, sin pérdidas de calor, de manera que el calor de combustión generado se emplee en aumentar la temperatura de los productos oxidados.

Presentamos una evaluación aproximada en función del valor máximo calculado para la combustión en condiciones adiabáticas (sin pérdida de calor a través de las paredes del hogar, o del oxidador, en la combustión cerrada o por contacto con los gases ajenos a la combustión, si ésta es abierta).

El valor de la temperatura adiabática de la llama, representa la temperatura máxima teórica de llama, empleando la cantidad estequiométrica de aire (suponiendo que se da combustión completa) y suponiendo que las condiciones son adiabáticas.

Las temperaturas máximas reales de las llamas son inferiores a las teóricas en aproximadamente 30-200 °C.

Luego con esta aproximación trataremos de demostrar, que la corriente de gases de COV es capaz de mantener los 850 °C en la cámara de combustión.

A la temperatura adiabática de la llama que calcularemos a continuación, le restaremos 200 °C, ya que este sería el caso más desfavorable, y la temperatura resultante deberá ser mayor o igual a 850 °C como obliga la legislación.

Para el cálculo de la temperatura adiabática de la llama utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_{neta} = (t - t_o) \sum n_f C_{p_f}$$

Siendo t la temperatura adiabática, t_o la temperatura base (la de entrada de combustible y comburente), P_{neta} la potencia calorífica inferior del combustible y $\sum n_f C_{p_f}$ la capacidad calorífica de los productos de combustión.

El combustible en este caso es la mezcla gaseosa de COV, la temperatura de entrada de comburente es el aire de combustión que llega de la línea de servicios a 180 °C, por razones que consideraremos en la estimación del intercambiador la temperatura de entrada de los gases de COV será también de 180 °C, y con ayuda de los datos de calores específicos del anexo III podremos calcular la capacidad calorífica de los productos de combustión.

Para ello debemos estimar primero una temperatura de llama y ver si los cálculos convergen.

Suponiendo que aquella temperatura es 1000 ° C, **la capacidad calorífica calculada es:**

$$0,785 \text{ moles de } N_2 \times 7,46 \text{ cal / mol } ^\circ C + 0,014 \text{ moles de } O_2 \times 7,91 \text{ cal/mol } ^\circ C \\ + 0,086 \text{ moles de } CO_2 \times 11,85 \text{ cal/mol } ^\circ C + 0,146 \text{ moles de } H_2O \times 9,23 \text{ cal/mol } ^\circ C =$$

$$\mathbf{8,334 \text{ cal/}^\circ C.}$$

Aplicando la fórmula: [14]

$$P_{neta} = (t - t_o) \sum n_f C_{p_f}$$

$$7,4 \text{ Kcal} = (t - 180^\circ C) \times 8,334 \times 10^{-3} \text{ Kcal/}^\circ C$$

$$t = 1067 \text{ }^\circ C.$$

El resultado se ajusta bastante bien, ahora le restaremos los 200 °C como se comentó con anterioridad siendo el resultado aceptable de:

$$\mathbf{t = 867 \text{ }^\circ C.}$$

Así queda demostrado que la corriente de gases de COV es capaz de mantener la temperatura mínima de la cámara durante su combustión.

Por tanto el combustible auxiliar será utilizado en operaciones de puesta en marcha y paradas de la instalación.

1.7. Cálculo del caudal necesario de aire para la combustión de COV.

Las propiedades del aire suministrado para la combustión con los gases de COV son:

- Densidad a 180°C y 2 Kg/cm² (a): 1,6 Kg/m³
- Viscosidad a 180°C y 2 Kg/cm² (a): 0,028 Cp
- Peso molecular: 28,84

Como ya se calculó antes, el número de moles de oxígeno que hay que suministrar (contando con el exceso) por mol de COV, es de 0,006 moles de O₂, en base a esto se calcula el número de moles de aire:

$$\begin{aligned}1 \text{ mol de aire} &\rightarrow 0,21 \text{ moles de O}_2 \\ X \text{ moles de aire} &\rightarrow 0,006 \text{ moles de O}_2\end{aligned}$$

$$X = 0,0285 \text{ moles de aire.}$$

El caudal normal de la corriente de gases de COV es igual a 30.000 Kg/h y sabiendo que su peso molecular es de 28,01, se tiene:

$$\text{Moles de COV/h} = 30.000.000 \text{ gramos/h} / 28,01$$

$$1.071.030 \text{ moles/h de COV}$$

Un mol de COV necesitaba 0,0285 moles de aire, 1071030 moles necesitarán X:

$$\begin{aligned}1 \text{ mol de COV} &\rightarrow 0,0285 \text{ moles de aire} \\ 1.071.030 \text{ moles de COV} &\rightarrow X \text{ moles de aire.} \\ X &= 30524,4 \text{ moles de aire.}\end{aligned}$$

Sabiendo el peso molecular del aire que es igual a 28,84 tenemos el caudal de aire que necesitamos:

$$30524,4 \text{ moles} = \text{gramos de aire} / 28,84$$

$$880324 \text{ gramos de aire.}$$

Resumiendo, necesitamos un **caudal normal de operación de 880,324 Kg/h de aire**. Por lo que el **caudal de diseño sería:**

$$1,2 \times 880,324 \text{ Kg/h} = \mathbf{1056,39 \text{ Kg/h.}}$$

1.8. Cálculo del límite de explosividad.

Los límites de inflamabilidad encontrados en tablas y manuales de propiedades físico-químicas se han obtenido en condiciones ambientales de temperatura y presión. Respecto a otras condiciones se puede establecer lo siguiente:

Los límites inferiores de inflamabilidad en aire disminuyen aproximadamente un 8% con un incremento de temperatura de 100 C.

Los límites superiores de inflamabilidad aumentan un 8 % con un incremento de temperatura de 100 °C. [7]

En general para una temperatura determinada t (°C) se puede expresar:

$$L.I.E.t = L.I.E.25\text{ °C} - (0,8.L.I.E. 25\text{°C} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25)$$

$$L.S.E.t = L.S.E. 25\text{°C} + (0,8.L.S.E. 25\text{°C} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25) \quad [7]$$

La presión afecta ligeramente al límite inferior de inflamabilidad. Generalmente es constante al descender la presión desde la presión atmosférica hasta 5 kPa, por debajo de la cual no se propaga la llama. El efecto de presiones elevadas sobre el límite inferior de inflamabilidad también es pequeño y al aumentar la presión disminuye ligeramente el límite inferior de inflamabilidad.

Respecto al límite superior de inflamabilidad, una presión elevada lo aumenta considerablemente. Así, para varios hidrocarburos saturados y para presiones absolutas entre 0,1 Mpa (1bar) y 20,7 Mpa:

$$L.S.I.p \approx L.S.I. + 20,6 (\log p + 1)$$

Siendo:

p = presión absoluta en mega pascales (Mpa)

L.S.I. = límite superior de inflamabilidad a 0,101 Mpa (1 atm)

A continuación, se comprobará si se cumple los límites legales del L.I.E. a la temperatura máxima de precalentamiento de la corriente de entrada al oxidador, esta es de 180 °C. Sólo se tendría que comprobar el componente con el L.I.E. mas bajo, si lo cumple éste, lo cumplen todos, pero se comprobará con todos los componentes para más seguridad.

L.I.E. a 180 ° C del CO.

A 25° C el L.I.E del CO es 12,5 %v/v, a 180 °C tendríamos:

Si cada 100 ° C hay una variación del 8 % en el L.I.E. como se comentó anteriormente, en 155 °C hay una variación de X:

$$8\% \rightarrow 100^\circ \text{ C}$$

$$X\% \rightarrow 155^\circ \text{ C}$$

$$X = 12,4\% \text{ de variación en el L.I.E.}$$

Si 12,5 %v/v es el 100% del L.I.E del CO, el 12,4 % del L.I.E es X:

$$12.5\% \text{v/v} \rightarrow 100\%$$

$$X \rightarrow 12,4\%$$

$$X = 1,55\% \text{v/v}$$

Al L.I.E. original se le resta la disminución de éste, por efecto del aumento de la temperatura:

$$12,5\% \text{v/v} - 1,55\% \text{v/v} = 10,95\% \text{v/v}$$

A efectos legales se tiene que mantener entre el 20% y el 25% del valor final del L.I.E., comprobaremos si se encuentra en ese intervalo la composición original de CO.

$$10,95 \text{ \%v/v} \rightarrow 100 \text{ \%}$$

$$X \text{ \%v/v} \rightarrow 20 \text{ \%}$$

$$X = 2,2 \text{ \%v/v}$$

La composición original tiene 2,4 % vol de CO, (a 180 °C y 2 Kg/cm² (a)) por lo que despreciando la pequeña disminución del L.I.E. por el aumento de presión se encuentra entre el 20% y el 25% del L.I.E a 180 ° C.

También existe un método alternativo a lo realizado hasta ahora para calcular el L.I.E. a cualquier temperatura, utilizando la fórmula:

$$\text{L.I.E.}_t = \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} - (0,8 \cdot \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25)$$

$$\text{L.I.E.}_{180 \text{ °C}} = 12,5 - (0,8 \times 12,5 \times 10^{-3}) \times (180 - 25) = 10,95 \text{ \%v/v}$$

De aquí en adelante utilizaremos la fórmula para más facilidad.

L.I.E. a 180 ° C del C₆H₁₄.

$$\text{L.I.E.}_t = \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} - (0,8 \cdot \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25)$$

$$\text{L.I.E.}_{180 \text{ °C}} = 1,18 - (0,8 \times 1,18 \times 10^{-3}) \times (180 - 25) = 1,034 \text{ \%v/v}$$

La composición original tiene 0,2 % vol de C₆H₁₄, (a 180 °C y 2 Kg/cm² (a)) por lo que despreciando la pequeña disminución del L.I.E. por el aumento de presión se encuentra entre el 20% y el 25% del L.I.E a 180 ° C.

L.I.E. a 180 ° C del C₃H₈.

$$\text{L.I.E.}_t = \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} - (0,8 \cdot \text{L.I.E.}_{25 \text{ °C}} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25)$$

$$\text{L.I.E.}_{180^{\circ}\text{C}} = 2,12 - (0,8 \times 2,12 \times 10^{-3}) \times (180 - 25) = 1,86 \text{ \%v/v}$$

La composición original tiene 0,35 % vol de C_6H_{14} , (a 180°C y 2 Kg/cm^2 (a)) por lo que despreciando la pequeña disminución del L.I.E. por el aumento de presión se encuentra entre el 20% y el 25% del L.I.E a 180°C .

L.I.E. a 180°C del C_4H_{10} .

$$\text{L.I.E.}_t = \text{L.I.E.}_{25^{\circ}\text{C}} - (0,8 \cdot \text{L.I.E.}_{25^{\circ}\text{C}} \times 10^{-3}) \cdot (t - 25)$$

$$\text{L.I.E.}_{180^{\circ}\text{C}} = 1,86 - (0,8 \times 1,86 \times 10^{-3}) \times (180 - 25) = 1,63 \text{ \%v/v}$$

La composición original tiene 0,35 % vol de C_4H_{10} , (a 180°C y 2 Kg/cm^2 (a)) por lo que despreciando la pequeña disminución del L.I.E. por el aumento de presión se encuentra entre el 20% y el 25% del L.I.E a 180°C .

Resumiendo diremos que todos los componentes de nuestra corriente gaseosa de COV no sobrepasan el 25 % del límite de explosividad inferior como **nos obliga la legislación.**

Cálculo del Límite inferior de explosividad de mezclas inflamables (Regla de Le Châtelier).

Para calcular el límite inferior de explosividad (o también llamado límite inferior de inflamabilidad) de mezclas de vapores o gases inflamables se puede aplicar la regla de Le Chatelier:

$$\text{L.I.E. (mezcla)} = 100 \% / [(C1/\text{L.I.E.1}) + (C2/\text{L.I.E.2}) + \dots + (Cn/\text{L.I.E.n})]$$

Siendo:

C_1, C_2, \dots, C_n = concentración de cada combustible respecto al total de combustibles en porcentaje de volumen. Cumpliéndose $C_1 + C_2 + \dots + C_n = 100$

L.I.I.1, L.I.I.2, ..., L.I.I.n = Límite inferior de inflamabilidad de cada combustible % v/v

Esta regla es aplicable para mezclas de vapores o gases de compuestos similares. Así entre otras mezclas, funciona bien para calcular los límites inferiores de inflamabilidad de mezclas de disolventes, conteniendo metil etil cetona y tetrahidrofurano. Sin embargo, la regla no se cumple particularmente bien para los límites inferiores de inflamabilidad de algunas mezclas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y disulfuro de carbono (CS_2). Por lo tanto, la regla de Le Chatelier se debe aplicar con discreción, especialmente para compuestos de estructura química distinta.

A continuación se calculará el L.I.E. de la mezcla de gases.

Los límites inferiores de inflamabilidad calculados anteriormente de los componentes de la mezcla de gases a la temperatura del proceso son:

Componentes	L.I.E a 180 °C (% v/v)
C_4H_{10}	1,63
C_3H_8	1,86
C_6H_{14}	1,034
CO	10,95

Realizando una nueva tabla para ver las concentraciones más fácilmente tenemos:

Componentes	% Vol	L.I.E. a 180 °C
C₄H₁₀	0,35	1,63
C₃H₈	0,35	1,86
C₆H₁₄	0,2	1,034
CO	2,4	10,95
Total combustible	3,3	

Concentraciones de cada componente combustible sobre el volumen total de combustibles:

$$\text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow C_1 = 0,35 \times 100/3,3 = 10,61 \%$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow C_2 = 0,35 \times 100/3,3 = 10,61 \%$$

$$\text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow C_3 = 0,2 \times 100/3,3 = 6,06 \%$$

$$\text{CO} \rightarrow C_4 = 2,4 \times 100/3,3 = 72,73 \%$$

Límite inferior de inflamabilidad de la mezcla a 180 °C (Regla de Le Châtelier):

$$\text{L.I.I. } 180^\circ\text{C (mezcla)} = 100 \% / [(C_1/\text{L.I.I.}_1(180^\circ\text{C})) + (C_2/\text{L.I.I.}_2(180^\circ\text{C})) + (C_3/\text{L.I.I.}_3(180^\circ\text{C})) + (C_4/\text{L.I.I.}_4(180^\circ\text{C}))] =$$

$$\text{L.I.I. } 180^\circ\text{C (mezcla)} = 100 \% / [(10,61/1,63) + (10,61/1,86) + (6,06/1,034) + (72,73/10,95)] = \mathbf{4,04 \%}$$

1.9. Cálculo de las dimensiones de la cámara de combustión del oxidador.

Para la realización del cálculo de las dimensiones del oxidador térmico (OTR-OT-001), tenemos en cuenta varios aspectos: longitud de la llama, de manera que la misma atrape las paredes de la cámara de combustión, tiempo de residencia de los gases a lo largo de dicha cámara y por supuesto la temperatura a mantener en el interior de la misma.

Datos de partida con los que contamos:

PCI (COV)= 7.4 Kcal. / Kg.

M = 30880 Kg. / h.

P = 2 atm (presión a la que opera el oxidador)

T = 2 s. (tiempo de residencia de los gases)

Sabiendo la potencia del quemador, podemos estimar la longitud de la llama mediante esta fórmula:

$$L = 0.001 * K1 * K2 * P$$

Donde K1 = 2.5, K2 = 1.3, P = PCI * M = 1025406 Kcal. / h.

Sustituyendo los valores antes reflejados obtenemos una longitud de llama de L = 3.33 metros. Según bibliografía, si realizamos el diseño incluyendo la instalación de baffles o anillos de turbulencia, éstos irán situados a una distancia de uno a dos pies de la punta de llama. En nuestro diseño hemos incorporado la instalación de un anillo generador de turbulencias con el fin de alcanzar un buen grado de mezcla de los gases a oxidar, dicho anillo lo colocaremos a un pie de distancia respecto a la punta de llama, o lo que es igual, a 3.65 metros del quemador.

Como podemos observar, es el quemador el que produce la llama, y es él el que condiciona en parte las dimensiones de la misma.

Ahora aplicaremos la consideración de la temperatura y del tiempo de residencia de los gases que circulan a través de la cámara.

Para calcular las dimensiones de la cámara de oxidación, vamos a dar la secuencia de cálculo utilizada: [17]

1) Obtengo el volumen de la cámara según la siguiente fórmula:

$V = F * t$, donde V es el volumen en pies cúbicos (ft³), t es el tiempo en segundos (s) y F es el caudal de los productos de combustión expresados en pies al cubo por segundo (ft³/s).

Para ello debemos estimar un tiempo de residencia en la cámara de combustión, que será de dos segundos.

- 2) El segundo paso consistirá en aplicar la siguiente fórmula, que nos relaciona la velocidad del flujo gaseoso con el caudal, longitud y volumen de la cámara, con el fin de obtener la longitud de la misma:

$Vel = (F * L) / V$, donde Vel será la velocidad de los gases a través de la cámara de combustión, expresados en ft/s, L la longitud de la cámara en pies (ft) y tanto V como F ya han sido definidos con anterioridad.

Para poder aplicar esta fórmula es necesario la previa estimación de la velocidad de gases a través de la cámara, que por experiencia y según bibliografía oscilará entre 25 y 40 ft/s.

Se ha llegado a la conclusión de una velocidad de 40 ft/s, minimizando de esta manera los costes debido a dimensiones de la cámara.

- 3) En este paso se calculará el diámetro de la cámara, y para ello utilizaremos la siguiente fórmula, relacionando diámetro con velocidad y flujo de gases que se dan en dicha cámara:

$D = [(4 * F) / (\pi * Vel)]^{1/2}$, el diámetro viene expresado en pies (ft).

Una vez calculadas las dimensiones de la cámara, debemos comprobar que se cumple una relación entre el diámetro y la longitud de la cámara:

$$2 < L/D < 8$$

Si sabemos que la densidad de los gases de entrada es de $\rho = 0,5 \text{ Kg} / \text{m}^3$ y tenemos un caudal de entrada de 30880 Kg/h, podemos obtener fácilmente el caudal en pies por segundos:

$$F = 30880 * 1.2 * \frac{1}{2} * (1/3600) * (1/0.0283) = 727 \text{ ft}^3/\text{s} = 20.58 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Si estimamos un tiempo de residencia de 2s, aplicamos el paso 1, $V = F * t$, obteniendo un volumen de $1454 \text{ ft}^3 = 41.17 \text{ m}^3$. ($V = 727 * 2$).

Ahora obtenemos el diámetro:

$$D = [(4 * F) / (\pi * Vel)]^{1/2} = [(4 * 1454) / (\pi * 40)] = 6.803 \text{ ft} = 2.07 \text{ m}.$$

A lo que habrá que añadir el espesor del acero y las capas de material aislante. Como se puede apreciar hemos tenido que estimar en este caso la velocidad del flujo gaseoso a través de la cámara. (40 ft/s).

Ahora pasamos al cálculo de la longitud de la cámara,

$$L = (4 * V)/(\pi * D^2) = (4 * 1454)/(\pi * 6.803^2) = 40 \text{ ft.} = 12.20 \text{ m.}$$

Comprobamos que se cumple la relación de longitud diámetro, $L/D = 5.6$ que está en los límites antes citados.

$$2 < L/D (= 5.6) < 8.$$

Resumiendo:

$$V = 41.17 \text{ m}^3.$$

$$D = 2.07 \text{ m.}$$

$$L = 12.20 \text{ m.}$$

Distancia al quemador del anillo de turbulencias de 3.65 m.

1.10. Cálculo de la protección de la pared de la cámara de combustión.

Tanto para mantener una temperatura en el interior de la cámara, como para aislar el material (acero al carbono) de la misma, utilizaremos varios materiales, como hormigón refractario, y ladrillo de diatomeas.

En la parte interna de la cámara de oxidación de los oxidadores térmicos, se instalan materiales que puedan contener los gases calientes para prevenir la exposición de la carcasa del mismo de las altas temperaturas. (Los aceros al carbono no resisten por lo general temperaturas superiores a los 450 °C). Los refractarios generalmente están

compuestos de minerales no metálicos estables a dichas temperaturas, suelen ser de alúmina, bauxita, cromita, dolomita, magnesita, zirconita, silicato y andalucita.

Uno de los factores que vamos a tener en cuenta es la porosidad, y el otro va a ser la densidad, de manera que a mayores densidades obtendremos propiedades de resistencia mecánica más favorables, mientras que si los materiales son más porosos mejoramos la insolación.

Como material externo, utilizaremos hormigón refractario (HF), y vendrá seguido de ladrillo de diatomeas como material más poroso, que es un compuesto de Kiesselghur.

El cálculo será iterativo, y para ello debemos suponer los espesores de ambos materiales, previamente fijado las temperaturas externa e interna de la cámara de oxidación.

Seguidamente debemos calcular el calor que se disipará a través de la cámara, teniendo en cuenta qué temperatura existe en el interior de la cámara, temperatura a la que deseamos tenga la chapa exterior de la cámara, y las resistencias a la transmisión de calor por cada uno de los materiales elegidos para este fin.

$T_i = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ es la temperatura en el interior de la cámara.

$T_o = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ es la temperatura de la chapa interna de la cámara.

Aplicamos la siguiente fórmula para obtener la cantidad de calor a disipar, para alcanzar la temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C}$ en el exterior de la cámara: [17]

$$Q = (T_i - T_o) * L * \pi / [\ln(D_2/D_1)/2K_2 + \ln(D_1/D_0)/2K_1]$$

Ahora supondremos los espesores del hormigón refractario, $E_1 = 10 \text{ cm}$, y el ladrillo de diatomeas $E_2 = 20 \text{ cm}$. L es la longitud de la cámara de oxidación, $L = 12.20 \text{ m}$, K_2 es el coeficiente de conductividad del ladrillo de diatomeas, $K_2 = 0.16 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$, y $K_1 = 0.75 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ el del hormigón refractario.

Los diámetros D1 y D2 se obtienen sumando al diámetro del oxidador, los espesores de dichos materiales.

Sustituyendo los valores antes citados, nos da un calor de disipación de **93352.5 Kcal. / h.**

Para hallar las temperaturas en las caras externas de cada uno de los materiales aislantes, aplicamos la siguiente ecuación, ya que el calor que se disipa es constante a lo largo de la pared compuesta: [17]

$$Q = (T_i - T_o) * L * \pi * K * (D_0 - D_1) / [((D_0 - D_1)/2) * \ln(D_0 - D_1)]$$

Donde el calor disipado es el que hemos calculado con anterioridad, y los demás datos se referirán a pared compuesta de un solo material.

Despejando la temperatura T0, para el hormigón refractario :

$$T_0 = 850 - [(93354.5 * \ln(2.17 - 2.07)) / (0.75 * 12.20 * 2 * \pi)] = 772.11^\circ\text{C}.$$

Repitiendo el proceso de cálculo para el ladrillo de diatomeas, obtenemos una temperatura de 89.86°C, en la cara externa a dicho material.

La conductividad de dichos materiales la hemos obtenido de la tabla A.1 y A.5 del anexo VII.

De manera que en el interior de la carcasa de acero al carbono, se dará una temperatura de 89.86 °C aproximadamente, dato que puede ser admitido con la suposición inicial de 90 °C como temperatura interior en la chapa de la cámara cilíndrica de oxidación.

Los espesores de dichos materiales son:

E1 = 10 cm., E2 = 20 cm. y para los materiales hormigón refractario y ladrillo de diatomeas respectivamente.

1.11. Cálculo de la temperatura adiabática de la llama de fuel gas.

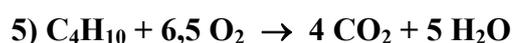
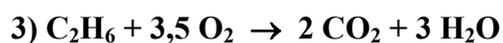
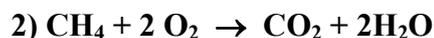
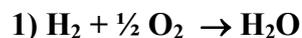
Con este cálculo se comprobará que el fuel gas, suministrado como combustible auxiliar, es capaz de mantener la cámara de combustión a 850 °C.

Las principales propiedades del fuel gas son:

Tipo de combustible		Fuel Gas
Poder calorífico	Superior (PCS) Kcal/Kg	
	Inferior (PCI) Kcal/Kg	12500
Densidad específica		0,448
Temperatura en quemadores	°C	40
Presión disponible en quemadores	Kg/cm² (m)	1,5
Combustible gaseoso	Peso molecular	13
	Composición	Ver tabla

Fuel gas	Composición % mol
SH₂	0,9
H₂	53,5
C₁	23,5
C₂	14,9
C₃	5,8
C₄	1,4

Las reacciones del fuel gas son las siguientes:



En estas reacciones se basará todo el cálculo estequiométrico. Tomando como **base un mol de fuel gas** y realizando todos los cálculos necesarios como se hizo en el apartado 1.6 de dicho anexo de cálculos.

Los resultados en cuanto a oxígeno estequiométrico, composición de humos y oxígeno en exceso son:

- El oxígeno estequiométrico necesario para la totalidad de las reacciones es igual a 1,66 moles.
- El oxígeno estequiométrico más un exceso del 20% es igual a 2 moles.
- La composición de los humos es igual a:

Componentes	Moles originales	Moles reaccionan	Moles introducidos	Moles generados	Moles Totales	Moles %
SH ₂	0,009	0,009				
H ₂	0,535	0,535				
C ₁	0,235	0,235				
C ₂	0,149	0,149				
C ₃	0,058	0,058				
C ₄	0,014	0,014				
O ₂		1,7	1,99		0,331	3,19
N ₂			7,524		7,524	72,42
CO ₂				0,763	0,763	7,34
H ₂ O				1,763	1,763	16,97

SO ₂				0,009	0,009	0,09
TOTAL	1	2,7	9,5	2,53	10,3	100

Para hallar la capacidad calorífica de los humos, realizamos el siguiente cálculo:

$$0,763 \text{ moles de CO}_2 \times 12,86 \text{ cal / mol } ^\circ\text{C} + 1,763 \text{ moles de H}_2\text{O} \times 10,28 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C} + 0,009 \text{ moles de SO}_2 \times 12,67 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C} + 7,524 \text{ moles de N}_2 \times 7,86 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C} + 0,331 \text{ moles de O}_2 \times 8,32 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C} = \mathbf{90 \text{ cal/}^\circ\text{C}}. [14]$$

Hemos iterado valores de la temperatura adiabática, y aplicado como anteriormente la siguiente ecuación:

$$P_{neta} = (t - t_o) \sum n_f C_{p_f} [14]$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$162,5 \text{ Kcal} = (t - 40^\circ\text{C}) \times 90 \times 10^{-3} \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$$

$$t = \mathbf{1845} \text{ }^\circ\text{C}$$

El resultado obtenido es suficientemente preciso con la temperatura supuesta por lo que en todo caso admitiremos $t = \mathbf{1820} \text{ }^\circ\text{C}$.

1.12. Cálculo del caudal necesario de fuel gas.

Resumiendo las propiedades de nuestra corriente de entrada de COV y del fuel gas se tiene:

Corriente gaseosa de compuestos orgánicos volátiles.

- Caudal normal: 30.000 Kg/h
- Caudal de diseño: 36.000 Kg/h

- T^a adiabática de la llama: 1050 °C
- Poder calorífico inferior: 7,4 Kcal/mol o 264 Kcal/Kg

Corriente de fuel gas.

- Caudal normal: en proceso de cálculo.
- Caudal de diseño: en proceso de cálculo.
- T^a adiabática de la llama: 1820 °C
- Poder calorífico inferior: 162 Kcal/mol o 12500 Kcal/Kg

La masa gaseosa de COV al ser oxidada genera una energía de:

$$30.000 \text{ Kg/h} \times 264 \text{ Kcal/Kg} = 7.920.000 \text{ Kcal/h}$$

Sabemos que la corriente gaseosa de COV es capaz de generar los 850 °C necesarios en la cámara por lo que se necesitará un caudal normal de fuel gas para el arranque de la unidad de:

$$X \text{ Kg/h} \times 12.500 \text{ Kcal/Kg} = 7.920.000 \text{ Kcal/h}$$

$$X = \mathbf{633 \text{ Kg/h de caudal normal de fuel gas.}}$$

Por lo calculado hasta ahora se tiene que el caudal normal de fuel gas a suministrar debe ser de 633 Kg/h o lo que es lo mismo capaz de generar de 9,2 Mwatios.

Como caudal máximo de fuel gas se tomarán 760 Kg/h.

1.13. Cálculo del caudal necesario de aire para la combustión de fuel gas.

Como ya se calculó con anterioridad, se necesitan introducir en el oxidador 2 moles de O₂ para cubrir las especificaciones del 20 % de exceso de aire. Un mol de aire tiene 0,21 moles de O₂ por lo que 2 moles de O₂ estarán en X moles de aire:

$$1 \text{ mol de aire} \rightarrow 0,21 \text{ moles de O}_2$$

$$X \text{ moles de aire} \rightarrow 2 \text{ moles de O}_2$$

$$X = 9,52 \text{ moles de aire.}$$

El caudal normal de la corriente de fuel gas es igual a 633 Kg/h y sabiendo que su peso molecular es 13 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Moles de fuel gas / h} &= 633000 \text{ gramos/h} / 13 \\ &48692 \text{ moles / h de fuel gas} \end{aligned}$$

Si sabemos que un mol de fuel gas necesitaba 9,52 moles de aire, 48692 moles necesitarán X:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de fuel gas} &\rightarrow 9,52 \text{ moles de aire} \\ 48692 \text{ moles de fuel gas} &\rightarrow X \text{ moles de aire.} \\ X &= 463548 \text{ moles de aire} \end{aligned}$$

Sabiendo el peso molecular del aire que es igual a 28,84, tenemos el caudal de aire que necesitamos:

$$\begin{aligned} 463548 \text{ moles} &= \text{gramos de aire} / 28,84 \\ &13.368.700 \text{ gramos de aire.} \end{aligned}$$

Resumiendo, se necesitará un **caudal normal de operación de 13369 Kg/h de aire.**

Siguiendo el mismo sistema de cálculo, para un caudal de 760 Kg/h, el caudal de aire necesario será de **16050 Kg/h.**

1.14. Cálculo del intercambiador de calor gas-gas.

Se ha estimado una temperatura de precalentamiento de 180 °C, para la corriente de COV que entraría a 65 °C, teniendo en cuenta el límite inferior de explosividad y debido en parte a que el aire disponible de combustión entra sin necesidad de precalentamiento a dicha temperatura.

Se nos ha suministrado información de la temperatura de los productos oxidados a la salida de la caldera, siendo esta de 300 °C, información suministrada por personal de la planta de combustibles de la refinería Gibraltar grupo CEPSA.

Se realiza un balance de energía al intercambiador, ya que sabemos tres temperaturas del mismo y los caudales máxicos que circularán por el mismo. La temperatura de los PO a la salida del intercambiador, será de 190 °C.

Los datos de partida son los siguientes:

Fluido caliente (Productos oxidados)

M_c (Kg. /h) = 30880 Kg. /h, que es el caudal de fluido caliente.

C_{pc} (Kcal/ kg °C) = 0,2718 Kcal/ kg °C

T_1 °C = 300 °C, temperatura de entrada del fluido caliente

T_2 °C = 190 °C, temperatura de salida del fluido caliente.

Fluido frío (Gases de C.O.V.)

M_f (Kg. /h) = 30000 Kg. /h, que es el caudal de fluido frío.

C_{pf} (Kcal/ kg °C) = 0, 2647 Kcal/ kg °C

t_1 °C = 65 °C, que es la temperatura de entrada.

t_2 °C = 180 °C, que es la temperatura de salida.

Dicha temperatura de salida (180 °C), es la máxima que podemos obtener debido al límite inferior de explosividad calculado con anterioridad.

Lo primero es calcular el calor necesario a transferir:

$$q = U \cdot A \cdot LMTD$$

Siendo q el calor a transferir, mientras que U es el coeficiente global de transferencia y finalmente LMTD es la media logarítmica de la diferencia de temperatura.

Este calor también se puede calcular como:

$$Q = M C_{pf} (t_1 - t_2)$$

Donde M es el caudal másico de COV, C_{pf} es la capacidad calorífica del gas COV y t_1 y t_2 son las temperaturas de entrada y salida del gas frío.

Luego
$$Q = M C_{pf} (t_1 - t_2) = 30000 * 0,2647 * (180 - 65) = 913215 \text{ Kcal. /h.}$$

Ahora calcularemos el factor de corrección de la media logarítmica de la diferencia de temperatura:

Al ser un intercambiador de calor 1-2, este es igual a 0.9. (Ver figura 0.1 del anexo VIII).

Para utilizar dicha figura ha sido necesario calcular R y S , de manera que las expresiones son las siguientes:

$$R = \frac{T_1 - t_2}{t_2 - t_1} \qquad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - t_2}{t_2 - t_1} = (65 - 180) / (190 - 300) = 1.045.$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = (190 - 300) / (65 - 300) = 0.47.$$

Así pues, con estos valores y según la figura A.1 del anexo VII para intercambiadores 1-2, del código TEMA (Standar of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2ª.ed., New York, 1949), obtenemos un factor de corrección de 0.9.

$$F_c = 0.9 \text{ (factor de corrección)}$$

Luego podemos afrontar el cálculo de la LMTD:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{(300 - 180) - (190 - 65)}{\ln \frac{(300 - 180)}{(190 - 65)}} = 123 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ahora con aplicar la siguiente igualdad:

$$LMTD_c = LMTD * F_c = 123 * 0.9 = 110.7^\circ\text{C}.$$

A continuación calcularemos el área necesaria de intercambio para el cambiador:

$$A = \frac{\Delta H}{U * LMTD_c}$$

Para ello debemos estimar el valor de U, que en este caso es el coeficiente global de transferencia de calor de diseño, es decir en condiciones de ensuciamiento.

De la tabla A.E.1 (anexo VII), se toma un valor de dicho coeficiente, adecuado para intercambio de calor entra gas-gas, además se ha consultado en varias fuentes como en tabla A.E.2 y tabla A.E.3 obtenida de tratados de transmisión de calor como J.P. Holman y otros autores como Alan J. Chapman, Perry, etc. Se permitirá un factor de ensuciamiento de 0.0002.

Este valor que estimamos es de $U = 39 \text{ Kcal. / m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$.

Valor que se obtiene a partir de $U = 8 \text{ BTU / ft}^2 \text{ h } ^\circ\text{F}$.

Así podremos afrontar el cálculo del área necesario:

$$A = \frac{\Delta H}{U * LMTD_c} = 211.5 \text{ m}^2.$$

Vamos a utilizar en la construcción de los cambiadores un diámetro de los tubos de $\frac{3}{4}$ ", de paso triangular de 1", BGW 16 y longitud de 2,5 m:

$$D_{\text{tubo ext}} = \frac{3}{4}''$$

$$\text{Pitch} = 1''$$

$$\text{BGW} = 16$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

De la tabla A.E.4, (anexo VIII) se obtiene el área del tubo por unidad de longitud:

$$A_{TL} = 0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft} = 0.0598 \text{ m}^2/\text{m}$$

El número de tubos es:

$$N_t = \frac{A}{LA_{TL}} = 1438 \text{ tubos.}$$

De la tabla A.E.5 (anexo VIII, Pág. 4), y con el número de tubos, se escoge para tubos de $\frac{3}{4}$ " y paso triangular de 1" el ID de la carcasa. Escogemos un paso por carcasa y un ID carcasa de 52". De la tabla A.E 7 se obtiene el número de tubos que se comercializa y por tanto que se toma como aproximación, es decir el número inmediatamente superior en caso de no coincidencia.

Calculo del Lado Tubos:

De la tabla A.E.4, (anexo VIII) se tiene que la sección de paso por tubo es $0,302 \text{ in}^2 = 0,0002 \text{ m}^2$.

$$a_t = \frac{N_T * \text{sección de paso}}{n^\circ \text{ pasos}} = 0.3838 \text{ m}^2$$

La velocidad másica se calcula:

$$G_t = \frac{M_f}{a_t} = \frac{30880 \text{ kg/h}}{0,3838 \text{ m}^2} = 80458,6 \text{ Kg./hm}^2$$

Se calcula el Reynolds:

$$Re_t = \frac{D * G_t}{\mu}$$

Siendo $D_i \text{ tubo} = 0,620 \text{ in} = 0.0158 \text{ m}$, el diámetro interior del tubo obtenido de tablas y $\mu \text{ (Kg./mh)} = 0,094$, por lo que:

$$Re_t = 13524$$

De la figura A.2. (Anexo VIII) (Tube side heat-transfer curve) obtenemos $J_H = 48$

Con el dato de conductividad térmica $K \text{ (Kcal./hm}^\circ\text{C)} = 0.034$ tenemos:

$$h_i = J_H * K / D * \left(\frac{Cp * \mu}{K} \right)^{1/3} * \phi_i = 94 \text{ Kcal./m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$$h_{i0} = h_i / \phi_i \text{ y para } \phi_i \approx 1 \text{ entonces: } h_{i0} = 94 \text{ Kcal./m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Hay que ver cual es la perdida de carga que se tiene por el lado tubos. Para ello hay que obtener de tablas el factor de fricción f . Con el Reynolds y de tabla se tiene que $f = 4 \cdot 10^{-6}$.

Y por aplicación de la fórmula:

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{2 \cdot g \cdot \rho \cdot D_t} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot (80458,6)^2 \cdot 2,5 \cdot 1}{2 \cdot 1,27 \cdot 10^8 \cdot 1,065 \cdot 0,0158} = 0,02 \text{ Kg. /cm}^2$$

Cálculo del Lado Carcasa:

Sabiendo que la distancia mínima entre baffles es la del 20 % del DI de la carcasa y la máxima es no más del DI de la carcasa, se tomará inicialmente un espaciado entre baffles de 500 mm:

$B = 500$ mm, siendo D_s el diámetro de la carcasa, la sección de paso se calcula:

$$a_s = D_s \cdot C \cdot B / P_T = 1,27 \text{ m} \times 6,35 \times 10^{-3} \times 500 \times 10^{-3} / 25,4 \times 10^{-3} = 0,159 \text{ m}^2$$

$$De = 0,73 \text{ in (fig 28)} = 0,0185 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,077401 \text{ Kg/mh}$$

$$G_s = \frac{M_c}{a_s} = \frac{30000}{0,159} = 188679 \text{ Kg / hm}^2$$

$$Re_c = \frac{De \cdot G_s}{\mu_s} = 45097$$

Con ese Reynolds obtenemos J_H del lado carcasa que vale 125, entonces:

$$h_0 = J_H * K / De * \left(\frac{Cp * \mu}{K} \right)^{1/3} \phi_s = 166,41 \text{ Kcal. /m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Con el Reynolds del lado carcasa tenemos el factor de fricción $f = 0,000023$
Y para hallar la pérdida de carga en el lado coraza:

$$\Delta P_c = \frac{f * G_s^2 * D_s * (N + 1)}{2 * g * \rho * De}$$

$$\Delta P_c = \frac{0,000023 * (188679)^2 * 1,270 * 3}{2 * 1,27 * 10^8 * 1,71 * 0,0185} = 0,3 \text{ kg / cm}^2$$

Con los datos de los coeficientes de transferencia anteriormente calculados, hallaremos el coeficiente global de transferencia limpio y el factor de ensuciamiento, el cuál deberá ser mayor que el permitido. (Permitido en tabla A.E 8 del anexo VII)

$$U_c = \frac{h_{i0} h_0}{h_{i0} + h_0} = 60 \text{ Kcal. /m}^2\text{h}^\circ\text{C}.$$

Y el factor de ensuciamiento será:

$$Rd = \frac{U_c - U}{U_c U} = 0,02.$$

Que es mayor al supuesto y por tanto válido.

Así por tanto, con el sistema diseñado, obtendremos una transmisión de calor óptima incluso para un ensuciamiento mayor al previsto.

Diseño Mecánico de Elementos Constitutivos:

A) Procedimiento de cálculo y selección del diámetro de la boquilla de alimentación.

Según código TEMA, TEMA R-461, en ningún caso un fluido de una sola fase no deberá cumplir que el producto $\rho v^2 > 1500 \text{ Lb} / \text{ft}^2$, o lo que es igual $\rho v^2 > 2250 \text{ Kg} / \text{ms}^2$ sin utilizar mampara de choque.

Como este código también aconseja a fluidos como vapores y gases al uso de mamparas de choque, será necesario la instalación de la misma, pero para ello debemos antes diseñar la boquilla de alimentación.

Para ello tomaremos la condición más restrictiva la cual se refiere a la limitación que da la siguiente expresión:

$$\rho v^2 > 2250 \text{ Kg} / \text{ms}^2 \text{ (1)}$$

Como sabemos $Q = V * A$ (2) y despejando A, tenemos que $A = Q / V$.

Donde Q = caudal expresado en m^3 / s y V = a la velocidad del fluido que circulará a través de la boquilla.

De la ecuación (1), obtenemos la velocidad sabiendo la densidad del fluido circulante, y con la obtención de dicha velocidad hallaremos el área necesaria que debe presentar dicha boquilla usando (2), finalmente sustituiremos la expresión que nos relaciona el área de la boquilla con el diámetro de la misma.

De la ecuación (1) $\rho v^2 = 2250 \text{ Kg} / \text{ms}^2$, despejamos v, así $v = \sqrt{(2250 / 1.96)} = 33.88 \text{ m} / \text{s}$, siendo lógicamente 1.96 la densidad del fluido (COV), que entrará por dicha boquilla de alimentación.

Ahora utilizaremos la ecuación (2), $A = Q / V = (30000 / 33.88) * (1 / (1.96 * 3600)) = 0.125 \text{ m}^2$.

Sabiéndose que el área de un círculo es $A = \pi r^2 = 0.785 d^2$, despejaremos el diámetro de la boquilla de alimentación de los gases COV a precalentar.

$D = \sqrt{(0.125 / 0.785)} = 0.39$ m. que se corresponden con un diámetro de boquilla de 15.35 “, escogiendo el diámetro superior más próximo, en caso de no comercialización del mismo.

B) Dimensionamiento y localización de la mampara de choque.

La mampara deberá cubrir un área mayor a la comprendida por el diámetro interior de la boquilla, a fin de asegurar la protección de los tubos del haz en dirección a la descarga de esta misma boquilla. Por otra parte, es inconveniente una mampara demasiado grande, ya que restará área en el interior de la coraza, dificultando la distribución de los tubos.

El código TEMA, tiene en cuenta los factores anteriormente mencionados, considerando como suficiente tomar 1.25 veces el diámetro interior de la boquilla para el valor diametral de la mampara, que para facilitar su instalación será cuadrada, teniendo por lado este valor diametral que calcularemos.

Con lo cual, el diámetro de la mampara será: $D_m = 1.25 * D = 0.5$ m.

Siendo D_m el lado de dicho cuadrada de la mampara de choque, y D el diámetro de la boquilla anteriormente calculada.

Para conocer la altura a la cual debemos colocar dicha mampara podemos utilizar la siguiente expresión:

$$\pi D H = (\pi D^2) / 4$$

El área de flujo limitada por la proyección de la boquilla sobre la mampara y la altura H que establece la localización de ésta, deberá ser al menos igual al área transversal interna de la boquilla, con la finalidad de evitar alteraciones del patrón de flujo presión y velocidad.

Luego:

$$H = (\pi D^2) / (\pi 4 D) = D / 4 = 3.8''.$$

C) Cálculo del diámetro del máximo círculo límite de tubos (CLT).

Para este cálculo debemos decir que está referido al tipo de cabezal elegido, en este caso cabezal tipo S según código TEMA.

Al ser este cabezal desmontable, requerirá de tolerancias en su dimensionado que le permita al espejo flotante, salir libremente a través de la coraza al extraerse el haz, después de desmontar el bonete y las bridas de este cabezal flotante, que también deberá contar con tolerancias de fabricación para su fácil acoplamiento y desmontaje.

De acuerdo con código TEMA, $CLT = DM - \frac{1}{4}''$, siendo CLT el diámetro del máximo círculo límite de tubos y DM el diámetro macho del espejo flotante, como vemos debemos realizar antes una serie de cálculos: diámetro macho del espejo flotante, diámetro interior del empaque, diámetro exterior del empaque y el diámetro del espejo flotante.

Luego comenzamos con:

C1) Diámetro del espejo flotante:

$$DE = DI - 3/8'' = 52 - 3/8 = 51.625''.$$

C2) Diámetro exterior del empaque:

Lo podemos considerar similar al del espejo flotante.

C3) Diámetro interior del empaque:

Será expresado mediante $DIE = DE - 2N$, donde DIE es el diámetro interno del empaque y N es el ancho del empaque.

El ancho del empaque recomendado deberá ser de al menos de 12.7 mm., es decir ½” para equipos con diámetro nominal de coraza mayor a 23”, de acuerdo con TEMA R-6.3.

$$\text{Luego } DIE = DE - 2N = 51.625 - 2 * \frac{1}{2} = 50.625''.$$

C4) Diámetro macho del espejo flotante:

$$DM = DIE - \frac{3}{8}'' = 50.25''.$$

C5) Diámetro del máximo círculo de límite de tubos:

$$CLT = DM - \frac{1}{4}'' = 50''.$$

D) Varillas tensoras.

La función de estas varillas es la de lograr un armazón rígido entre mamparas, placa soporte y uno de los espejos, haciendo posible el manejo del haz de tubos como un solo elemento.

Para estimar el número de varillas así como el diámetro de las mismas, manejaremos la tabla A.1 que se adjunta a continuación, el número y diámetro depende del diámetro de la coraza, y deben de estar distribuidas en la periferia de la plantilla de barrenado.

Según dicha tabla, el diámetro de las varillas será de ½” y el número de las mismas será de un mínimo de 10.

Diámetro de coraza [inch]	Diámetro mínimo de varilla	Nº mínimo de varillas
6 a 15	1/4	4
16 a 27	3/8	6
28 a 33	1/2	6
34 a 48	1/2	8

49 y más	1/2	10
----------	-----	----

Tabla A.1**E) Fajas de sello.**

Las fajas de sello se instalarán longitudinalmente al haz, estos elementos mecánicos son alargados, serán soportadas por las mamparas mediante ranuras efectuadas en ellas, la función de dichos elementos es la de obligar al fluido a circular por el haz y no permitir flujos inútiles comprendidos entre la pared interna de la coraza y los tubos exteriores del haz.

El código TEMA, aconseja espesores de 3/8", aunque su ancho dependerá del espacio libre disponible, que oscila entre 1 y 1/2", y su longitud estará comprendida entre la primera y última mampara.

F) Tornillos de ojo.

Los tornillos de ojo se emplearán como un medio de sujeción, instalados sobre el espejo fijo empacado del haz de tubo por el lado del cabezal, a fin de poder aplicar una fuerza de tensión sobre ellos y así lograr la extracción.

En espejos de acero al carbono el diámetro de dichos tornillos será igual a la profundidad con la que deberán contar.

1.15. Dimensionado de tuberías.

Para el cálculo del diámetro de la tubería se utilizaran las fórmulas descritas a continuación:

Datos necesarios:

Caudal, Q: (Kg. /h)

ρ (kg/m³)

μ (cP)

V: velocidad (m/s)

$$V = \frac{\left(\frac{Q}{3600 * \rho} \right)}{4 * \left(\frac{D_{\text{int}}(\text{mm})}{1000} \right)^2}$$

Para el cálculo del número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{V * D_{\text{int}} * \rho}{\mu}$$

Rugosidad (mm): 0.0457 (es un dato que lo da el material a emplear).

$$A = \frac{\text{rugosidad}}{3.7 D_{\text{int}}} \quad B = 5.02 / \text{Re}$$

F: factor de fricción

$$f = \frac{1}{\left(-2 \left(\log(A - B * \log(A - B * \log(A - B * \log(A - B * \log(A + 14 / \text{Re})))) \right) \right)^2}$$

Long. Recta: es la longitud estimada de tubería que tendrá.

Factor de accesorios, es un coeficiente de estimación.

L: longitud total (m)

$$L = \text{Long. Recta} + \text{Factor de accesorios}$$

ΔP (Kg./cm²/100m): pérdida de carga en la tubería por cada 100m debido a las fricciones.

$$\Delta P_{100m} = \frac{f * 0.000003363 * \left((Q * 2.2046226)^2 \right)}{\rho * 0.06242796 * \left(\frac{D_{\text{int}}}{25.4} \right)^5 * \frac{7.03077}{0.3048}}$$

$$\Delta P_{\text{línea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L/100$$

Cálculo de la línea de Alimentación OTR-18"-COV-001-A152-C.

Caudal de alimentación: Q (Kg. /h) = 30000 Kg. /h

Densidad de la alimentación: ρ (Kg. /m³) = 1,96 Kg. /m³

Viscosidad: μ (cP) = 0,019 cP

Suponemos un Diámetro de 18" ($D_{\text{int}} = 438,2$ mm)

$$V = \frac{\left(\frac{Q}{3600 * \rho} \right)}{\Pi / 4 * \left(\frac{D_{\text{int}}(\text{mm})}{1000} \right)^2} = \frac{\frac{30000}{3600 * 1,96}}{\Pi / 4 * \left(\left(\frac{438,2}{1000} \right) \right)^2} = 28,19 \text{ m/s}$$

Se comprueba en la figura 4.1 que la velocidad no sobrepasa la máxima.

A continuación se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D_{\text{int}} * \rho}{\mu} = \frac{28,19 * 0,4382 * 1,96}{0,019 * 10^{-3}} = 1274389.$$

Rugosidad (mm): 0.0457 (es un dato que lo da el material a emplear).

$$A = \frac{\text{rugosidad}}{3.7 D_{\text{int}}} = 0.02819 \quad B = 5.02 / Re = 4 * 10^{-6}$$

f: factor de fricción

$$f = \frac{1}{\left(-2 \left(\log(A - B * \log(A - B * \log(A - B * \log(A - B * \log(A + 14 / Re)))) \right) \right) \right)^2}$$

Con $f = 0,01332$

Long. Recta: es la longitud estimada de tubería que tendremos.

Factor de accesorios, es un coeficiente de estimación.

L: longitud total (m)

$$L = \text{Long. Recta} + \text{Factor de accesorios}$$

ΔP (Kg./cm²/100m): pérdida de carga en la tubería por cada 100m debido a las fricciones.

$$\Delta P_{100m} = \frac{f * 0.000003363 * \left((Q * 2.2046226)^2 \right)}{\rho * 0.06242796 * \left(\frac{D_{int}}{25.4} \right)^5 * \frac{7.03077}{0.3048}} = 0,024 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta P_{linea} = \Delta P_{100m} * L/100$$

De la misma manera se comprobaría que con un diámetro menor la velocidad quedaría muy cercana a la máxima aconsejable (36,07 m/s) y con uno mayor habría un incremento de coste innecesario.

A continuación se presenta una lista con todos los cálculos que se han realizado para el cálculo de cada una de las líneas existentes. La parte sombreada se corresponde con el diámetro seleccionado como mejor opción.

Los cálculos se han realizado un diámetro por encima y otro por debajo del diámetro tomado por bueno, para comprobar resultados de pérdida de carga y velocidad.

OTR-001-A152-C	COV	65	2,3	30000	2,0	0,019	20	20	0,0457	22,64	0,014
OTR-002-A152-C	COV	180	2	30000	1,5	0,024	18	STD	0,0457	37,85	0,033
OTR-002-A152-C	COV	180	2	30000	1,5	0,024	20	20	0,0457	30,39	0,019
OTR-002-A152-C	COV	180	2	30000	1,5	0,024	24	20	0,0457	20,83	0,007
SERVICIO ó P&ID:	OTR-X-002										
OTR-004-A152-C	PROD.OXIDADOS	300	1,65	30880	1,0	0,028	20	20	0,0457	48,08	0,031
LINEA	FLUIDO	TEMP	PRESION	CAUDAL	DENS	VISC	* NOM				
OTR-004-A152-C	PROD.OXIDADOS	300	1,65	30880	1,0	0,028	24	20	0,0457	32,96	0,012
OTR-004-A152-C	PROD.OXIDADOS	300	1,65	30880	1,0	0,028	26	20	0,0457	28,51	0,009
OTR-001-A152-C	COV	65	2,3	30000	2,0	0,019	16				
OTR-001-A152-C	PROD.OXIDADOS	185	1,63	30880	1,2	0,024	18	20	0,0457	38,71	0,025
OTR-005-A152-C	PROD.OXIDADOS	190	1,63	30880	1,2	0,024	24	20	0,0457	26,53	0,010

OTR-005-A152-C	PROD.OXIDADOS	190	1,63	30880	1,2	0,024	26	20	0,0457	22,95	0,007
SERVICIOS	AUXILIARES										
OTR-007-A152-N	FUEL GAS	40	2,0	633	1.0	0,020	3	80	0,0457	41.22	0.235
OTR-007-A152-N	FUEL GAS	40	2,0	633	1.0	0,020	4	80	0,0457	23.70	0,059
OTR-007-A152-N	FUEL GAS	40	2,0	633	1.0	0,020	6	40	0,0457	9.43	0,006
OTR-001-A151S-C	AIRE puesta marcha unidad	180	2,0	13369	1,6	0,028	12	40	0,0457	33,12	0,043
OTR-001-A151S-C	AIRE puesta marcha unidad	180	2,0	13369	1,6	0,028	14	40	0,0457	27,41	0,027
OTR-001-A151S-C	AIRE puesta marcha unidad	180	2,0	13369	1,6	0,028	16	20	0,0457	19,96	0,012
OTR-002-A151S-C	AIRE para COV	180	2,0	880	1,6	0,028	3	40	0,0457	33,03	0,222
OTR-002-A151S-C	AIRE para COV	180	2,0	880	1,6	0,028	4	40	0,0457	18,59	0,055
OTR-002-A151S-C	AIRE para COV	180	2,0	880	1,6	0,028	6	40	0,0457	8,19	0,007

De acuerdo con el documento planos, la línea **OTR-18"-COV-001-A152-C**, tiene una serie de tramos rectos de tuberías y un conjunto de codos de acuerdo al plano OTR – X – 011 y OTR – X – 007 , del documento Planos.

Dichos tramos rectos de tubería, son los siguientes:

- Tramos horizontales: 2.27 metros desde el ventilador al punto de venteo, 3.50 metros desde el venteo hasta el 2° codo de 90° y un tramo de 1.770 metros desde el 3° codo al 4° codo de 90°, que estará conectado directamente a la tubuladura del intercambiador de calor.
- Tramos verticales: contamos con un solo tramo vertical desde el 2° codo hasta el 3° codo de 90° de longitud 2.110 metros.

En cuanto a los accesorios con los cuales contamos, son los siguientes:

4 codos de 90°, 1 placa de orificio, 1 Te, dos válvulas en la disposición indicada en el plano OTR – X - 011, del documento Planos.

Para la estimación de las pérdidas de carga, se ha procedido al uso de la equivalencia de dichos accesorios a la longitud de tramo recto de tubería que produciría pérdidas de carga similares, utilizando la fórmula:

$$\Delta P_{\text{linea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L / 100$$

Luego sólo queda calcular la longitud total, que será resultado de la suma de la longitud de tramo recto y la longitud equivalente de tramo recto de tubería que produciría cada accesorio usado en dicha línea.

Lt = longitud tramo recto.

Le = longitud equivalente.

$$L = Lt + Le$$

La longitud equivalente de tramo recto debido a dichos accesorios, han sido tomadas de la figura A.12 de longitudes equivalentes del documento Anexo, concretamente el anexo VII.

Lt = 9.65m.

Le = 24.5 m.

Donde $Le = 4 * L_{\text{cod}} + L_{\text{te}} + 2 * L_{\text{valv}}$.

Ya que existen tres codos, una Te y dos válvulas.

$L_{\text{cod}} = 0.8$ m.

$L_{\text{te}} = 2.1$ m.

$L_{\text{valv}} = 10$ m.

Luego:

Le = 25.3 m.

$$\text{Y por tanto } L = Lt + Le = 25.3 + 9.65 = 34.95 \text{ m.}$$

Aplicando $\Delta P_{\text{linea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L / 100$, sólo queda sustituir L por 34.31, siendo:

$$\Delta P_{\text{linea}} = 0.0083 \text{ Kg/Cm}^2$$

Para la línea **OTR-20"-COV-002-A152-C**, se ha procedido de la misma manera, dicha línea consta de: 6 codos de 90° como accesorios, de acuerdo con el plano OTR – X – 011 del documento Planos, además de los siguientes tramos de tubería recta que a continuación indicaremos.

- Tramos de tubería recta horizontales: 1.01 metro desde el 1° codo al 2° codo de 90°, 3.125 metros desde el 2° al 3° codo, 10.390 metros desde el 3° al 4° codo y 0.72 metros desde el 4° al 5° codo.
- Tramos de tubería recta vertical: 0.00 metros desde el 5° al 6° codo.

Con lo que la longitud total de tubería recta será de 15.25 metros.

$$L_t = 15.25 \text{ m.}$$

Como cada codo equivale a 0.8 m de longitud de tubería recta que producirían similar pérdida de carga, entonces $L_e = 6 * 0.8 = 4.8 \text{ m}$.

$$L_e = 4.8 \text{ m.}$$

$$\text{Por tanto } L = L_t + L_e = 15.25 + 4.8 = 20.045 \text{ m.}$$

Aplicando $\Delta P_{\text{línea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L / 100$, sólo queda sustituir L por 20.045 m, siendo:

$$\Delta P_{\text{línea}} = 0.0041 \text{ Kg/Cm}^2.$$

La línea **OTR-24"-COV-004-A152-C**, consta de los siguientes accesorios y tramos de tubería:

- Tramos de tubería horizontal: (inicio en caldera) 7.72 m desde el 1° codo al 2° codo, 15.00 m desde el 2° al venteo, 1.00 m desde el venteo al 3° codo y tramo de 0.850 metros de longitud desde el 3° al 4° codo.
- Accesorios: ocho codos de 90°, en la disposición indicada en el documento Planos.

Con lo que la longitud total de tubería recta será de 24.57 metros.

$$L_t = 24.57 \text{ m.}$$

La pérdida de carga debida a los accesorios que componen dicha línea se expresan, al igual que en las ocasiones anteriores, en longitud equivalente de tubería recta que produzca similar pérdida de carga, estimada según la figura A.12, del anexo VII, del documento Anexo.

$$\text{Entonces } L_e = 8 * 0.8 = 6.4 \text{ m.}$$

$$L_e = 6.4 \text{ m.}$$

$$\text{Por tanto } L = L_t + L_e = 24.57 + 6.4 = 30.97 \text{ m.}$$

De manera que $\Delta P_{\text{línea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L / 100$, y sólo queda sustituir L por 30.97 m, siendo:

$$\Delta P_{\text{línea}} = 0.001767 \text{ Kg/Cm}^2.$$

Para la línea **OTR-24"-COV-005-A152-C**, se procede de la misma manera, consta de los siguientes accesorios y tramos de tubería:

- Tramo recto de tubería horizontal: 2 metros desde el 1° codo al 2° codo y 4 metros desde el 3° codo hasta el colector que conducirá los productos oxidados hacia la chimenea.
- Tramo recto de tubería vertical: 1.80 metros, desde el 2° al 3° codo.

Con lo que la longitud total de tubería recta será de 7.80 metros.

$$L_t = 7.80 \text{ m.}$$

La pérdida de carga debida a los accesorios es, en longitud equivalente de tubería recta que produzca similar pérdida de carga, estimada según la figura A.12, del anexo VII, del documento Anexo las que se indican a continuación.

$$\text{Entonces } L_e = 3 * 0.8 = 2.4 \text{ m.}$$

$$L_e = 2.4 \text{ m.}$$

$$\text{Por tanto } L = L_t + L_e = 7.80 + 2.4 = 10.20 \text{ m.}$$

De manera que $\Delta P_{\text{linea}} = \Delta P_{100\text{m}} * L / 100$, y sólo queda sustituir L por 10.20 m, siendo:

$$\Delta P_{\text{linea}} = 0.0012 \text{ Kg/Cm}^2.$$

1.16 Cálculo de la potencia requerida por el ventilador.

El ventilador usado para desplazar los gases de entrada COV será de tipo axial, y su potencia se determinará de la siguiente manera:

$$P = ((G_e - P_e) / \eta) * [(P_s / P_e) ^ ((\gamma - 1) / \gamma) - 1] * ((\gamma - 1) / \gamma)$$

Donde:

P = potencia suministrada por el ventilador, expresada en Kw.

G_e = flujo volumétrico de gas a la entrada del ventilador, expresados en m³ / s.

P_e = presión de entrada al ventilador, expresada en kPa.

η = rendimiento del ventilador, que será del 75%.

P_s = presión de salida del ventilador, expresado en kPa.

$$\gamma = C_p / C_v = (7 / 2) r / [(5 / 2) r] = 1.4.$$

Así solo tenemos que sustituir en cada término los valores de los mismos, obteniendo:

$$P = ((G_e - 1) / JI) * [(P_s / P_e) ^ ((\gamma - 1) / \gamma) - 1] * ((\gamma - 1) / \gamma) = 76.6 \text{ Kw.}$$

1.17. Distancia máxima entre apoyos de sustentación de tubería.

Para el cálculo de la distancia máxima entre apoyos, hemos recurrido a considerar la tubería como una viga simplemente apoyada, ya que es el caso más restrictivo, es decir el más desfavorable, en el cuál la tubería debe de soportar una tensión mayor.

Para la realización de dicho cálculo, debemos tener en cuenta la tensión de trabajo y la tensión debido a la presión interna, que sumadas deben ser menores o iguales a la tensión admisible de la tubería, que además dependerá del material.

A dicha tensión admisible, se le aplicará un coeficiente de seguridad, en este caso de 1.5.

$$\delta p + \delta f \leq \delta_{adm}, \text{ siendo } \delta_{adm} = \delta_e / 1.5 \quad (1)$$

Donde:

δp : tensión debida a la presión.

δf : tensión debido a flexión.

δ_{adm} : tensión admisible.

δ_e : tensión a la que se produce flexión.

Las unidades en que se expresan dichas tensiones serán en Kg/Cm².

La tensión debido a la flexión que sufre la tubería será :

$$\delta f = q l^2 / 8w \quad (2)$$

Donde q = carga por unidad de longitud, l = distancia máxima entre apoyos y w = módulo de flexión respecto al eje x .

Para calcular el peso de la tubería vacía, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$W = (D_{ext} - e) m e \quad (\text{expresados en lb/ft})$$

Donde e es el espesor de la tubería en pulgadas, m es un factor que depende del material de la tubería, en este caso acero y por supuesto, D_{ext} es el diámetro externo de la tubería en pulgadas.

Así obtenemos el peso de la tubería vacía, a lo que habrá que añadir el peso del agua para la prueba hidráulica.

$$W = (18 - 0.688) 10.68 * 0.688 = 127.2 \text{ lb/ft} = 1.88 \text{ Kg/cm.}$$

A esto hay que sumarle el peso del agua que contendría la tubería por cm. de longitud de la misma.

El agua ocupa un volumen de 1641 cm^3 , $V = \pi r^2 l / 4$ y multiplicando por la densidad del agua, obtenemos dicho valor.

En 1 metro de tubería, el volumen de agua sería de 164100 cm^3 , que multiplicado por 0.001 Kg/cm^3 , darían 164.10 Kg. de agua por metro de tubería.

$$\text{Luego } q = 1.88 + 1.641 = 3.52 \text{ kg/cm.}$$

La tensión debido a la presión interna que sufre la tubería será:

$$\delta p = p * D_{ext} / (2 * e)$$

Así pues, la p será la presión de diseño, D_{ext} el diámetro externo y e el espesor de la tubería.

En cuanto a la tensión admisible de la tubería, decir que dicha tensión es dependiente del tipo de material, en este caso un acero, luego la tensión a la que se produce la flexión sería $\delta_e = 2800 \text{ Kg/Cm}^2$.

Ahora ya podemos calcular la tensión admisible de dicho material, aplicando un coeficiente de seguridad de 1.5:

$$\delta_{adm} = \delta_e / 1.5 = 2800 / 1.5 = 1866.67 \text{ Kg/Cm}^2.$$

De la ecuación (1) de este apartado, despejaremos la tensión por flexión a la que está sometida nuestra tubería, quedando:

$$\delta_f = \delta_{adm} - \delta_p \quad (3)$$

Como dicha tensión es igual a (2): $\delta_f = q l^2 / 8w$, ahora despejaremos la longitud, l , de la expresión (3), de manera que obtendremos la expresión de la longitud máxima entre apoyos para nuestra tubería a las condiciones más desfavorables, es decir, llena de agua ya que así lo estará durante la prueba hidráulica.

$$L = (8w * (\delta_{adm} - \delta_p) / q)^{1/2}.$$

Este cálculo, tiene como objeto la comprobación del correcto uso de la tabla de distancias entre apoyos que se está usando en este proyecto para sustentación de tuberías, así pues, sólo lo vamos a realizar para un tramo de tubería, en este caso la línea de entrada de los gases a depurar, **OTR-18"-COV-001-A152-C**.

A continuación, se presentan todos los datos necesarios respecto a las propiedades de la tubería que conforma dicha línea, para poder realizar dicho proceso de cálculo expuesto anteriormente.

p (Kg/cm ²)	q (Kg/m)	e (cm.)	Dext (cm.)
18	352.1	1.74	45.72

Ahora indicamos los resultados de aplicar dichos valores a las ecuaciones anteriormente mencionadas:

$$\delta p = p * Dext / (2 * e) = 236.48 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$L = (8w * (\delta adm - \delta p) / q)^{1/2} = 8.66 \text{ metros entre apoyo y apoyo.}$$

En la tabla A.3 del anexo VII, nos indican una distancia entre apoyos máxima de 8.5 metros, que es la que hemos tomado, ya que ésta supone cargas mayores a las que en nuestro proyecto están sometidas las tuberías que componen el mismo, y por tanto queda demostrada la validez de dicha tabla.

1.18. Especificación de los requerimientos de la caldera de recuperación.

Los requerimientos a especificar en nuestra caldera de recuperación son los siguientes:

- Calor puesto en juego, es decir, cuanto calor se va a recuperar de la corriente gaseosa procedente del incinerador.
- Producción de vapor en dicha caldera de recuperación.
- Coeficiente general de transferencia de calor (U).

- Superficie de transferencia de calor que deberá proporcionar la caldera (A).

Para calderas pirotubulares, que es la seleccionada, se da una relación proporcional entre el U y el caudal másico de gases de combustión de la siguiente manera:

$$U \propto m^{0.8}. [17]$$

A continuación daremos la secuencia de cálculo de dichos requerimientos: [17]

- 1) Cálculo del calor generado por los gases de combustión.

Para ello aplicamos la siguiente fórmula:

$$Q = m * C_p * (T_1 - T_2)$$

Donde Q es el calor en Kcal. /h., Cp la capacidad calorífica de los gases de combustión en Kcal. /Kg. °C y T en °C, como temperaturas de entrada y salida de los gases a través de la caldera de recuperación.

- 2) Cálculo del caudal de vapor saturado generado por la caldera.

Para ello debemos realizar un balance de materia y de energía:

$$Q = m_a * C_{pa} * (T_s - T_0) + (m_a - m_b) * C_{p \text{ sens}} + m_s * C_{ps} (T_f - T_s)$$

El último término de la ecuación se podrá simplificar, ya que no estamos produciendo un vapor sobrecalentado.

Q es el calor puesto en juego, antes mencionado, ma es el caudal de agua de alimentación a la caldera Kg/h., Cpa es la capacidad calorífica del agua de alimentación Kcal. /Kg. °C, Ts es la temperatura de saturación a la presión de operación °C, T0 es la temperatura de entrada del agua de alimentación de la caldera, mb el caudal másico de blowdown, es decir el agua que despejamos del sistema para evitar ensuciamientos e incrustamientos, Cpsens será el calor sensible y ms el caudal de vapor sobrecalentado que al no producirse lo desestimaremos.

De dicha ecuación despejaremos m , de manera que concluyamos con el cálculo del caudal de vapor generado por dicha caldera, el cual es el objetivo de la misma.

- 3) Cálculo del área de transferencia de calor que deberá proporcionar la caldera (A).

Para este cálculo podemos realizar un balance de materia y energía como el que sigue:

$$Q = m * C_p * (T_1 - T_2) = U * A * \Delta T$$

Dicha ecuación, se puede expresar en términos logarítmicos:

$$\ln [(T_1 - T_s) / (T_2 - T_s)] = (U * A) / (m * C_p)$$

Aplicando la relación para calderas pirotubulares, $U \propto m^{0.8}$, estaremos en disposición de hallar el término A.

A continuación presentamos los cálculos:

- 1) Cálculo del calor generado por los gases de combustión:

$$Q = m * C_p * (T_1 - T_2) = 4620716.7 \text{ Kcal. / h}$$

El calor puesto en juego depende del requerimiento del intercambiador, limitado por el límite inferior de explosividad de la mezcla gaseosa que se pretende precalentar.

Donde m es el caudal de los productos oxidados (30880 Kg. / h), C_p es la capacidad específica de dichos productos oxidados, T_1 sería la temperatura de entrada en la caldera (850 °C) y finalmente T_2 la de salida de la misma (300 °C).

3) Cálculo del caudal de vapor saturado generado por la caldera.

$$Q = m_a * C_{pa} * (T_s - T_0) + (m_a - m_b) * C_p \text{ sens} + m_s * C_{ps} (T_f - T_s)$$

Despreciamos el último término de la ecuación, ya que no estamos generando vapor sobrecalentado, m_b es normalmente el 5% del caudal de alimentación de la caldera (m_a), luego despejando m_a queda:

$$m_a = Q / ((0.95 * (Q_{\text{evap}} - Q_2) + 0.05 * (Q_1 - Q_2))) = 13\ 118 \text{ Kg. /h de vapor de media. (18 Kg. /cm}^2 \text{ y } 210^\circ\text{C)}$$

Q_1 es el calor puesto en juego para alcanzar los 210°C desde las condiciones de referencia (25°C y 1 atm, estado líquido) sin cambio de fase. $Q_1 = 896.8 \text{ KJ. / Kg} = 214.54 \text{ Kcal. / Kg}$.

Q_2 es el calor puesto en juego para alcanzar los 90°C desde las condiciones de referencia (25°C y 1 atm, estado líquido) sin cambio de fase. $Q_2 = 376.8 \text{ KJ. / Kg} = 91.9 \text{ Kcal. / Kg}$.

Q_{evap} es el calor sensible a 210°C desde las condiciones de referencia. $Q_{\text{evap}} = 1899.3 \text{ KJ. / Kg} = 463.24 \text{ Kcal. / Kg}$. (propiedades del H_2O , apuntes Op. Básicas de la ing. Quím.)

Ahora se muestra el cálculo del área de intercambio de calor por parte de la caldera:

Como $U \propto m^{0.8}$, entonces podemos transformar:

$$\ln [(T_1 - T_s) / (T_2 - T_s)] = (U * A) / (m * C_p), \text{ en:}$$

$$\ln [(T_1 - T_s) / (T_2 - T_s)] = (m^{-0.2} * A) / C_p$$

Así pues, **combinando ambas ecuaciones**, donde T_1 es la temperatura de entrada de los gases calientes a la caldera, T_2 la temperatura de salida de los mismos, T_s la temperatura del vapor saturado y C_p la capacidad calorífica de los gases de combustión. De manera que:

$K = \text{Ln}[(T1 - Ts) / (T2 - Ts)] / (m^{-0.2}) = 17.55$, dicho valor es utilizado como condición de diseño para otras condiciones de operación.

1.19 Cálculos relativos al sistema de protección contra incendios.

Del documento Memoria, hemos definido el área en metros cuadrados necesaria a cubrir, en el caso en que se produjese inflamación o combustión en el área de procesos o en alguno de los equipos que componen dicho área de procesos.

La superficie en metros cuadrados a cubrir es la siguiente:

Equipo/Elemento	Superficie (m ²)
Ventilador	4
Intercambiador	20.7
Caldera	12
Oxidador Térmico	40.7

El procedimiento de cálculo para obtener el caudal en cada lanza, será el siguiente:

1° Debemos estimar la densidad de aplicación.

Esta es el volumen de agua necesario a aplicar por minuto, y superficie en llamas.

2° Obtendremos la velocidad de paso del agua a través de la sección de la lanza, que será de 2,5 “, con el objeto de de obtener la presión necesaria que debe darse en el colector conectado a dicha lanza.

3° Mediante la aplicación de Bernoulli, y de la suposición de caudal constante de agua, obtenemos la presión necesaria requerida por el colector, para poder suministrar el aporte de agua necesario a la superficie en llamas.

Este primer cálculo, va referido al punto hidrante que suministrará el agua necesaria para **la cabeza del intercambiador de calor gas-gas y el ventilador** que va conectado a la línea de alimentación de COV hacia dicho intercambiador de calor.

Como se muestra en la tabla anteriormente expuesta, la suma de las superficies a cubrir es de 24.7 m².

Paso 1°:

Estimación de la densidad de aplicación.

La propia refinería tiene un histórico en el cual se almacenan datos de dichas densidades para en este caso intercambiadores de calor de similares dimensiones y, para dicha superficie se estima en una densidad de aplicación de 11 l/(min. m²).

Luego si multiplicamos dicha densidad de aplicación por la superficie a cubrir, obtendremos el caudal necesario:

$$P * S = Q$$

Donde P = densidad de aplicación, S = superficie susceptible de llamas y Q = caudal de agua relativa a dicha superficie.

Así pues, Q = 271.7 L/min.

Paso 2°:

Como sabemos los diámetros de los colectores de cada lanza, y el caudal que debe de circular por el mismo ha de ser igual que el que circule por la lanza, es decir, caudal constante, aplicando Bernoulli y la expresión del caudal en función de la velocidad y sección, podemos obtener fácilmente la velocidad a la que circulará el agua a través del orificio de salida de la lanza de cada punto hidrante:

$$Q = V * S \quad (1)$$

Aplicando Bernoulli, y suponiendo en principio que no existe diferencia de altura:

$$P_1 + \rho V_1^2 / 2 = P_2 + \rho V_2^2 / 2$$

Si despejamos V_2 , podremos obtener en el paso 3° la sección y por tanto el diámetro de la lanza que estamos calculando.

Luego:

$$V_2 = (V_1^2 - 2(P_2 - P_1)/\rho)^{1/2}$$

Donde:

P_1 = Presión necesaria que hay que suministrar en el colector. (Pa).

V_1 = Velocidad a través de la sección del colector. (m/s).

ρ = Densidad del agua. (Kg. /m³).

P_2 = Presión en la punta de la lanza del hidrante. (Pa).

V_2 = Velocidad a través del orificio de salida de la punta de lanza. (m/s).

Para el cálculo de la velocidad V_1 , usamos la expresión (1):

$$V_1 = (271.7 / \pi d^2) * 4 = 0.25 \text{ m/s.}$$

Una vez que sabemos el valor de dicha velocidad, podemos obtener de la ecuación de Bernoulli, antes mencionada, despejando la V_2 de la misma, la velocidad de paso a través del orificio de salida de la lanza:

$$V_2 = (V_1^2 - 2(P_2 - P_1)/\rho)^{1/2}$$

Donde la presión disponible en el colector deberá ser de 7,5 Kg. /cm², mientras que la de la punta de lanza, deberá ser de 7.48 Kg. /cm², ya que se produce una pérdida de carga de 0.02 Kg. /cm². Estos valores los transformamos a pascales, con el fin de obtener la velocidad en su unidad de acuerdo con el S.I.

$P_1 = 735\ 000\text{Pa}$, y $P_2 = 734\ 000\text{Pa}$.

Sustituyendo estos valores en la ecuación anteriormente expuesta, y la velocidad referida al colector, obtenemos una velocidad de paso:

$$V_2 = (V_1^2 - 2(P_2 - P_1)/\rho)^{1/2} = 1.44 \text{ m/s.}$$

Paso 3°:

En este paso, obtendremos la sección necesaria de paso, para que se cumpla la relación que se da en la ecuación (1).

Así pues, la sección de paso a través de dicho orificio es:

$Q = V_2 * S_2$; Despejando la sección: $S_2 = Q/V_2 = 0.00316 \text{ m}^2$, como $S = \pi d^2/4$, podemos obtener fácilmente el diámetro de la sección $d = 6.35 \text{ cm.} = 2.5 \text{ ''}$.

Luego la punta de lanza deberá tener 2.5 '' de diámetro.

Cálculo del caudal y diámetro que requiere la lanza que protegerá la caldera y la lanza que protegerá el oxidador térmico:

El procedimiento de cálculo será el mismo que para el punto hidrante anteriormente facilitado, de manera que proporcionaremos los datos de entrada y los datos de salida o datos finales.

	CALDERA	OXIDADOR
DENSIDAD	20 l/min. m ²	20 l/min. m ²
SUPERFICIE	12 m ²	40.7 m ²

CAUDAL	240 l/min.	814 l/min.
VELOC.COLECTOR	0.219 m/s	0.7417 m/s
VELOC.LANZA	1.43 m/s	2.33 m/s
DIÁMETRO	3.5"	4.5"

1.20 Cálculos relativos al sistema de alumbrado.

Para el cálculo del sistema de alumbrado, siguiendo en cuestiones de seguridad el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, ITC-BT-26.

Mediante la expresión:

$$N = E * S / (\gamma \text{ Cu Fm})$$

Donde:

N = Número de luminarias necesarias para una superficie a iluminar.

E = Es el nivel luminoso en lux.

S = Superficie a iluminar.

γ = Emisión luminosa de la lámpara.

Cu = Coeficiente de utilización.

Fm = Factor de mantenimiento.

El nivel luminoso en lux, será de 200 lux, para área de procesos, que requieren una iluminación intermedia, en la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajos, se exige un mínimo de 150 lux, pero la norma UNE, exige para iluminación moderada, 200 lux, además en el anexo IV de dicha Guía, dedicado a actividades industriales referidas a refinerías se exige una iluminación de 200 lux, que además por ser la más restrictiva será la que apliquemos.

Para distribuir de manera más efectiva el número de luminarias que vamos a calcular, dividiremos la superficie de la Planta de Oxidación, en áreas de trabajo donde se ubiquen los principales equipos de la misma.

La superficie a iluminar es de $15 \times 21 \text{ m}^2 = 315 \text{ m}^2$, como área total de procesos. Así pues, dividiremos dicha área en tres zonas bien diferenciadas, dos donde encontraremos equipos operando y una donde sólo observaremos tuberías.

Dentro de la zona de equipos operando, distinguiremos dos zonas, una donde se sitúa el conjunto caldera-oxidador, y la otra formada por el ventilador e intercambiador.

Área de procesos 240 m ²	
Caldera-Oxidador	135 m ²
Ventilador-Intercambiador	105 m ²

En cuanto al área restante, se situarán las tuberías de procesos pero no habrá necesidad de iluminar equipos, y la superficie será de 75 m².

El coeficiente de utilización será del 66%, según tabla de anexo VII, el factor de mantenimiento suele oscilar entre el 60 y el 75 %, así que tomaremos un valor intermedio del 65 %, al igual que en la Planta contigua a la misma.

Ahora sólo queda saber cual es el valor del flujo luminoso que produce la lámpara, información que debe proporcionar el fabricante.

Para este caso se tomará según catálogo, un flujo luminoso de 3000 lúmenes que proporcionará la lámpara fluorescente. (Suelen proporcionar dichas lámparas de 40 W).

Así, obtenemos el número de luminarias para el conjunto Caldera-Oxidador:

$$N = E * S / (\gamma \text{ Cu Fm}) = 200 * 135 / (3000 * 0.66 * 0.65) = 20 \text{ lámparas.}$$

De la misma manera, actuaremos con las demás superficies de iluminación:

Ventilador-Intercambiador		Área de tuberías	
E	200	E	200
S	105	S	75
γ	3000	γ	3000
Cu	66	Cu	66
Fm	65	Fm	65
N = 16		N = 11	

ANEXO II

COMBUSTIÓN.

Índice:

2.1. Definición y tipos de combustión.....	67
2.2. Mecanismo general de las reacciones de combustión	68
2.3. La llama	69
2.3.1. Condiciones para que se produzca la llama.....	69
2.3.2. Clasificación de llamas	71
2.3.3. Temperatura de la llama	72
2.4. Combustible y comburente.....	73
2.5. Combustión adecuada.....	74
2.5.1. Exceso de aire.....	74
2.5.2. Tiro	74
2.5.3. Tiempo de contacto	75
2.5.4. Turbulencia.....	75
2.5.5. Temperatura.....	75
2.6. Propiedades de los combustibles gaseosos.....	75
2.6.1. Poder calorífico de los combustibles gaseosos.....	75
2.6.2. Límite de explosividad	76
2.6.3. Intercambiabilidad de los gases combustibles.....	78
2.6.4. Otras propiedades	79

2.1. Definición y tipos.

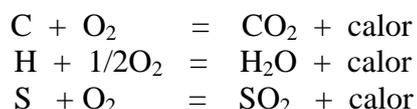
Se puede definir la combustión como la combinación rápida del oxígeno del aire con los distintos elementos que constituyen el combustible, originándose un desprendimiento de calor.

Los combustibles tienen una composición elemental en la que entran fundamentalmente: carbono, hidrógeno y azufre como elementos verdaderamente combustibles, acompañados de otros elementos tales como el nitrógeno, oxígeno y trazas de otros metales como vanadio, níquel, sodio, etcétera.

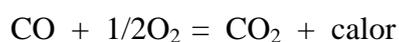
El aire es una mezcla fundamentalmente de oxígeno y nitrógeno con pequeñas cantidades de otros gases como el anhídrido carbónico, el argón y el vapor de agua. Su composición varía ligeramente con la humedad y con la altura. No obstante, para simplificar el estudio de la combustión, se considera un aire con la siguiente composición en volumen:

- 21 % de oxígeno.
- 79 % de nitrógeno.

La combustión puede considerarse como una mezcla de los siguientes procesos:



Y como en algunos gases, ya se encuentran mezclados el carbono y el oxígeno, en forma de monóxido de carbono, hay que añadir en esos casos un cuarto proceso:



Se pueden distinguir los siguientes tipos de combustión:

- Completa o perfecta.

Cuando las reacciones anteriormente indicadas están totalmente desplazadas hacia la derecha, con independencia del exceso de aire empleado.

- Estequiométrica.

Es aquella combustión completa que se ha realizado sin exceso de aire.

- Incompleta.

Es aquella en que los gases de combustión contienen compuestos parcialmente oxidados, como monóxido de carbono y resto de combustibles sin oxidar, como hidrógeno, partículas de carbón, etc. Estas combustiones pueden efectuarse con exceso o defecto de aire.

Las combustiones estequiométricas sólo es posible realizarlas en laboratorio, ya que no basta suministrar la relación exacta combustible-aire, sino que es preciso además que la mezcla sea total y homogénea, ya que en caso contrario, en unas zonas la combustión será con exceso de aire, mientras en otras será con defecto de aire.

2.2. Mecanismo general de las reacciones de combustión.

Con excepción de la combustión del C, que es una reacción heterogénea, ya que este elemento no se volatiliza a las temperaturas normales de ebullición, las demás reacciones de combustión transcurren en fase gaseosa por sucesión de rápidas reacciones en cadena.

Debido a la rapidez de estas reacciones, la velocidad del proceso global está basada en los factores externos, tales como concentraciones, velocidad de mezcla combustible-aire, etc.

2.3. La llama.

La combustión se caracteriza por la llama, zona de alta temperatura cuya luminosidad se debe a las partículas de carbono incandescentes.

El llamado frente de llama marca la separación entre el gas quemado y el gas sin quemar, y es la zona donde tienen lugar las reacciones principales. El espesor del frente de llama varía, según las condiciones, desde menos de 1mm hasta la anchura total de la cámara de combustión.

Se conoce con el nombre de **propagación de la llama** el desplazamiento del frente de llama a través de la masa gaseosa. La velocidad de propagación depende de la transmisión de calor entre los gases ya quemados y los inmediatos; cuando éstos alcanzan la temperatura de ignición arden, propagando la combustión.

Si la mezcla combustible-aire tiene un movimiento global determinado, el frente de llama se estaciona en una posición prefijada, siendo necesario para esto que la velocidad de los gases se iguale a la velocidad de propagación de la llama. Este es el caso de los quemadores.

2.3.1. Condiciones para que se produzca una llama.

Para que tenga lugar la combustión es necesario que el combustible alcance la **temperatura de ignición**. En el caso de combustibles líquidos se utiliza prácticamente el **punto de inflamación**, que es normalmente de 20 a 60° C, inferior a la temperatura de ignición. Cuando se alcanza el punto de inflamación el combustible empieza a arder al contacto de su superficie con una llama, pero la combustión cesa al retirar la llama, ya que el calor desprendido en la zona inicial no se transmite con suficiente rapidez a las zonas contiguas, y no se alcanza en ellos la temperatura de ignición.

La temperatura de ignición sirve como base para determinar, con cierta seguridad, la temperatura máxima a alcanzar el combustible en su almacenamiento y trasiego, así como la temperatura mínima a que deben mantenerse todos los puntos de la cámara de combustión.

Una mezcla combustible-aire es **inflamable** cuando puede propagarse la llama iniciada en uno de sus puntos.

La inflamabilidad depende de la velocidad de propagación de la llama, la que a su vez está relacionada con las condiciones de propagación del calor a través de la mezcla, que es mayor cuando aumenta la temperatura de la llama.

La mezcla estequiométrica combustible/comburente es siempre inflamable, pues da una llama de temperatura bastante alta como para calentar las zonas contiguas hasta la ignición.

Si diluimos la mezcla por adición de un componente inerte, la temperatura de la llama desciende y llega un momento en que ya no hay propagación, existiendo dos composiciones límite de la mezcla que encierran el **intervalo de inflamabilidad**.

Estas **composiciones límite** dependen, por otra parte, de las condiciones externas: presión, geometría de la cámara de combustión.

Además de estos límites de inflamabilidad existe un campo de temperatura de la llama, definido también por una temperatura máxima y otra mínima, coincidentes con los instantes finales y de encendido respectivamente, a las que pueden encontrarse los gases que intervienen en la combustión, como productos quemados.

Existen igualmente unos límites de presión que definen el intervalo de presiones dentro del que puede existir una llama. El límite inferior está por debajo de 1 mm de mercurio absoluto y se ha comprobado que las llamas tienden a extinguirse. El límite superior es de difícil determinación debido a la peligrosidad de la mezcla a altas

presiones. Hoy se puede decir que el límite superior está por encima de los 100 kg/cm².

Existe un límite, denominado **efecto pared**, por el cual y debido a los intercambios térmicos entre la llama y las paredes del recinto, incluida la propia boquilla de salida, hace que en sus proximidades no se observe llama.

2.3.2. Tipo de llamas y su clasificación.

Los distintos tipos de llamas se clasifican según:

- el punto donde tiene lugar la mezcla del combustible con el comburente.
- La velocidad de la mezcla aire-combustible.
- La posición de la llama respecto a la boca del quemador.
- El tipo del material en combustión.

- *Clasificación de llamas atendiendo a la mezcla:*

Las llamas se clasifican en: llamas de difusión y llamas de premezcla.

Una llama se considera de difusión cuando la mezcla del combustible con el comburente se realiza en el instante de la combustión. También se denominan llamas sin mezcla previa.

Una llama se dice que es premezclada cuando la mezcla de los fluidos se realiza parcial o totalmente antes de alcanzar la cámara de combustión, en donde ésta se realiza en un medio constituido por una mezcla en íntimo contacto entre el combustible y el comburente.

- *Clasificación de las llamas atendiendo a la velocidad de la mezcla aire-combustible:*

En este caso las llamas pueden ser laminares o turbulentas.

Una llama es laminar cuando los fenómenos de mezcla y de transporte ocurren a velocidades bajas.

La llama es turbulenta cuando la velocidad de la mezcla aire-combustible es elevada. En estas condiciones el gas sale del tubo con un silbido y la llama, que resulta más corta, adopta un aspecto de torbellino.

- *Clasificación de las llamas según su posición respecto a la boca del quemador:*

Desde este punto de vista, existen llamas en movimiento, también llamadas explosivas libres, y llamas estacionarias, llamadas así porque el combustible se quema poco a poco a medida que pasa a través de una determinada zona del sistema, dando lugar a una llama aparentemente fija. Estas son las llamas más importantes desde un punto de vista práctico.

- *Clasificación de las llamas según el estado de combustible:*

Las llamas pueden proceder de combustibles gaseosos, líquidos y sólidos.

2.3.3. Temperatura de la llama.

La temperatura de la llama de un determinado combustible depende de las condiciones experimentales utilizadas, pudiéndose decir que tienen una influencia determinante el poder calorífico del combustible y su composición, el tipo de comburente y la velocidad global de la combustión (función de la reactividad del combustible, de la forma y eficacia del sistema de combustión y de la temperatura inicial de los reactivos).

Se denomina temperatura teórica de combustión, temperatura adiabática de combustión o temperatura de combustión calorimétrica a la que se obtendría en una combustión estequiométrica, con mezcla perfectamente homogénea y en un tiempo

brevísimo que no dé tiempo a pérdidas caloríficas con el ambiente. Es interesante observar que las llamas más calientes no son las que en teoría corresponden a una mayor liberación de energía, sino a aquellas cuyos productos finales de la combustión son más estables.

2.4. Combustible y comburente.

El combustible tiene una composición elemental en la que los elementos que realmente son combustibles son principalmente el carbono, el hidrógeno y el azufre. Además, estos elementos pueden ir acompañados de nitrógeno, oxígeno y trazas de algunos elementos metálicos como pueden ser el vanadio o el níquel entre otros.

El comburente es el aire, compuesto principalmente de oxígeno y nitrógeno en unas cantidades próximas del 21% y el 79%, respectivamente. El nitrógeno que se encuentra en el aire es un gas inerte, por lo que éste no reaccionará y saldrá al exterior formando parte de los humos o productos de combustión. La consecuencia de la presencia de este gas inerte es la dilución del oxígeno con el nitrógeno y por consiguiente se reduce la intensidad de la combustión.

Las reacciones de combustión que se producen principalmente son:

Carbono	$C + O_2 = CO_2 + 97600 \text{ kcal/kmol}$
Carbono	$C + 1/2O_2 = CO + 29400 \text{ kcal/kmol}$
Oxido de carbono	$CO + 1/2 O_2 = CO_2 + 67600 \text{ Kcal/Kmol}$
Hidrógeno	$H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 58200 \text{ Kcal/kmol (vapor)}$
Azufre	$S + O_2 = SO_2 + 138600 \text{ kcal/kmol}$
Metano	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 192500 \text{ kcal/kmol (agua vapor)}$
Etano	$C_2H_6 + 7/2O_2 = 2CO_2 + 3H_2O + 342000 \text{ kcal/kmol (agua vapor)}$
Propano	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 488500 \text{ kcal/kmol (agua vapor)}$
Butano	$C_4H_{10} + 13/2O_2 = 4CO_2 + 5H_2O + 635300 \text{ kcal/kmol (vapor)}$
Hexano	$C_6H_{14} + 9,5 O_2 = 6 CO_2 + 7 H_2O + 922000 \text{ kcal/kmol (vapor)}$

2.5. Combustión adecuada.

Las condiciones para que se produzca una combustión adecuada son una entrada de aire proporcionada en el sitio debido, además de un tiempo de contacto, una turbulencia y una temperatura que permitan que se efectúen y se completen las reacciones de combustión dentro del espacio destinado a las mismas.

Para llevar a cabo una combustión adecuada se han de tener en cuenta el exceso de aire, el tiro, el tiempo de contacto y la turbulencia.

2.5.1. Exceso de aire.

Para tener una combustión completa, es decir, sin presencia de CO en los humos que salen del horno, es necesario introducir en el horno una cantidad de aire superior a la estrictamente necesaria para la combustión. Esta cantidad es el exceso de aire, que se expresa en tanto por ciento de la cantidad de aire teórica.

Los hornos modernos, cuando están equipados con quemadores bien adaptados a los combustibles utilizados, pueden trabajar con un exceso de aire del 20 al 30% si quema gas, y del 30 al 40% si se quema fuel con una atomización correcta.

2.5.2. Tiro.

El tiro es la diferencia en la presión entre cualquier punto en el horno, conducción o chimenea y la atmósfera circundante. El tiro es una presión ligeramente inferior a la atmosférica (normalmente) y es por lo tanto una presión negativa. El tiro puede ser producido tanto naturalmente, por efecto de la chimenea, o mecánicamente, por ventiladores.

El tiro natural es producido por la diferencia en el peso de la columna de gases

calientes en la chimenea o instalación y la de una columna de aire ambiente de idéntica altura y área de sección transversal.

2.5.3. Tiempo de contacto.

Para conseguir una combustión rápida se necesita conseguir una mezcla aire-combustible tan íntima como se pueda inmediatamente después de la entrada en el horno.

2.5.4. Turbulencia.

Permite que el gas y el aire se mezclen rápidamente en un volumen pequeño aumentando el contacto entre ambos.

2.5.5. Temperatura.

La velocidad de reacción aumenta con la temperatura. A temperatura más elevada se favorece la combustión rápida del gas.

2.6. Propiedades de los combustibles gaseosos.

2.6.1. Poder calorífico de los combustibles gaseosos.

El poder calorífico de un gas es el calor liberado por la unidad de volumen de gas. Se suele expresar en Kcal/m³ de gas en condiciones normales (0°C y 760 mm Hg de presión).

Es necesario recordar que en los combustibles sólidos y líquidos el poder calorífico se da en Kcal/Kg.

A continuación se expresan los poderes caloríficos de diversos gases combustibles en Kcal/m³ y su transformación a Kcal/kg.

Gas	Peso molec.	Kcal/m ³	Vol. De 1 kg (m ³)	Kcal/kg
Hidrógeno	2	3.027	22.4/2 =11.2	33.910
Metano	16	9.485	22.4/16=1.4	13.280
Etano	30	16.770	22.4/30=0.75	12.410
Propano	44	22.710	22.4/42=0.51	12.040
Butano	58	31.150	22.4/58=0.39	11.840

Debe observarse que el hidrógeno, que es el combustible de mayor poder calorífico en peso (kcal/kg), es el más pobre en relación con su volumen (kcal/Nm³).

El error que se introduce en los cálculos al considerar a los gases como perfectos es de un 1% para el etano, un 2% para el propano y un 4% para el butano normal.

En la práctica industrial los combustibles gaseosos suelen ser mezclas, y los poderes caloríficos están relacionados directamente con los correspondientes a cada componente y con su proporción en la mezcla.

El poder calorífico superior (P.C.S.) es la cantidad total de calor de un combustible, incluyendo el calor latente del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en dicho combustible.

El poder calorífico inferior (P.C.I.) es la cantidad que resulta al restar del P.C.S. el calor latente del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en el combustible.

2.6.2. Límite de explosividad

Para que se forme una atmósfera explosiva, la concentración de gases, vapores o nieblas inflamables en aire debe de estar dentro de un determinado rango, delimitado por los Límites inferiores y superiores de explosividad:

Límite Inferior de Explosividad (LIE): Es la concentración mínima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire por debajo de la cual, la mezcla no es explosiva. Por ejemplo el límite inferior de inflamabilidad del vapor de acetona en el aire es aproximadamente 2,6% en volumen. Esto significa que en 100 volúmenes de mezcla vapor de combustible-aire hay 2,6 % de vapor de acetona y $100 - 2,6 = 97,4$ % de aire.

Límite Superior de Explosividad (LSE): Es la concentración máxima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire, por arriba de la cual, la mezcla no es explosiva. Estos límites se suelen expresar en porcentajes de volumen del gas o vapor en el volumen de la mezcla.

Si se pretende que una determinada mezcla de gases o vapores inflamables en aire no produzca una atmósfera explosiva, habrá que mantener la concentración de éstos bien por debajo del LIE o por arriba del LSE, sin embargo, son más seguros los procesos que se desarrollan por debajo del límite inferior de inflamabilidad, adoptando un factor de seguridad 4 ó 5 que equivale a estar en el 25 ó 20% del L.I.E., que los que se desarrollan por encima del límite superior de inflamabilidad, ya que en caso de fuga, pérdida o disminución de combustible podría aumentar el contenido de aire y se situarían dentro del campo de inflamabilidad.

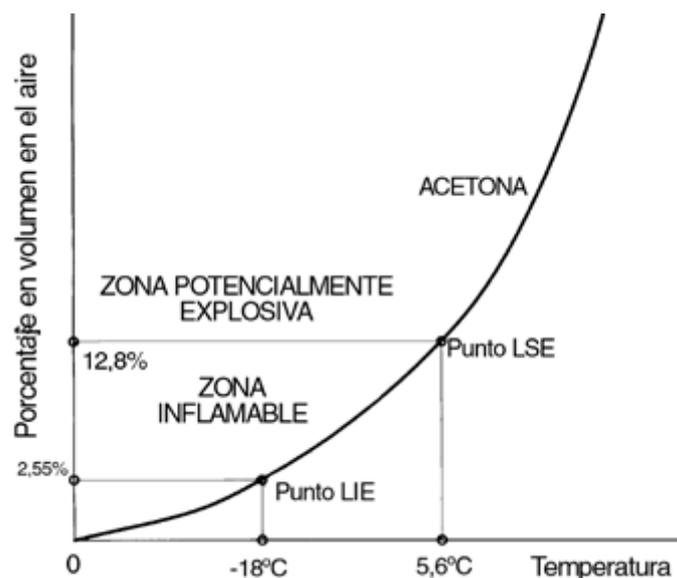


Fig. 2.1. Gráfica del LIE.

En el caso de líquidos, los límites de explosividad vienen fuertemente influidos por la temperatura y la presión a que está sometido el líquido inflamable. Los vapores que flotan sobre un líquido se reducen al aumentar la presión que se opone a la vaporización y aumentan cuando desciende esta presión. También, a mayor temperatura el líquido tendrá mayor presión de vapor y tenderá a evaporarse en mayores cantidades. El punto de equilibrio sólo puede alcanzarse obviamente en sistemas cerrados como en tanques, tuberías, etc. Al aire libre el líquido vaporizable continuaría evaporándose hasta su total agotamiento.

2.6.3. Intercambiabilidad de los gases combustibles.

Dos gases serán intercambiables cuando, para un quemador determinado, con las mismas condiciones de suministro, presión y temperatura, mantienen las mismas características de combustión.

Para determinar la intercambiabilidad de los gases, se establecerán unas relaciones entre el gasto calorífico y el potencial de combustión.

Las relaciones anteriores se conocen por Índice de Wobbe (W) e Índice de Delbourg (C).

El índice de Wobbe (W) vendrá por la expresión:

$$W = PC / \sqrt{d}$$

Siendo:

PC = Poder calorífico del gas

d = Densidad del gas referida al aire.

El potencial de combustión (C) o índice de Delbourg se define por la fórmula:

$$C = U \frac{H_2 + 0.7CO + 0.3CH_4 - V \sum aC_nH_n}{\sqrt{d}}$$

Donde:

H₂, CO, CH₄, C_nH_n, composición centesimal de cada componente del combustible gaseoso. C_nH_n comprende a todos los hidrocarburos excepto el CH₄.

“a”, U, V, son parámetros que dependen del tipo de hidrocarburo o del contenido de oxígeno e hidrógeno del gas.

Normalmente las compañías suministradoras de gas facilitan los siguientes datos: Poder calorífico superior, densidad relativa, Índice de Wobbe e Índice de Delbourg.

2.6.4. Otras propiedades.

- *Densidad del gas referida al aire.*

Relación entre las masas de volúmenes iguales de gas y aire, supuestamente secos, a la temperatura de 0°C y a la presión de 760 mm.

- *Gasto calorífico.*

Producto del consumo volumétrico del gas por el poder calorífico del gas.

ANEXO III

OXIDADORES Y QUEMADORES.

Índice:

3.1. Generalidades de los oxidadores térmicos.....	84
3.2. Descripción del Oxidador Térmico utilizado	87
3.3. Generalidades de los quemadores de gas	88
3.3.1. Quemadores de tiro natural.....	89
3.3.2. Quemadores de tiro forzado	90
3.3.3. Quemadores de bajo Nox	90
3.3.4. Quemadores con llama de difusión	91
3.3.5. Quemadores de premezclado parcial.....	95
3.3.6. Quemadores de premezclado total.....	96
3.4. Características del quemador.....	98
3.4.1. Turndown	98
3.4.2. Estabilidad e ignición	99
3.4.3. Forma de la llama	101
3.4.4. Mezcla combustible - aire	101
3.5. Términos del quemador.....	102
3.5.1. Capacidad del quemador	102
3.5.2. Retroceso de la llama.....	102
3.5.3. Baldosa del quemador	102
3.5.4. Quemador	103
3.5.5. Mezclador gas - aire	103
3.5.6. Atomizador	103

3.5.7. Aire en exceso	103
3.5.8. Casquillo de gas.....	103
3.5.9. Poder calorífico	104
3.5.10. Calor liberado	104
3.6. Quemador aconsejado.....	104
3.7. Generalidades de las cámaras de combustión.....	107
3.8. Generalidades de los quemadores pilotos.....	108
3.9. Quemador piloto aconsejado	109
3.10. Mantenimiento de los quemadores	110
3.11. Generalidades de los aislamientos.....	110
3.12. Operaciones del Oxidador (encendido, apagado, ope.normal)	111

3.1. Generalidades de los Oxidadores Térmicos.

Los Oxidadores Térmicos son también conocidos como incineradores de llama directa, incineradores termales o quemadores auxiliares, sin embargo, el término quemador auxiliar es generalmente apropiado sólo para describir a un oxidador termal utilizado para controlar gases provenientes de un proceso en donde la combustión es incompleta.

La incineración u oxidación térmica, es el proceso de oxidar materiales combustibles elevando la temperatura del material por encima de su punto de auto-ignición en la presencia de oxígeno, y manteniéndolo a alta temperatura por un tiempo suficiente para completar su combustión a dióxido de carbono y agua.

Tanto el tiempo como la temperatura, la turbulencia (para mezclado), y la disponibilidad de oxígeno afectan la velocidad y la eficiencia del proceso de combustión. Estos factores proporcionan los parámetros de diseño básico para los sistemas de oxidación de COV (Ref. ICA, 1999: Institute of Clean Air Companies- el Instituto de Compañías de Aire Limpio).

La destrucción por oxidación térmica puede ser aplicable a algunos contaminantes como los compuestos orgánicos volátiles (COV) o alguna materia particulada (MP), comúnmente compuesta de hollín (partículas formadas como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos, coque o residuos de carbón).

La eficiencia de destrucción de COV depende de los criterios de diseño (esto es, la temperatura de la cámara, el tiempo de residencia, la concentración de COV a la entrada, el tipo de compuesto, y el grado de mezclado).

Las eficiencias típicas de diseño de un oxidador térmico varían dentro de un rango de 98 a 99,9999% y por encima, dependiendo de los requisitos del sistema y las características de la corriente contaminada.

Las condiciones típicas de diseño necesarias para satisfacer un control del 98% son: una temperatura de 870 °C, un tiempo de residencia de 0,75 segundos, y un mezclado adecuado. Para las corrientes de COV halogenadas, se recomienda una temperatura de combustión de 1100 °C, un tiempo de residencia de 1.0 segundo, y el uso de un depurador de gases ácidos en el ducto de salida. (Ref. EPA, 1992).

Para las corrientes de purga con concentraciones de COV por debajo de aproximadamente 2000 ppmv, se reducen las velocidades de reacción, se disminuye la eficiencia máxima de destrucción de COV, y una concentración en el ducto de salida del incinerador de 20 ppmv o menor puede ser lograda.

En el Inventario Nacional para 1990 de la EPA, se reflejó que los oxidadores utilizados como dispositivos de control para materia particulada alcanzaban una eficiencia de control de 25-99 % para la materia particulada de 10 micras o menos de diámetro aerodinámico (MP₁₀).

Los Oxidadores Térmicos pueden ser utilizados para reducir las emisiones provenientes de casi todas las fuentes de COV, incluyendo los respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes, y operaciones realizadas en hornos y secadoras. Pueden manejar fluctuaciones menores del flujo, sin embargo, las fluctuaciones excesivas requieren el uso de una antorcha (Ref. EPA, 1992). Su consumo de combustible es alto, así que las unidades recuperativas son las mejores indicadas para las aplicaciones en procesos más pequeños con cargas de COV de moderadas a altas.

Los oxidadores son utilizados para controlar los COV provenientes de una amplia variedad de procesos industriales, incluyendo algunos como: almacenamiento y carga-descarga de productos de petróleo y otros líquidos orgánicos volátiles, válvulas de purgas de procesos en la industria manufacturera de químicos orgánicos sintéticos y localidades para el tratamiento, almacenamiento y deshecho de residuos tóxicos (LTAD).

Las características principales de la Corriente de Emisión son:

1) Flujo de Aire: las velocidades típicas del flujo de aire para los oxidadores recuperativos son de 0,24-24 metros cúbicos estándar por segundo (m^3/s) (500 a 50.000 Standard Cubic Feet per Minute (scfm- pies cúbicos estándar por minuto)) (Ref. EPA, 1996a).

2) Temperatura: la mayoría de los oxidadores operan a temperaturas más altas que la temperatura de ignición, la cual es una temperatura mínima. La destrucción termal de la mayoría de los compuestos orgánicos ocurre entre $590^{\circ}C$ y $650^{\circ}C$. La mayoría de los oxidadores de desechos son operados de $980^{\circ}C$ a $1200^{\circ}C$ para asegurar la destrucción casi completa de los compuestos orgánicos en el desecho (Ref. AWMA, 1992: Air & Waste Management Association – la Asociación para el Manejo de Aire y Residuos de EE.UU.).

3) Carga de Contaminantes: Los oxidadores térmicos pueden ser utilizados a través de un rango bastante amplio de concentraciones de vapor orgánico.

Por consideraciones de seguridad, la concentración de orgánicos en el gas de desecho debe ser sustancialmente menor del límite inflamable inferior (límite explosivo inferior, o LEI) del compuesto específico que está siendo controlado. Como regla, un factor de seguridad de cuatro (esto es, el 25% del LEI) es usado (Ref. EPA, 1991, AWMA, 1992). El gas de desecho puede ser diluido con aire del ambiente, si fuera necesario, para reducir la concentración.

Considerando los factores económicos, los oxidadores térmicos funcionan mejor a concentraciones de entrada de alrededor de 1500 a 3000 ppmv, porque el calor de combustión de los gases de hidrocarburo es suficiente para sostener las altas temperaturas requeridas sin la adición de un combustible auxiliar costoso (Ref. EPA, 1995).

4)Otras Consideraciones: Los oxidadores no son generalmente recomendables para controlar gases que contengan compuestos que contienen halógenos o azufre, debido a la formación de cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno gaseoso, dióxido de azufre, y otros gases altamente corrosivos. En tales casos puede ser necesario instalar un sistema de tratamiento de gases ácidos de pos-oxidación, dependiendo de la concentración en la salida. Esto probablemente haría de la oxidación una opción no económica (Ref. EPA, 1996 a). Los oxidadores térmicos son además por lo general poco efectivos en costo para las corrientes de vapor orgánico de baja concentración y alto flujo (Ref. EPA, 1995).

Típicamente, no se requiere pretratamiento alguno, sin embargo, en algunos casos se puede utilizar un condensador para reducir el volumen total del gas a ser tratado por el oxidador más costoso.

3.2. Descripción del Oxidador Térmico utilizado.

Dispone de un quemador y una cámara de combustión.

El quemador es capaz de quemar distintos combustibles a la vez en distintos estado físico. La máxima eficacia de destrucción de COV se consigue mezclando de manera homogénea la corriente a oxidar. El quemador dispone de unos difusores que facilitan dicha mezcla.

En la cámara de combustión se consigue alcanzar temperaturas superiores a 850°C. El aislante utilizado permite que la temperatura de la carcasa exterior llegue solo a unos 60 – 70°C. La salida de la cámara conecta directamente con la caldera de recuperación.

Se trabajará a sobrepresión de 0,9 Kg/cm² (m).

3.3. Generalidades de los quemadores de gas.

En general, los combustibles gaseosos se queman y regulan con mayor facilidad, ya que la combustión se realiza en una sola fase y no existen problemas de pulverización como en los combustibles sólidos y líquidos.

Los gases son generalmente limpios y por consiguiente no forman atascos ni ensucian las cámaras de combustión.

Las reacciones de combustión del gas y del oxígeno van estrechamente unidas a los métodos de adición y de mezcla del aire con el gas.

Según el método de introducción del gas y del aire en la cámara de combustión, se clasifican como sigue:

- Quemadores con llamas de difusión, en los que el gas y el aire penetran sin mezclar en la cámara, y la mezcla se efectúa por difusión turbulenta en el lugar de la combustión.
- Quemadores con premezclado parcial, en los que se mezcla previamente el gas con una parte de aire, y el resto necesario para la combustión se aspira más adelante, ya en el oxidador.
- Quemadores con llamas y premezclado total, en los que el gas y todo el aire necesario para la combustión se mezclan antes de que tenga lugar la combustión.

Esta clasificación es puramente indicativa, puesto que a menudo muchos quemadores de gas presentan propiedades de dos categorías.

Propiedades típicas de los quemadores con premezclado son: llama corta, intensa y dura, de gran velocidad, alta temperatura y baja luminosidad. Por el contrario, los quemadores de difusión producen llamas largas y “suaves”, poco intensas y de temperaturas relativamente bajas.

Dentro de la clasificación mencionada se pueden formular otras subdivisiones que tengan en cuenta las presiones de trabajo. Si se introduce el gas a una presión superior a la atmosférica y la depresión que existe en la cámara es la que absorbe el aire, se puede hablar de quemadores de aire aspirado, o atmosféricos. En cambio, si siempre con el gas a presión, es un ventilador el que suministra el aire, se trata de quemadores con aire insuflado.

3.3.1. Quemadores de tipo natural.

El aire de combustión para un quemador de tiro natural es suministrado solamente por el tiro en el oxidador el cual es creado por la diferencia de temperatura entre los humos y la temperatura ambiente. Los siguientes son los quemadores de tiro natural usados comúnmente:

- *Quemador de gas sin premezcla* es el más comúnmente usado ya que provee un alto “turndown” y es efectivo para gases ricos en hidrógeno y para la combustión de combustibles de composición variable.
- *Quemador de gas de premezcla*, el combustible y parte del aire son premezclados antes de que la combustión tenga lugar. Normalmente genera un patrón de llama más concisa y estable que el quemador de gas sin premezcla.
- *Quemador que inspira en la pared radiante*, el combustible y el aire son premezclados al 100%. Produce un patrón de llama pequeña y muy estable. Es normalmente usado para hornos de hidrógeno de doble fuego y para hornos de etileno.
- *Quemador de gas de difusión con tobera*, este es un quemador de gas en la pared radiante y es usado para hornos de hidrógeno y etileno con un amplio rango de combustibles.
- *Quemador de combinación de gas y aceite de doble bloque*, el quemador de combinación de gas y aceite es más comúnmente usado. El lanzador neumático de aceite está colocado en el centro y de 4 a 6 casquillos de gas son colocados alrededor de la abertura del bloque del quemador secundario.

3.3.2. Quemadores de tiro forzado.

Todos los quemadores de tiro natural descritos anteriormente son apropiados para un sistema de tiro forzado con aire ambiente o aire precalentado. El sistema de tiro forzado podría ser efectuado proveyendo un arreglo, el cual mantenga el registro del quemador sin “plenum air”, el cual está por debajo de la presión estática de un ventilador de tiro forzado.

- *Quemador de tiro forzado convencional*, es muy similar al quemador de combinación de doble bloque excepto que es diseñado para una presión de aire positiva de alrededor de 50 mm a 75 mm de columna de agua.
- *Quemador de alta intensidad*, este diseño produce una gran capacidad de liberación de calor con un patrón de llama relativamente pequeño y puede ser usado con gas, aceite y una combinación de ambos. El quemador utiliza aire con tiro forzado, con una presión de 200 mm a 510 mm de columna de agua aproximadamente para crear un torbellino de combustible y aire dentro de una cámara en la cual la mayoría de la combustión tiene lugar.

3.3.3. Quemador de bajo NO_x.

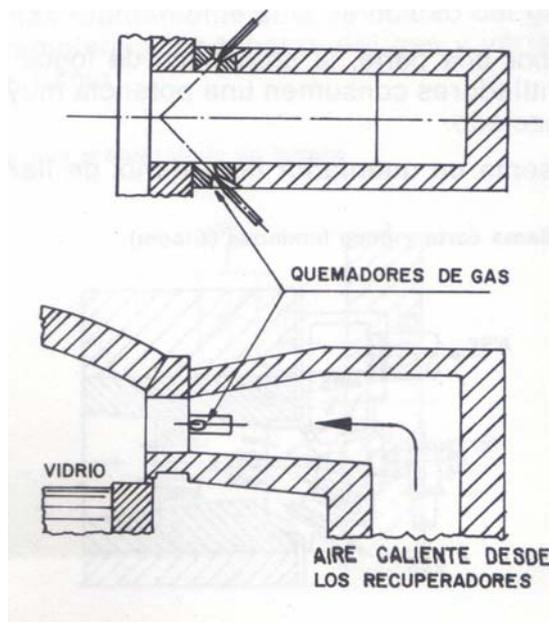
El uso de quemadores de bajo NO_x es el método más simple y menos caro de reducir la emisión de NO_x en los hornos de proceso y calderas. En comparación con el nivel de NO_x de los quemadores convencionales, la emisión de NO_x puede ser reducida, aproximadamente, del 15 al 60%, dependiendo de las condiciones de operación y el tipo de combustible usado. Los siguientes quemadores de bajo NO_x están disponibles en el mercado.

- *John Zink LNC*
- *John Zink SFG*
- *NFK SRG*
- *Coen Lo-NO_x*

3.3.4. Quemadores con llamas de difusión.

En la figura 3.1 se esquematiza la aplicación de un quemador de gas con llama de difusión, típico de los hornos de cuba para la fusión del vidrio.

Figura 3.1. Quemadores con mezcla en el hogar para horno de vidrio



Las toberas del gas están situadas muy cerca de la entrada a la cámara de combustión, mientras que el aire, muy precalentado, se introduce por un conducto lateral.

Cambiando la inclinación de los chorros es posible conseguir diferentes velocidades de combustión; un ángulo de 45° supone una combustión rápida, mientras que con el flujo del gas paralelo al del aire se reduce la rapidez de la combustión y, por consiguiente, se tendrá una llama larga y luminosa.

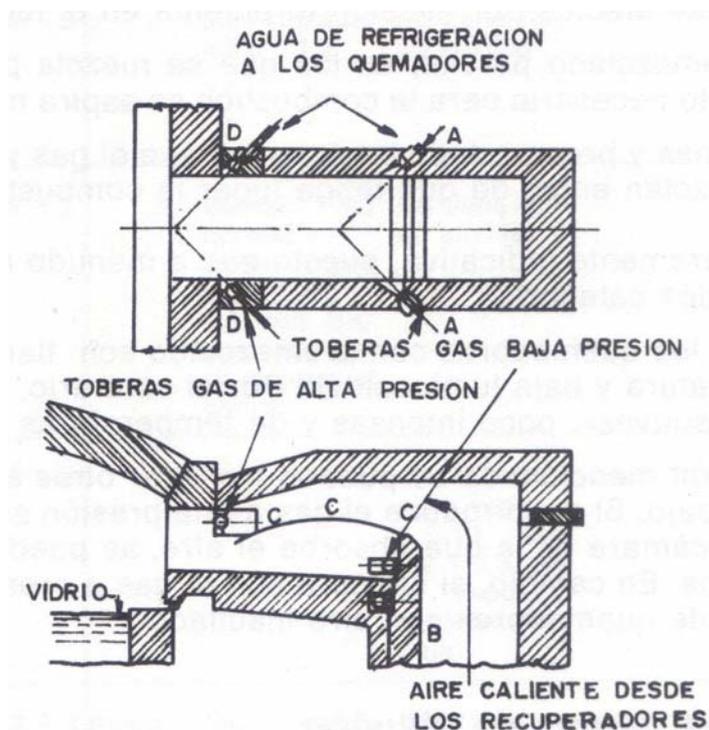
Este mecanismo, modificado según el esquema reproducido en la figura 3.2, es capaz de proporcionar llamas de luminosidad variable.

El gas se introduce a baja presión en las toberas A, y a alta presión en las toberas D.

El flujo del aire precalentado se encuentra en primer lugar con el gas que fluye de A y es en esta zona donde tiene comienzo la combustión.

La irradiación producida por esta combustión provoca el cracking del gas que fluye de D, originando una llama luminosa. Si todo el caudal de gas fluye desde A, no existe cracking, y por tanto se logra una llama larga, pero poco luminosa; si el gas fluye sólo desde D, la llama adquirirá un color violeta y alcanzará altas temperaturas. Por tanto, alterando la relación entre los caudales de A y D, se consigue fácilmente el grado de luminosidad necesario para el buen funcionamiento del horno.

Figura 3.2. Quemadores con cracking para hornos de vidrio



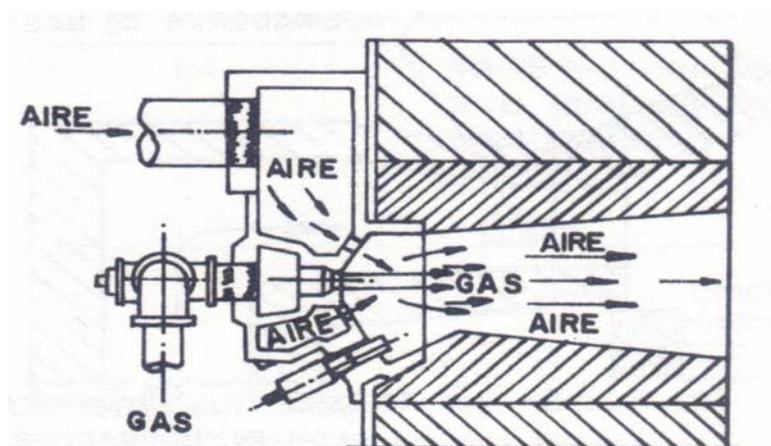
En otro tipo de quemadores de difusión con mezcla por tobera (nozzle-mix), el gas y el aire de la combustión se mezclan en el momento en que salen de sus conductos.

Los dos fluidos se mantienen separados en el quemador, y las toberas se diseñan de tal manera que aseguran una mezcla aire-gas bastante rápida. La velocidad de combustión, con estos quemadores, alcanza valores intermedios entre los conseguidos con quemadores de difusión total y los de premezclado total.

Sus mayores ventajas son, por una parte, la posibilidad de lograr un campo de regulación muy amplio, y por otra, el que los ventiladores consumen una potencia muy reducida, puesto que no hay gasto de energía para el premezclado.

En la figura 3.3., se representa un quemador nozzle-mix de llama corta y poco luminosa.

Figura 3.3. Quemador nozzle-mix de llama corta y poco luminosa (Bloom)



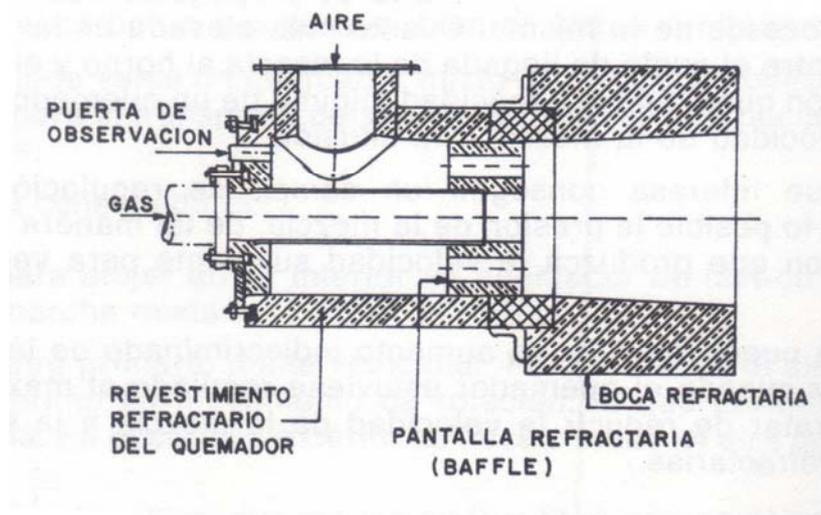
El aire penetra por una serie de pequeños orificios que rodean al chorro de gas, que sale a su vez de un orificio central.

A continuación se proyecta a gran velocidad contra la vena gaseosa, produciendo una llama corta e intensa. La característica de este aparato es su posibilidad de quemar sin retornos de la llama y en un campo de regulación muy amplio, hasta un máximo de 1:20. El gas se introduce a una presión que oscila entre los 25 y 150 mm c.a, y el aire entre los 125 y 200 mm c.a.

Una variante de este tipo (figura 3.4.) es apropiada para funcionar con aire precalentado hasta 500° C. Una pantalla refractaria con orificios concéntricos a la tobera contribuye a uniformizar la distribución del aire.

Existen otros tipos de quemadores con amplio campo de regulación, en donde la variación de carga se consigue seccionando el quemador, es decir, cerrando los conductos de paso del aire cuando se reduce el caudal de gas. Con esto se logran grandes velocidades de mezcla, incluso a baja potencia.

Figura 3.4. Quemador con pantalla refractaria (Bloom)



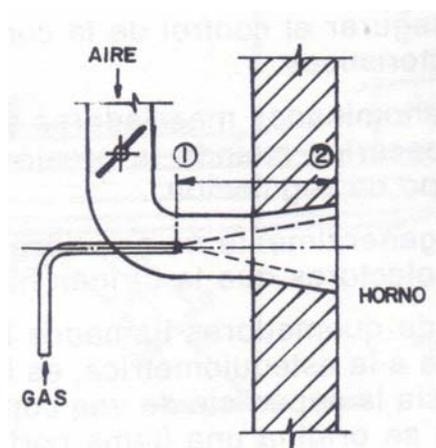
3.3.5. Quemadores de premezclado parcial.

Cuando la mezcla aire-gas se produce inmediatamente antes de la boca refractaria, el quemador se denomina “de premezclado por tobera” (nozzle-premix).

En la figura 3.5. se ha esquematizado un quemador de este tipo que, como puede apreciarse supone un intermedio entre los quemadores de premezclado total y los de premezclado parcial.

El trayecto 1-2 del cono de mezcla puede variar según el grado de premezclado que se desee; además, la mezcla se hará más rápidamente si la velocidad del gas es mayor que la del aire. Con iguales conductos de aire, cambiando las toberas del gas y variando de sitio al cono, se pueden conseguir diferentes tipos de llama.

Figura 3.5. Esquema de quemador con premezclado en tobera



3.3.6. Quemadores con premezclado total.

Los quemadores con premezclado en la tobera no resultan adecuados para producir mezclas controladas en un amplio campo de regulación, ya que tienden a formar una atmósfera poco uniforme, debido al poco espacio de que disponen para la mezcla.

Los quemadores con premezclado representan la categoría más difundida de quemadores industriales de gas: generalmente son capaces de producir todo tipo de mezclas mediante la simple regulación del aire y del gas. Con el premezclado total se consigue la liberación de calor más uniforme, o, lo que es lo mismo, el menor volumen de combustión para una determinada capacidad.

El premezclado total del gas y del aire se puede conseguir con diferentes métodos: los dos fluidos pueden llegar al quemador a través de dos conductos diferentes y mezclarse poco antes del punto de salida, o bien mezclarse en un compresor. Incluso uno de los componentes se puede utilizar para aspirar al otro.

En todos los quemadores con premezclado es esencial evitar que la corriente gaseosa entre en la cámara de combustión a una velocidad inferior a la propagación de la llama, ya que de otra forma se producirían retrocesos de la misma. Cuanto más elevada es la velocidad de la mezcla, mayor será la distancia entre el punto de llegada de la mezcla al horno y el punto en que comienza la combustión. La condición que limita la capacidad mínima de un quemador es la que corresponde a la igualdad entre la velocidad de la mezcla y la difusión.

En los casos en que interesa conseguir un campo de regulación bastante amplio, es conveniente aumentar en lo posible la presión de la mezcla, de tal manera que se conserve, con la carga mínima, una presión que produzca la velocidad suficiente para vencer el retroceso de la llama.

Por otra parte, no se puede realizar un aumento indiscriminado de la presión, puesto que la llama podría desaparecer cuando el quemador estuviese regulado al máximo de su potencia. En consecuencia, hay que tratar de reducir la velocidad de la mezcla a la salida, dirigiéndola, por ejemplo, hacia paredes refractarias.

Una clase de quemadores muy difundida es la que utiliza la energía de uno de los componentes de la mezcla para que ésta se lleve a cabo. Este tipo, basado en el concepto clásico del quemador Bunsen, se produce con el nombre industrial de inspirador o mezclador de Venturi. En él se utiliza la energía cinética del gas para arrastrar el aire primario proporcionalmente al caudal del gas. No es necesario, por tanto, que el aire de combustión esté a presión, y por esta razón se les denomina quemadores atmosféricos.

Generalmente, los inspiradores se utilizan en hornos que presentan una ligera depresión, la presión que existe en el horno influye sobre la capacidad y las características del aparato. Un horno a presión reduce la capacidad del inspirador y aumenta las posibilidades del retorno de la llama, mientras que un tiro suave aumenta la capacidad y retrasa dicho retorno.

El campo de regulación de los inspiradores se ve limitado por tener que aspirar grandes volúmenes de aire con un pequeño volumen de gas. Generalmente, con los gases naturales de combustión lenta puede haber inestabilidad o retorno de la llama a una presión inferior de 6mm c.a., y con los gases de combustión rápida a menos de 10-12 mm.

El inspirador es un quemador sencillo y económico, de fácil manejo, especialmente indicado para los casos en que se haga necesario subdividir el caudal total del gas en muchas llamas. Por otra parte, en ellos no se puede asegurar el control de la combustión y la regulación de la llama para conseguir determinadas características.

En otro tipo de quemadores, denominados mezcladores adaptadores, se utiliza la presión del aire para arrastrar el gas; son necesarios cuando la presión del gas disponible es muy baja o cuando se requiere un amplio campo de regulación.

Los mezcladores adaptadores generalmente no se utilizan para alimentar un solo quemador, sino que introducen la mezcla en colectores que la dirigen hacia bancos de quemadores.

Finalmente existen otros tipos de quemadores llamados irradiantes, en los que la mezcla de aire y de gas, en proporción próxima a la estequiométrica, es impulsada a gran velocidad, a través de unos orificios muy pequeños, hacia la superficie de una copa de material refractario de elevado punto de fusión. Sobre dicha pared se origina una llama corta e intensa y el refractario se pone incandescente, irradiando calor.

A pesar de la denominación de quemador radiante no hay que pensar que es la radiación del refractario la que origina la mayor parte del calor. Se ha demostrado experimentalmente que la parte de calor radiado por la estructura refractaria es sólo una fracción (10 por 100) del calor total liberado por el quemador por radiación y convección; este porcentaje se logra cuando el quemador funciona al mínimo de su potencia, puesto que al máximo es más bajo, por la contrairradiación que procede de la cámara de combustión.

3.4. Características del quemador.

3.4.1. Turndown.

La proporción de “turndown” del quemador es el rango de las velocidades de entrada en las cuales un quemador operará. Esto es normalmente considerado de ser la proporción de máxima a mínima razón de entrada con la cual el quemador operará satisfactoriamente.

En muchos casos, la mínima razón de entrada para un quemador dado está fijada, y la proporción de “turndown” es entonces determinada por la demanda de diseño máxima.

En el caso de un quemador de premezcla, la razón mínima de entrada está algunas veces limitada por el fenómeno conocido como retroceso de la llama, la cual ocurre cuando la velocidad de la llama excede de la velocidad de la mezcla.

3.4.2. Estabilidad e ignición.

Esta característica de un quemador es muy importante para una operación segura. Un quemador estable es aquel que mantendrá la ignición a lo largo del rango de presiones, velocidades de entrada, y proporciones de combustible-aire usados normalmente.

La ignición del combustible en el quemador es normalmente llevada a cabo acelerando una reacción de oxidación por medio de la adición de una fuente externa de calor hasta que la reacción libera calor por sí misma más rápidamente que el calor que es perdido a los alrededores; esto es, que el combustible continuará inflamándose a sí mismo sin la fuente de calor externa.

La temperatura es solo una de las “3T”: temperatura, tiempo y turbulencia, todas ellas gobiernan la velocidad de quemado después de la ignición del combustible.

El nivel de temperatura, que sigue a la iniciación de la combustión, directamente gobierna la velocidad o tiempo de quemado si todos los otros factores son fijados. Si el grado de turbulencia es constante, pero si la turbulencia es aumentada las razones de la reacción de quemado aumentan en concordancia con la turbulencia aumentada y la temperatura de combustión resultante es elevada debido a la proporcionalmente menor transferencia de calor (radiación) frente a la liberación de calor durante el proceso de combustión. Así, el quemado de los combustibles progresa a una velocidad de acuerdo con los efectos de las “3T” de la combustión.

Una vez la ignición se ha conseguido, el diseño del quemador debe ser tal que la ignición es mantenida incluso en ambientes fríos por lo que la estabilidad del quemador es provista. Quemadores “tile-stable” (de bloque estable) han sido desarrollados para mantener la ignición en cámaras frías con la ayuda de sus propias líneas de refractario.

El quemador convencional es diseñado para prevenir que los productos de la combustión completa se recirculen en el bloque del quemador y que rodeen la raíz de la llama con la atmósfera fría que es baja en oxígeno.

El difusor o cono del quemador acrecienta la estabilidad o la capacidad del quemador de sustentar la llama. Este tipo de sustentador de llama es normalmente referido como un “bluff body”.

Los quemadores de premezcla presentan un tipo diferente de problema de estabilidad. El enfriamiento puede ser requerido con un quemador de premezcla para prevenir el retroceso de la llama (“flashback”), una forma de inestabilidad.

En resumen, la estabilidad de la combustión es conseguida manteniendo la temperatura mínima de ignición de una mezcla que está entre los límites de inflamabilidad como mínimo en una base localizada. Esta condición debe ser mantenida sobre un amplio rango de velocidades de calentamiento y las proporciones de combustible-aire sin considerar la temperatura en los alrededores. Además, la velocidad de propagación de la llama, la cual es una función de muchos puntos tales como la mezcla, temperatura, y proporción combustible-aire, deben ser mantenidas en balance con la velocidad de la mezcla combustible-aire.

La estabilidad de un quemador es mejor definida mediante pruebas, primero en la prueba facilitada por el vendedor y otra vez después de la puesta en marcha del horno. Las pruebas deberían ser hechas con combustibles representativos si es posible. De lo contrario, las correcciones para responder de las diferencias en la velocidad de ignición y los límites de inflamabilidad deberían ser hechas y evaluadas.

La operación inestable puede ser indicada por la purga de la llama, el retroceso de la llama, posición pulsante de la llama, o la salida de la llama. A altas cargas la causa más común de inestabilidad es el aire de combustión inadecuado. El hidrógeno u otros componentes de la alta velocidad de ignición en un combustible gaseoso acrecentarán la estabilidad y aumentará el rango de “turndown”.

Las pruebas deberían ser hechas en una cámara de combustión fría en baja carga (puesta en marcha) o en cargas altas. Las pruebas de emisiones pueden ser hechas concurrentemente. Las pruebas ayudarán a definir la alarma de la presión baja del combustible y los valores de desconexión; éstos deberían ser confirmados en la unidad de operación.

3.4.3. Forma de la llama.

Para cambios en el quemador dado, en las variables de operación, tales como la temperatura del aire de combustión, la presión de descarga del combustible gaseoso, o la cantidad de aire primario, afectará a la forma de la llama.

El diseño del quemador tiene un mayor efecto en la forma de la llama que la variación en las variables de operación.

Con quemadores de tiro natural el diámetro de la llama es normalmente estimado como de 2 a 2,5 veces el diámetro del bloque. Las longitudes de la llama variarán significativamente con la composición del combustible y el tipo de quemador pero una estimación inicial sería de 1 a 2 pies por millón de Btu/hr liberados.

3.4.4. Mezcla combustible-aire.

Una buena mezcla del combustible y el aire es importante para asegurar que la mezcla será uniforme por todas partes.

Hay dos fuentes de energía que están disponibles para conseguir la mezcla. Estas fuentes de energía son la presión de aire disponible, o la pérdida de tiro a lo largo del quemador, y la energía del combustible descargando en la corriente de aire.

La energía del combustible es extremadamente importante si el quemador es una unidad de tiro natural o de baja caída de presión de aire. Si el quemador es de tiro forzado y utiliza una alta caída de presión de aire, entonces la energía del combustible se hace menos importante y la alta corriente de energía de aire puede ser la fuente de energía dominante para la consecución de la mezcla apropiada.

3.5. Términos del quemador.

3.5.1. Capacidad del quemador.

Es la cantidad de liberación de calor que el quemador puede dar, es decir, la cantidad de combustible que puede ser quemada completamente a través del quemador, en un conjunto de condiciones de operación.

3.5.2. Retroceso de la llama.

El fenómeno sólo ocurre en los quemadores de gas de premezcla cuando la velocidad de la llama supera la velocidad de flujo de la mezcla gas-aire que va hacia el casquillo de gas. La llama retrocede al orificio del gas y puede hacer un sonido explosivo cuando ocurre el retroceso de llama. El retroceso de llama es más común cuando el contenido en hidrógeno del gas combustible es elevado.

3.5.3. Baldosa del quemador.

También llamado “Muffle Block” (bloque envolvente) o “Quarl”. Son las piezas de refractario especialmente formadas, las cuales se montan alrededor de la entrada del quemador dentro del horno. El bloque del quemador forma la entrada del flujo del aire del quemador y ayuda a estabilizar la llama.

3.5.4. Quemador.

Un aparato el cual combina el combustible y el aire en proporciones adecuadas para la combustión la cual permite que la mezcla combustible-aire se quemestablemente para dar un tamaño y forma de llama específica.

3.5.5. Mezclador gas-aire.

La parte de un quemador de premezcla que usa la energía cinética de alta velocidad de la corriente de gas combustible para arrastrar parte de o todo el aire requerido por el quemador para la combustión.

3.5.6. Atomizador.

Parte de un lanzador neumático de aceite el cual rompe el flujo de combustible líquido en partículas diminutas por medios tanto mecánicos como por el uso de un medio atomizante. El aceite y el medio atomizante se mezclan en el atomizador y entonces fluye hacia el casquillo del aceite para ser descargada dentro del horno.

3.5.7. Aire en exceso.

La cantidad de aire necesario por el quemador que está en exceso de la cantidad requerida para la combustión perfecta o estequiométrica. Alguna cantidad del exceso de aire, dependiendo de la energía de la mezcla combustible/aire disponible, es requerida para asegurar a través de la mezcla de combustible y aire la combustión completa.

3.5.8. Casquillo de gas.

La parte del quemador que descarga el gas combustible por medio de una o más aberturas en el horno. El tamaño, arreglo y disposición angular de las aberturas del casquillo tiene un mayor efecto en el tamaño y forma del fuego.

3.5.9. Poder calorífico.

El valor calorífico superior o bruto (HHV o GHV) incluye el calor de condensación del agua formada durante la combustión. El valor calorífico inferior o neto (LHV o NHV) omite el calor de condensación del agua.

3.5.10. Calor liberado.

Es la cantidad de calor liberada durante la combustión de los combustibles. Es uno de los criterios para determinar que quemador usar en una aplicación.

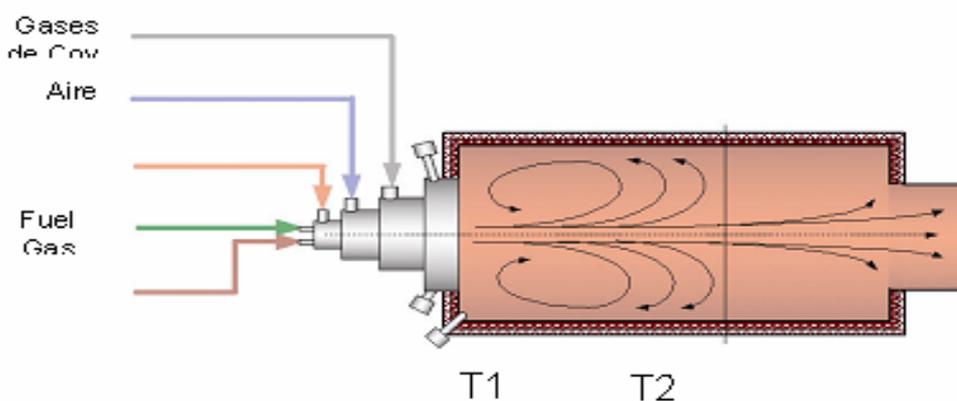
3.6. Quemador aconsejado.

Los fluidos (gases residuales, gas natural, aceites usados,...) entran en el quemador mediante unos tubos concéntricos.

La clave para la completa destrucción es la adecuada e intensa mezcla a nivel del quemador. Los fluidos se mezclan en una cámara de agitación, localizada en la salida del quemador.

La mezcla es rociada mediante inyección a alta velocidad en la cámara de combustión. El chorro de mezcla entra en una zona de baja presión en el interior del quemador y se produce una recirculación interna de los gases de combustión. Esta recirculación alcanza una temperatura homogénea dentro de la cámara y un tiempo de residencia óptimo; como consecuencia, las emisiones de CO son muy bajas (ausencia de zonas de baja temperatura), así como las emisiones de NO_x (ausencia de zonas de alta temperatura) y por tanto, la eficacia de la oxidación es muy elevada (superior a 99,9999%).

Como el PCI de la mezcla no es alto y como existe una recirculación de gases interna importante, el proceso de combustión es una oxidación térmica “en masa” y sin llama visible. Además y al contrario de un quemador tradicional, la zona de máxima temperatura no está en la zona del quemador (T1) sino en la zona (T2) evitando que se produzcan cortocircuitos de gases.



Está prevista la futura entrada de un combustible alternativo tal como aceite usado, fuel que permita reducir el coste de explotación mediante la utilización de un combustible más económico.

Datos de diseño:

- Presión entrada de Fuel gas : 1,5 Kg/cm² (m)
- Caudal de Fuel gas : 380 Kg/h a 760 Kg/h
- Temperatura de Fuel gas : 40 °C
- Caudal de gases : 30 000 Kg/h
- Presión de gases : 0.9 Kg/cm² (m)
- Temperatura de gases : 180°C
- Presión de aire de combustión : 1 Kg/cm²(m)

- Caudal normal de aire de comb. : 880 Kg/h
- Piloto : Fuel gas
- Presión de gas piloto : 1,5 Kg/cm² (m)
- Temperatura de fuel gas piloto : 40 °C
- Temperatura de aire piloto : 180°C
- Control de quemador : modulado
- Control de llama : FR° o UV
- Detector de llama : Si

El quemador es equipado con :

- Tren de F.Gas con todas las válvulas, instrumentos y controles y seguridades.
- Válvula
- Filtro
- Válvula control de presión
- Manómetro
- Controlador de presión (min presión)
- Presostato
- Válvula de corte de accionamiento neumático.
- Manómetro
- 2 Válvulas piloto
- Pintura en colores normalizados internacionalmente

Generalidades

- El nivel de ruido es de 85 dB(A) a 1 m de distancia
- La instalación completa está construida bajo normas europeas (no en zona clasificada en el aire de la línea de gas)

3.7. Generalidades de las cámaras de combustión.

Un Oxidador Térmico sencillo está compuesto por un quemador y por una cámara de combustión y no incluye ninguna recuperación de calor del aire de escape por medio de un intercambiador de calor (a este tipo de oxidador se le refiere como un oxidador recuperativo).

El corazón del Oxidador Térmico es una flama estabilizada por una tobera mantenida por una combinación de combustible auxiliar, compuestos gaseosos de desecho, y aire suplemental añadido cuando sea necesario.

Mientras pasa a través de la flama, el gas de desecho es calentado desde su temperatura precalentada de entrada hasta su temperatura de ignición. La temperatura de ignición varía para diferentes compuestos y por lo general se determina empíricamente.

Esta es la temperatura a la cual la velocidad de reacción de la combustión excede la velocidad de las pérdidas de calor, elevando la temperatura de los gases a algún valor mayor. Por tanto, cualquier mezcla orgánica/aire se encenderá si su temperatura es elevada a un nivel suficientemente alto (Ref. EPA, 1996a).

El nivel requerido de control del gas de desecho que debe ser alcanzado dentro del tiempo que éste pasa en la cámara de combustión termal, dicta la temperatura del reactor.

Cuanto más corto sea el tiempo de residencia, más alta deberá ser la temperatura del reactor. El tiempo de residencia nominal del gas de desecho reaccionando en la cámara de combustión se define como el volumen de la cámara de combustión dividido por la velocidad del flujo volumétrico del gas.

La mayoría de las unidades térmicas están diseñadas para proporcionar no más que un segundo de tiempo de residencia al gas de desecho con temperaturas típicas de 650 a 1100 °C (1200 a 2000 °F). Una vez que la unidad es diseñada y construida, el

tiempo de residencia no se cambia fácilmente, de manera que la temperatura de reacción requerida se vuelve una función de la especie gaseosa en particular y del nivel de control deseado (Ref. EPA, 1996a).

Los estudios basados en datos reales de pruebas de campo, demuestran que los incineradores comerciales deben ser operados generalmente a 870 °C (1600 °F) con un tiempo de residencia nominal de 0,75 segundo para asegurar el 98% de la destrucción de los orgánicos no halogenados (Ref. EPA, 1992).

A la hora de diseñar una cámara de combustión tenemos que tener muy en cuenta estos parámetros:

Temperatura: Esta debe ser mayor que la temperatura de auto-inflamación de los contaminantes. Generalmente la temperatura de combustión suele estar entre los 700°C y 1000°C.

Tiempo de residencia: Es necesario para un buen contacto entre el gas y el O₂. Generalmente se requieren tiempos de residencia de 0.3 a 2 segundos para rendimientos superiores al 90%.

Turbulencia: Es difícil de medir, depende del tamaño y medida de la cámara de combustión y del tipo y disposición del quemador.

Son muy importantes también la demanda de combustible y de oxígeno.

3.8 Generalidades de los quemadores piloto.

Los quemadores piloto son quemadores pequeños usados para iniciar el encendido de los quemadores principales, algunas veces para estabilizar las llamas del quemador principal, y como un dispositivo resguardante.

En el último papel, el piloto actúa para inflamar cualquier combustible que pueda pasar a través de válvulas nominalmente cerradas y evitar las acumulaciones de gas explosivo.

Los quemadores piloto en hornos con cámara de combustión de presión negativa o en tiro natural son normalmente quemadores inspirantes o de premezcla. Como tales demostrarán similares características a las discutidas para los quemadores de premezcla.

Para cámaras de combustión presurizadas es recomendado que el aire del piloto sea suministrado desde el suministro de aire comprimido de la planta para que asegure llamas piloto estables.

El taponamiento o ensuciamiento es el principal problema de la mayoría de los pilotos, este puede ser evitado utilizando una corriente de gas natural o un hidrocarburo gaseoso muy limpio como combustible piloto.

3.9 Quemador piloto aconsejado.

El quemador piloto aconsejado será de la marca Cinclus o similar.

El combustible auxiliar de puesta en marcha es fuel gas. El piloto lleva incorporado un detector de llama por electrodo de U.V.

3.10. Mantenimiento de los quemadores.

Los siguientes puntos deberían ser comprobados con el diseño original para asegurar la operación apropiada del quemador para las actuales condiciones de operación:

- Presión del combustible.
- Características combustibles: valor calorífico, composición, contenido de azufre, etc.
- Tamaño del quemador: liberación de calor máxima.
- Condición de “turndown”.

3.11. Generalidades de los aislamientos.

Los constantes aumentos de los precios de la energía han obligado a que en la mayor parte de las instalaciones y plantas industriales que se proyectan, se reconsideren y tengan en cuenta aspectos que, aplicados, signifiquen un ahorro desde el punto de vista energético.

El problema de aislar se puede enfocar bajo dos aspectos:

- 1) Limitar el calor disipado prescindiendo del costo del material.
- 2) Conjuguar el ahorro de calor por pérdidas con la amortización de la inversión del material.

Los refractarios tienen por objeto conservar la energía calorífica necesaria para que se produzcan reacciones a elevada temperatura en los hornos o cámaras de combustión.

Las pérdidas caloríficas producidas por roturas en el refractario son la causa por lo general, de grandes pérdidas económicas, de ahí la importancia de seleccionar un material refractario con una vida en servicio adecuada.

Los refractarios principales sirven para proteger y aislar la estructura del oxidador de las condiciones de la cámara de combustión, así como para mejorar la utilización del combustible y el funcionamiento del incinerador.

Tipos y material de aislamiento.

- Ladrillo refractario y ladrillo refractario aislante.
- Moldeado
- Plástico
- Fibra cerámica
- Aislamiento de “backup”

3.12. Operaciones del oxidador (encendido, apagado, op. Normal).

El oxidador térmico diseñado (OTR-OT-001) dispone de un cuadro de control en la Planta.

El cuadro consta de:

- botón encendido/apagado
- testigos luminosos: verde → on
rojo → off
- interruptor general
- botón de ignición
- testigo luminoso del detector de llama: naranja → on

La puesta en marcha se realiza mediante el botón de ignición, anteriormente se ha alineado el circuito de fuel gas a piloto, el ignitor enciende la chispa en el piloto.

Cuando se forma la llama, el detector de llama manda una señal al panel y al enclavamiento que acciona las válvulas de corte de la corriente de fuel gas a quemador.

ANEXO IV

INSTRUMENTACIÓN.

Índice:

4.1. Medidas de proceso	115
4.1.1. Consideraciones generales.....	115
4.1.2. Medidas de temperatura	118
4.1.3. Medidas de presión.....	123
4.1.4. Medidas de caudal	129
4.2. Válvulas.....	133
4.4.1. Válvulas de control.....	135
4.4.2. Listado de instrumentos utilizados	139

4.1. Medidas de proceso.

A continuación indicaremos aquellas variables cuya medida y control son imprescindibles, es decir, estrictamente necesarias para el óptimo funcionamiento de la Planta de Oxidación, así como la instrumentación mínima necesaria que conlleva.

4.1.1. Consideraciones generales.

El objetivo de las medidas a realizar en un proceso, es la de recoger valores actuales del mismo, y además en un formato aprovechable por el sistema de control aplicado.

El término “variable medida” o “variable de proceso” designa a la condición del proceso que se va a determinar.

Fundamentalmente distinguimos dos tipos de medidas, las discretas y las continuas, siendo las últimas las de interés, ya que básicamente las medidas discretas encierran una decisión si/no, siendo las continuas las que pueden hacer necesario un procesamiento de la señal considerable.

Los componentes de un sistema de medición continua son los siguientes:

- **Sensor:**

Es el componente que produce una señal que relaciona se de alguna manera con la variable de proceso de interés.

Hoy en día se utilizan principalmente los de tipo analógico, y su señal es en forma de voltaje, de resistencia, de capacitancia o de cualquier otra cantidad eléctrica medible.

- **Procesamiento de la señal:**

Fundamentalmente el procesar la señal no es más que linealizar la relación de la misma con la variable de proceso a medir.

Además la señal que proviene del sensor puede verse afectada por otras variables diferentes a las del proceso, luego también se deberán medir dichas variables a fin de compensar la señal del sensor.

- Transmisor:

La salida del instrumento de medida debe ser una señal que se pueda transmitir a cierta distancia.

Por ejemplo, si utilizamos una transmisión analógica, el rango inferior de salida del transmisor será de 4 miliamperios, y el rango superior de 20 miliamperios.

Es de interés primordial que se cumplan propiedades como la repetibilidad y precisión.

Ahora daremos un criterio general de selección de instrumentos de medida:

- 1) Intervalo de medida.

El intervalo de medida requerido por la variable medida debe situarse por completo dentro de la zona de funcionamiento del instrumento.

- 2) Rendimiento.

Dependiendo de la aplicación, es conveniente alguna medida del rendimiento como precisión, repetibilidad u otras. Cuando se contemple la utilización de lazo cerrado, se debe incluir la velocidad de respuesta.

- 3) Seguridad.

Los datos suministrados por los fabricantes se pueden expresar de varias formas y varias condiciones de referencia. A menudo la experiencia, previa con el instrumento de medida dentro de la organización compradora tiene un peso importante.

4) Materiales de construcción.

El instrumento debe de resistir las condiciones de proceso a las que se ve expuesto. Esto comprende consideraciones como las temperaturas de operación, presiones de operación, corrosión y abrasión.

Para algunas aplicaciones pueden ser necesarios sellos o purgas.

5) Primer uso.

Para la primera instalación en una planta de un instrumento de medida específico, podría ser necesario el entrenamiento del personal de mantenimiento y la compra de material de repuesto.

6) Potencial para liberar materiales del proceso al medio ambiente.

Las emisiones fugitivas reciben cada vez una mayor atención. Son especialmente importantes las consideraciones de exposición, tanto instantáneas como a largo plazo, para el personal de mantenimiento cuando el fluido de proceso es tanto corrosivo como tóxico.

7) Clasificación eléctrica.

El artículo 500 del Código Eléctrico Nacional proporciona las guías para la clasificación de la naturaleza del peligro del área de proceso en el que el instrumento de medida va a ser instalado. Si el instrumento de medida no es inherentemente compatible con esta clasificación, se deben comprar protecciones e incluirlas en los costes de instalación.

8) Acceso físico.

A continuación de la instalación, el personal de mantenimiento debe tener acceso físico al instrumento de medida para la calibración y mantenimiento del mismo. Se necesita instalar estructuras adicionales, se deberán incluir en los costes de instalación.

9) Coste.

Debemos tener en cuenta los costes iniciales y los costes recurrentes.

4.1.2. Medidas de temperatura.

La temperatura es la variable mas utilizada en el control de procesos.

La demanda mundial de instrumentos de temperatura ronda los 3000 millones de dólares anuales. Como consecuencia de ello se ha desarrollado una gran variedad de técnicas e instrumentos de medida.

TERMOPAR

Uno de los dispositivos que se utilizan en este proyecto para medir la temperatura, es el termopar. Estos se basan en la propiedad física entre uniones de dos metales diferentes. Formando un circuito cerrado, se genera una corriente eléctrica cuando dichas uniones se encuentran a diferentes temperaturas, dependiendo la citada corriente de la diferencia de temperaturas y de la naturaleza de dichos metales.

En la figura 4.1 podemos ver un ejemplo de dicho dispositivo.

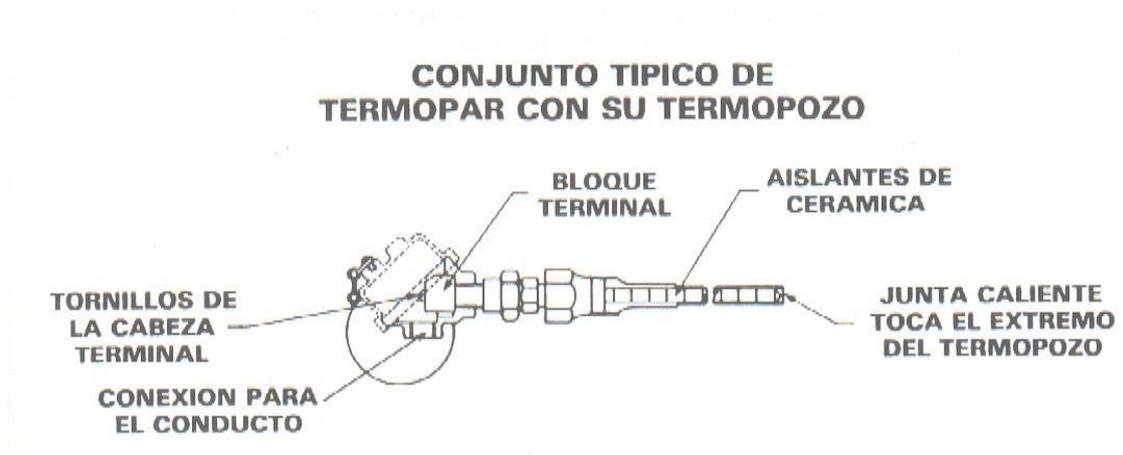


Figura 4.1

Así pues, si mantenemos la temperatura a 0°C de una de las uniones tomándola como referencia, el valor del voltaje entre las dos uniones puede indicar el valor de la temperatura de la otra unión.

TIPOS DE TERMOPARES:

Existen varias combinaciones de metales para conseguir la formación de termopares, pero son generalmente aceptadas las siguientes combinaciones designadas según recomendaciones I.S.A. (Instrumental Society of America):

- Tipo T, compuesto por cobre y constantán.
- Tipo J, compuesto por hierro y constantán.
- Tipo K, compuesto por cromel y alumel.
- Tipo R, compuesto por platino y 13% de rodio.
- Tipo S, compuesto por platino y 10% de rodio.

Decir que el constantán es una aleación de cobre y níquel desarrollada al efecto de la compañía Hoskins.

El cromel y el alumel, son respectivamente aleaciones de níquel-cromo y níquel-aluminio.

El termopar T es un sensor bastante preciso y económico, con gran resistencia a la corrosión, adecuado para medir temperaturas entre 200 y 250°C, en ambientes tanto oxidantes como reductores, como vemos este no es el termopar adecuado para nuestro proyecto ya que las temperaturas a controlar sobrepasan las anteriormente citadas.

El termopar J, compuesto por un hilo de hierro y otro de constantán, es adecuado para rangos de temperatura entre 0 y 750°C, pero tiene el inconveniente de que el hierro es fácilmente oxidable, por lo que debemos tener cuidado en su aplicación, de la misma manera que antes y por sus problemas debido a posible corrosión, tampoco aplicaremos dicho termopar a nuestro sistema de control.

El termopar K es un sensor de muy buenas características frente a la oxidación, siendo su rango normal de operación en la industria entre 0 y 1300°C, y recomendado un rango de entre 600 y 1000°C, con lo cual será el tipo de termopar que utilizaremos.

Finalmente los termopares R y S, formados por un hilo de platino y otro de platino-rodio, son similares, diferenciándose en el porcentaje de rodio.

Representan el termopar básico por excelencia, usado para definir la Escala Internacional de Temperaturas; los otros termopares son soluciones que se han buscado, más económicas o para mejorar la sensibilidad en la parte baja de la escala.

El tipo R se introdujo hace años como consecuencia de los errores que causaban las impurazas del platino, pero hoy en día es más fácil producir platino puro, por lo que se emplea prácticamente el tipo S.

Además de estos termopares, que podríamos decir que son los más comunes, últimamente se han desarrollado otros tipos que proporcionan mejores sensibilidades, rangos o resistencias a la corrosión o son más adecuados para ciertas aplicaciones.

Un ejemplo de ello es el termopar tipo W, también designado a veces como C, compuesto por dos aleaciones diferentes de wolframio y renio (un hilo contiene 5% de

renio y el otro un 26%), siendo su rango de aplicación entre 0 y 2800°C en atmósferas inertes y en vacío, y nunca en oxígeno libre.

Como conclusión, podemos decir que debido a las razones expuestas anteriormente hemos seleccionado el termopar tipo K, cuyo rango de aplicación está entre 0 y 1300°C, siendo éstos de gran sensibilidad, precisión y de respuesta rápida, como inconvenientes presenta su posible afección de corrosión, para lo cual sería una compensación la soldadura fría.

TERMÓMETROS

Termómetro de dilatación:

Los más populares son los de vidrio, constituidos por un depósito y un tubo capilar que contiene un líquido como mercurio o alcohol, el cual al calentarse se dilata y expande por el capilar hasta un determinado punto que indica la temperatura medida.

Al ser la banda útil de uso de estos termómetros entre 196 y 500°C, no mencionaremos más características de los mismos al no ser de aplicación en el presente proyecto.

Termómetro de resistencia:

La técnica de estos medidores de temperatura se basa en el hecho de que algunos elementos dejan pasar con mayor o menor facilidad, una corriente eléctrica cuando varía la temperatura.

Dentro de este tipo de medidores podemos destacar los de resistencia metálica y los termistores como los más comunes.

Las resistencias metálicas constan de un detector que posee un metal muy puro, enrollado alrededor de un soporte cerámico o de vidrio. Los metales más usuales son el

platino, disponible comercialmente en estado bastante puro, el níquel, el cobre o una aleación de aluminio y cobalto.

Por el mismo motivo que anteriormente aplicábamos, no continuamos las explicaciones ya que su rango de aplicación para medir temperatura es insuficiente al que se necesita en este proyecto.

Los termistores son de uso no industrial, son de uso a nivel de laboratorio, luego tampoco son aplicables.

PIRÓMETROS

Estos son unos aparatos que miden la temperatura de un cuerpo a distancia, basándose en el principio de que todas las sustancias a cualquier temperatura por encima del cero absoluto radian energía como resultado de la agitación atómica asociada con su temperatura.

Así pues, un pirómetro de radiación consiste en un sistema óptico que recoge la energía radiada y la concentra sobre un detector, el cual genera una señal proporcional a la temperatura.

Por cada temperatura, la mencionada energía se emite normalmente mediante ondas electromagnéticas de diferente longitud, predominando la intensidad más en unas que en otras. A temperaturas bajas, la energía radiante es principalmente de longitud de onda relativamente larga, y al subir la temperatura la intensidad aumenta, pero la longitud de onda se acorta, lo que explica el cambio de color que experimenta un cuerpo al aumentar su temperatura, pasando del rojo al blanco o incluso al azul.

En las técnicas de pirometría, solamente se emplean las longitudes de onda por debajo de las 20 micras y se procura trabajar en el espectro que tenga mayor intensidad, bien seleccionando un detector adecuado o un filtro adecuado.

La energía radiante emitida depende, como hemos visto, de la temperatura, pero resulta que también depende del estado de la superficie del cuerpo.

Esto plantea la necesidad de definir un radiador ideal, llamado “cuerpo negro”, el cual tiene la propiedad de emitir el máximo de energía por unidad de superficie, a una temperatura dada.

De dicha definición se desprende que, en las aplicaciones reales, la energía emitida será siempre menor, por lo que, al hacer una medida con un pirómetro calibrado en condición de “cuerpo negro”, habrá que introducir un factor de corrección por emisividad, definido como la relación entre la energía emitida por el cuerpo real y el “cuerpo negro”.

La emisividad de los cuerpos reales va desde el 0.35 del inoxidable, y los metales pulidos, al 0.95 del acero sin desbastar o de la pintura mate.

De todo lo mencionado hasta ahora se podría deducir que las medidas con los pirómetros son excesivamente complicadas, de hecho solamente se emplean cuando no se pueden usar los termopares, normalmente cuando la temperatura a medir está fuera de rango de los mismos. De ahí que hayamos seleccionado el uso de termopares entre otras razones.

4.1.3. Medidas de presión.

La presión, además de ser una de las variables de procesos más utilizadas en el control de los mismos, es sin duda la más importante de todas.

Por sí misma y porque a partir de ella se pueden obtener otras variables tan importantes como el caudal, la densidad y el nivel. Una prueba de la importancia de ella, es que los sensores que miden esta variable son los responsables de más del 20% del volumen de ventas del mercado global de los instrumentos de medida.

Esto ha contribuido al desarrollo de una gran variedad de captadores de esta magnitud.

Distinguiremos dos elementos básicos, los sensores y los transmisores de presión.

SENSORES

Los elementos mecánicos de dichos sensores son dispositivos que permiten la conversión de la señal de presión en una señal de desplazamiento o deformación, que nos permiten su medición.

En el pasado formaban parte de otros dispositivos más complejos, pero en la actualidad, en general, únicamente se reservan a elementos locales, como manómetros.

Existen diferentes tipos:

- La cápsula:

Que consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por una soldadura, de forma que al aplicar la presión se deforma y provoca un desplazamiento.

- El tubo bourdon:

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo, como se muestra en la figura 4.2.

MANOMETRO DE TUBO BOURDON

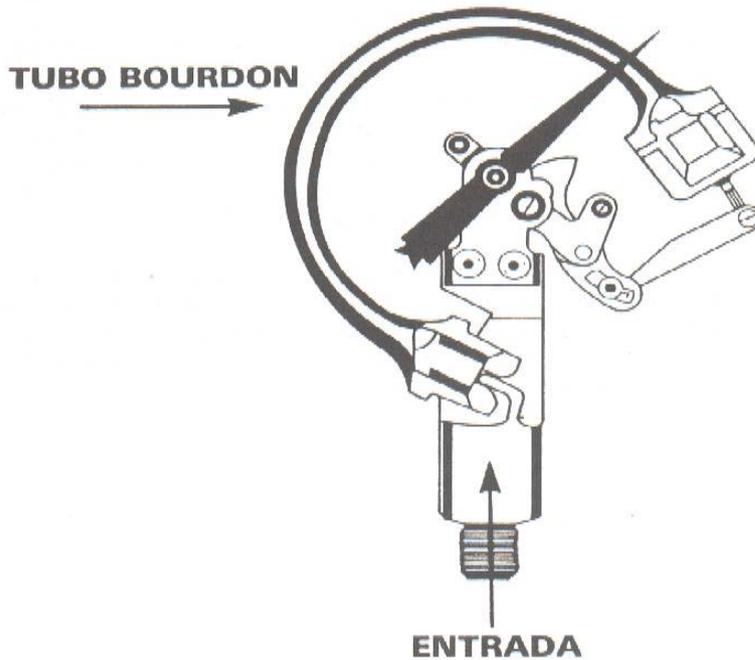


Figura 4.2

Al aumentar la presión en su interior tiende a enderezarse, lo cual provoca un movimiento.

- El fuelle.

Este dispositivo es parecido al diafragma de una sola pieza flexible axialmente y que puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

También destacaremos el grupo de sensores electro-mecánicos, que proporcionan una señal proporcional a la presión medida, que será tratada y, posteriormente, transmitida a los dispositivos encargados de su recepción.

Podemos mencionar cinco tipos distintos de estos sensores:

A) Sensores capacitivos:

Están basados en el principio del condensador diferencial, la presión a medir se transmite mediante dos membranas separadoras y un fluido adecuado a un diafragma sensor situado en el centro del conjunto, este diafragma se desplaza hacia un lado o hacia otro proporcionalmente a la presión diferencial a la que se encuentra sometido.

Las variaciones de capacidad se producen como consecuencia del movimiento del diafragma sensor.

B) Sensores de galga extensiométrico:

Se basa en la variación de longitud y diámetro y, por lo tanto, de la resistencia eléctrica que presenta la galga al estar sometida a una presión.

Dicha galga forma parte del puente de Wheatstone.

C) Sensores inductivos:

Son aquellos en los que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la tensión inductiva en el arrollamiento secundario. La diferencia de esta tensión es proporcional a la señal de presión de entrada.

D) Sensores piezoeléctricos:

Los transductores piezoeléctricos son materiales cristalinos, como el cuarzo o el titanato de bario, que al deformarse físicamente por la acción de una presión generan una señal eléctrica.

E) Sensores de semiconductor:

Se trata de aprovechar las propiedades eléctricas de los semiconductores que varían al estar sometidos a la acción de la presión.

TRANSMISORES

La señal que proporciona el sensor no es apta para el receptor.

Luego es preciso realizar un acondicionamiento de esta señal y transformarla en una señal eléctrica o neumática normalizada. Esta operación también puede ser realizada por medio de los transductores.

Dentro de los transmisores eléctricos de presión destacaremos los siguientes:

A) Transmisores analógicos de bajo coste:

Suelen ser de reducido tamaño y peso, ofreciendo en la actualidad prestaciones y estabilidad aceptables.

En la mayor parte de los casos no suelen ser reparables en su totalidad. Algunas de sus prestaciones y opciones están más limitadas que en equipos más sofisticados y de mayor precio, sin embargo es importante diferenciarlos de los transductores que constituyen una categoría bien distinta.

B) Transmisores analógicos convencionales:

Son los más conocidos y extendidos. Suele tratarse de modelos con gran implantación en el mercado y que disponen de una gran cantidad de opciones y posibilidades, permitiendo que su serie se pueda utilizar prácticamente en todas las aplicaciones de una planta.

Destacan fundamentalmente por su Intercambiabilidad de sus partes.

C) Transmisores inteligentes:

Son similares a los anteriores en cuanto a diversidad, opciones y flexibilidad, pero presentan importantes características adicionales.

En primer lugar, su electrónica es microprocesada, lo cual permite mejorar sustancialmente la calidad de la medida mediante correcciones de linealidad, deriva térmica, etc. Por otra parte, disponen de capacidad para comunicaciones digitales, lo que permiten verificarlos, interrogarlos y diagnosticarlos a distancia.

D) Transmisores de altas prestaciones:

No solo ofrecen alta precisión y error total probable muy reducido, sino también excepcional estabilidad, gran rangeabilidad, rápida velocidad de respuesta y todas las ventajas asociadas a la capacidad de comunicación de su electrónica inteligente.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

A continuación proponemos un criterio de selección para la elección de dichos transmisores:

1) Integración en planta:

En función del tipo de instalación a la que se destinen los transmisores, nos inclinaremos por unos o por otros, como en nuestro caso no se trata de un área donde se integren sistemas complejos, optaremos por transmisores de bajo coste.

2) Situación de la instalación:

Son importantes la situación geográfica de la planta como la ubicación de los transmisores dentro de ella, como nos encontramos en una atmósfera explosiva, dichos

transmisores deberán de traer consigo los correspondientes certificados de clasificación, además de considerar su situación de cara al mantenimiento del mismo.

3) Tipo de proceso:

El tipo de proceso condicionará los materiales de contacto con el mismo. Estos serán adecuados para soportar las condiciones de corrosión o abrasión.

4) Tipo de medida:

En plantas con lazos dinámicos, como caudal y presión, pueden requerirse instrumentos con elevada velocidad de respuesta.

5) Precisión:

Es evidente que cuanto más elevada sea la precisión de la medida mayor será la calidad del control de lazo donde se integre, decir que la precisión ofrecida dependerá en gran medida de la calidad del equipo utilizado para su calibración, que debe ser al menos cuatro veces superior a la del instrumento a ajustar.

6) Costes de mantenimiento:

Fruto de estudios de costes de mantenimiento realizados hasta ahora, se sabe que los transmisores de presión son los instrumentos responsables del mayor número de intervenciones en campo.

4.1.4. Medidas de caudal.

El caudal, definido como el volumen por unidad de tiempo en condiciones de temperatura y presión específica, se miden usualmente con medidores de desplazamiento positivo o de velocidad.

El término “medidor de desplazamiento positivo” se aplica a un dispositivo en el que el flujo se divide en volúmenes aislados medidos, en el que el número de llenado de estos volúmenes se cuenta de alguna manera.

El término de “medidor de velocidad” se aplica a todos los medidores de caudal por el que pasa el material sin dividirse en cantidades aisladas.

El movimiento del material se detecta casi siempre por medio de un elemento primario de medición, que activa un elemento secundario.

Ahora vamos a dar una clasificación de medidores de caudal, básicamente se compondrá de dos grupos: los medidores volumétricos y los másicos, siendo los primeros los de mayor interés en cuanto a su aplicación en nuestra instalación objeto de proyecto.

A) Medidores de caudal volumétrico:

- Medición de presión diferencial:
 - Placa de orificio.
 - Tubo ventura.
 - Tobera.
 - Tubo pitot.
 - Tubo Annubar.

- Caudalímetro de área variable.
- Caudalímetro de turbina.
- Caudalímetro de desplazamiento positivo.
- Caudalímetro tipo vortex.
- Medidores magnéticos.
- Medidores de caudal por ultrasonidos.

B) Medidores de caudal másico:

- Medidores basados en el principio térmico.
- Caudalímetro basado en la aceleración de Coriolis.
-

Para nuestra instalación aplicaremos una medición de caudal por presión diferencial, siendo la placa de orificio el dispositivo usado.

La medición de caudal a partir de la presión diferencial, está basada en el “Teorema de Bernoulli”, que expresa el principio de conservación de la energía, para un fluido moviéndose a través de una tubería horizontal y suponiendo que no existen fuerzas exteriores aportando energía.

$$\frac{v^2}{2g} + y + \frac{P}{\rho g} = \text{constante}$$

La placa de orificio es una placa metálica, generalmente de acero inoxidable, a la que se le ha practicado un orificio. La arista de dicho orificio debe ser viva para obtener una precisión en la medida de caudal.

El orificio practicado puede ser concéntrico, excéntrico o segmentado respecto del diafragma, pero para gases es indicado el tipo concéntrico.

Lo que hacemos es practicar una restricción de caudal de área fija en la tubería que transporta el fluido. Dicha restricción origina una caída de presión que puede relacionarse con la velocidad del caudal.

Vemos un esquema de una placa de orificio en la figura 4.3.

MEDICION DEL FLUJO (FLOW MEASUREMENT)

CONJUNTO DE LA PLACA DE ORIFICIO

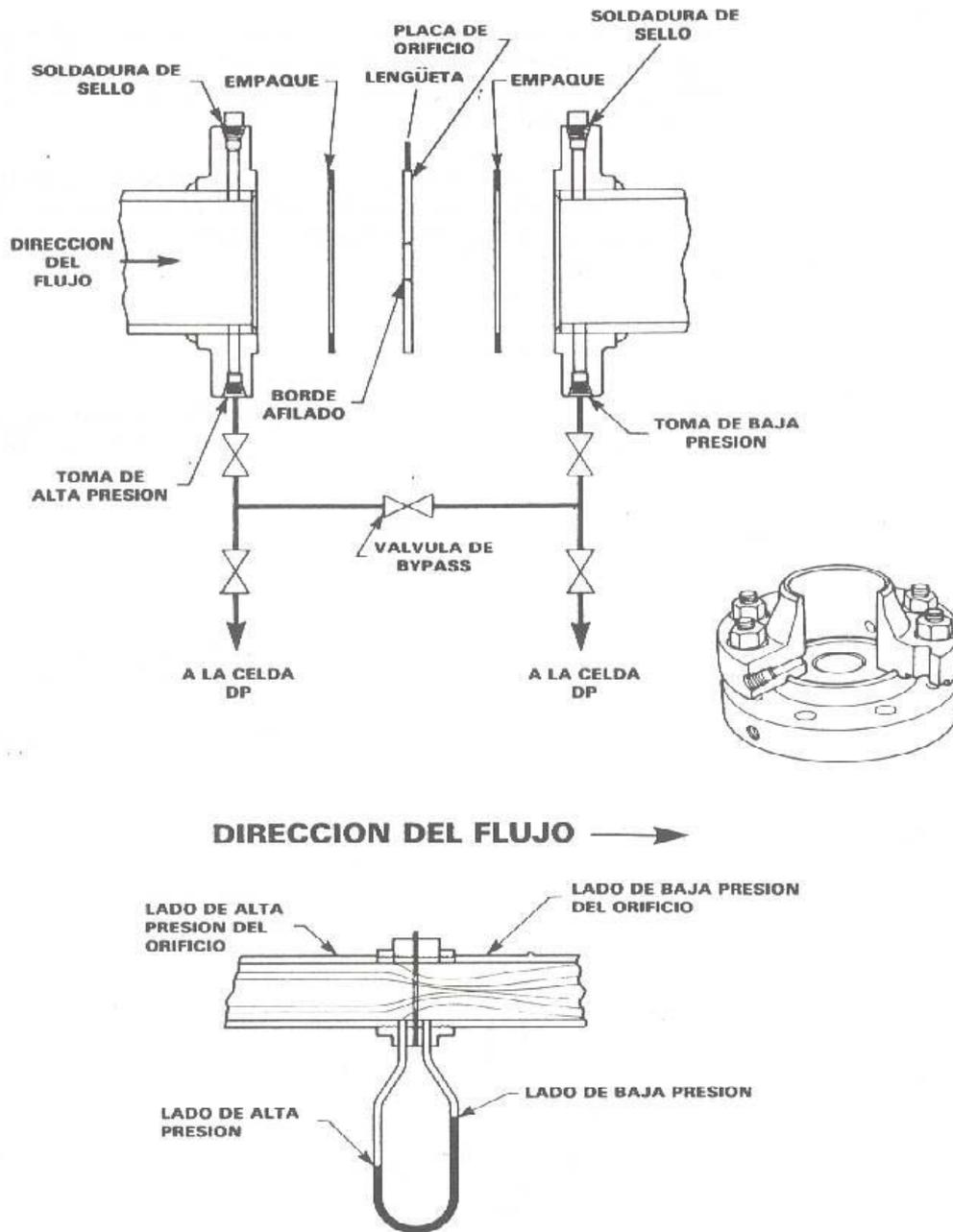


Figura 4.3.

El orificio de canto vivo es popular a causa de su simplicidad, bajo coste y la gran cantidad de datos de investigación sobre su comportamiento. Apuntar que los datos de calibración estándar, no asumen perturbaciones de caudal significativas, como codos, válvulas u otros accesorios tipo, a una distancia mínima aguas arriba del orificio.

4.2. Válvulas.

Las válvulas son elementos que estando instalados en una tubería pueden realizar algunas de las siguientes funciones (bien sea de forma automática o de manera manual):

- 1) Impedir totalmente el paso del fluido a través de una tubería, o bien permitirlo sin crear obstáculo alguno. (Por ejemplo las válvulas de compuerta).
- 2) Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo que se puede regular el caudal que circula a través de ella. (Por ejemplo las válvulas de asiento).
- 3) Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula pero sólo en un único sentido, como las válvulas de retención.
- 4) Permitir el paso de un fluido a través de una válvula, cuando dicho fluido se presenta en estado líquido, pero no si se presenta en estado gaseoso, o viceversa, prueba de ello son los purgadores automáticos.
- 5) Permitir el paso de un fluido a través de una válvula, cuando la diferencia de presión a una y otro lado de la misma, sobrepasa un cierto valor previamente establecido, como por ejemplo las válvulas de seguridad.

Las válvulas se pueden clasificar en dos grupos según el movimiento del obturador sea lineal o circular respecto a su eje.

● Válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje:

- Válvula de globo: que puede ser a su vez de simple asiento, de doble asiento o con obturador equilibrado.
- Válvula de ángulo.
- Válvula de tres vías.
- Válvula de jaula.
- Válvula de compuerta.
- Válvula en Y.
- Válvula de cuerpo partido.
- Válvula de Saunders.
- Válvula de compresión.

● Válvulas en las que el obturador tiene un movimiento circular:

- Válvula de obturador excéntrico rotativo.
- Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.
- Válvula de mariposa.
- Válvula de bola.
- Válvula de orificio ajustable.
- Válvula de flujo axial.

Dentro del grupo de válvulas de movimiento lineal, hemos seleccionado válvulas de globo dispuestas en las líneas OTR – 4” – AIR – 002 – A151S – C regulando el caudal de aire de combustión, dos en OTR – 2” – LIG – 001 – I150 – N para el gas inerte, cuatro en la línea OTR – 4” – FG – 007 – A152 – N debido a la existencia de una línea de venteo conectada a la citada, cuatro en OTR – 1/2” – FG – 006 – A152 – N que va hacia el quemador piloto en la que también existe una línea de venteo, dos para el suministro de aire para la puesta en marcha de la combustión y cuya línea es OTR – 14” – AIR – 001 – A151S – C.

También se han incorporado válvulas de tipo compuerta en la línea de alimentación de fuel gas, para poder realizar un bypass en caso de necesidad de reemplazo de filtro para el suministro de fuel gas. Así como en los venteos ya que sólo manejaremos posiciones totalmente abiertas o totalmente cerradas.

Dentro del grupo de las válvulas de movimiento circular hemos utilizado las válvulas de mariposa, estas válvulas que son de construcción extremadamente simple, tiene su aplicación en la regulación de caudal en tuberías de gran tamaño, como en el caso de la línea OTR – 18” – COV – 001 – A152 – C, por el cual pasa un caudal elevado por lo cual la tubería resulta de gran tamaño para evitar así la pérdida de carga exagerada. En dicha línea se instalarán tres válvulas de mariposa.

También instalaremos otras dos en la línea que porta los productos oxidados desde la caldera hacia el intercambiador de valor OTR – 24” – PO – 004 – A152 – C.

Otro tipo de válvula que utilizaremos será la de retención, para evitar el retorno del gas inerte de la línea OTR – 2” – LIG – 001 – I150 – N, ya que es un fluido que debemos asegurar su alimentación por seguridad del propio proceso, esta será de pistón y en posición horizontal, de manera que evite el contraflujo, es muy indicada para vapores ya que ofrece una buena estanqueidad y rápida respuesta de actuación.

4.2.1 Válvulas de control.

La válvula de control es uno de los instrumentos esenciales en la unidad para el control del proceso. Explicada simplemente es un orificio variable dentro de una línea, que nos permite regular el caudal del fluido.

En la figura 4.4 observamos las distintas partes de una válvula de control de la unidad. En la unidad tendremos válvulas en las cuales su posición normal será normalmente abierta o normalmente cerrada. La acción del aire en la válvula permitirá la apertura o cierre, total o parcial, de la válvula según proceda.

La válvula de la figura 4.4 es de cierre automático en caso de fallo de aire pero también cambiando el diseño de la parte superior (diafragma) puede operar al revés.

El cuerpo de la válvula puede ser de un sólo orificio (tapón simple) o de dos orificios (tapón doble). La válvula de un sólo orificio tiene solamente un orificio por donde pasa el fluido, esto se ve en la figura 4.5. La válvula de la figura 13 es de dos orificios, tiene por tanto doble tapón y dos asientos por donde pasa el fluido.

El diagnóstico de una válvula de control será:

- Comprobar la presión de aire al diafragma con respecto a la de salida del controlador, deberá ser la misma si no quiere decir que hay fugas.
- Examinar todas las válvulas de bloqueo y la de bypass que deberá estar herméticamente cerrada.
- Comprobar el indicador del vástago.

VALVULA DE CONTROL (CONTROL VALVE)

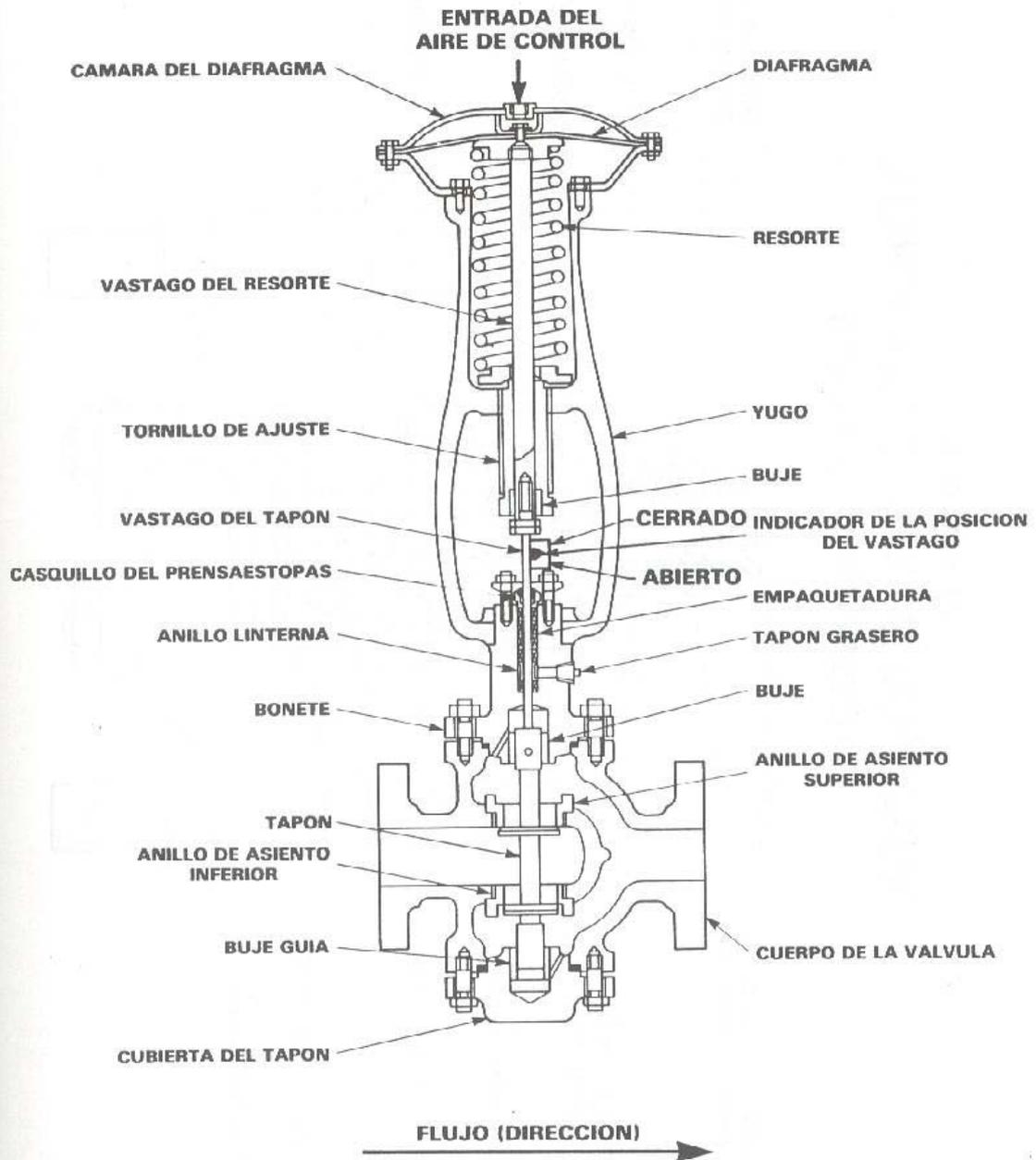


Figura 4.4 válvula de control de dos orificios

VALVULA DE CONTROL (CONTROL VALVE)

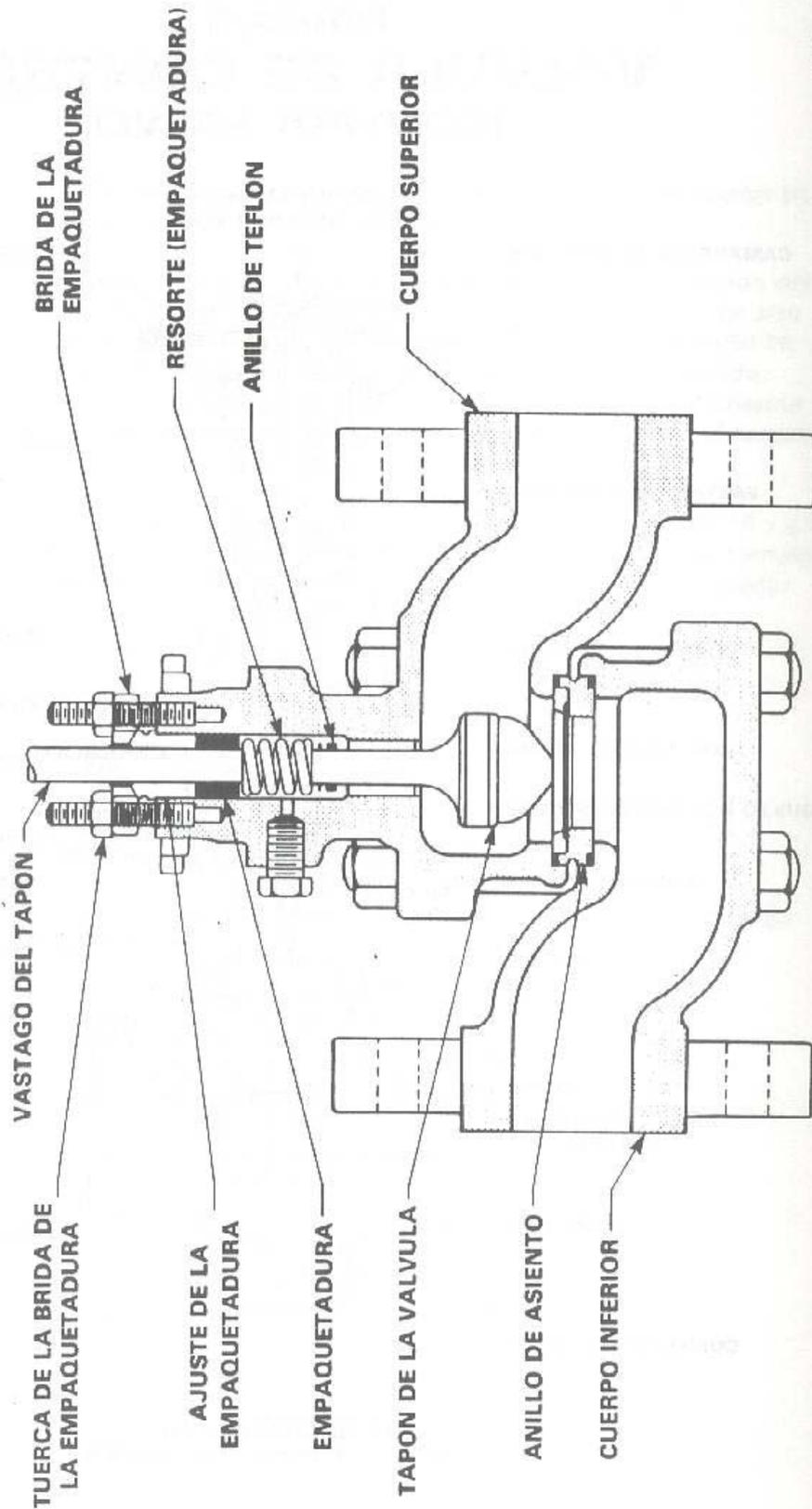


Figura 4.5 válvula de control de un orificio.

4.2.2 Listado de instrumentos.

A continuación ofrecemos el listado de instrumentos que además se ve reflejado en el plano número 4 del documento Planos.

VÁLVULAS**Válvulas de control/corte:**

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	TAMAÑO	LINEA	A FALLO DE AIRE	NOTAS
OTR-XV-001	VALVULA DE CORTE	GASES DE COV FRIOS	18"	OTR-18"-COV-001-A152-C	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR-XV-002	VALVULA DE CORTE	VENTEO GASES DE COV FRIOS	2"	OTR-18"-COV-001-A152-C	ABRE	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CER RADA
OTR-XV-003	VALVULA DE CORTE	GASES DE COV FRIOS	18"	OTR-18"-COV-001-A152-C	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CER RADA
OTR-XV-004	VALVULA DE CORTE	GAS INERTE A QUEMADOR	2"	OTR-2"-LIG-001-I150-N	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CER RADA
OTR-XV-005	VALVULA DE CORTE	FUEL GAS A QUEMADOR	4"	OTR-4"-FG-007-A152-N	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CER RADA
OTR-XV-006	VALVULA DE CORTE	VENTEO FUEL GAS A QUEMADOR	1/2"	OTR-4"-FG-007-A152-N	ABRE	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR-XV-007	VALVULA DE CORTE	FUEL GAS A QUEMADOR	4"	OTR-4"-FG-007-A152-N	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR-XV-008	VALVULA DE CORTE	FUEL GAS A QUEMADOR	4"	OTR-4"-FG-007-A152-N	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR-	VALVULA DE	FUEL GAS A	1/2"	OTR-1/2"-FG-	CIERRA	FINAL DE CARRERA

XV-009	CORTE	PILOTO		006-A152-N		ABIERTA/CE RRADA
OTR- XV-010	VALVULA DE CORTE	FUEL GAS A PILOTO	1/2"	OTR- 1/2"-FG- 006- A152-N	ABRE	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR- XV-011	VALVULA DE CORTE	FUEL GAS A PILOTO	1/2"	OTR- 1/2"-FG- 006- A152-N	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR- XV-012	VALVULA DE CORTE	AIRE DE COMBUSTIO N DE PUESTA EN MARCHA	14"	OTR-14"- AIR-001- A151S-C	ABRE	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR- FV-001	VALVULA DE CONTROL	AIRE DE COMBUSTIO N EN CONTINUO	4"	OTR-4"- AIR-002- A151S-C	ABRE	
OTR- XV-013	VALVULA DE CORTE	VENTEO GASES DE COV A PRECALENT ADOR	2"	OTR-24"- PO-004- A152-C	ABRE	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA
OTR- XV-014	VALVULA DE CORTE	GASES DE COV A PRECALENT ADOR	24"	OTR-24"- PO-004- A152-C	CIERRA	FINAL DE CARRERA ABIERTA/CE RRADA

Válvulas autorreguladoras:

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	TAMAÑO	LINEA	A FALLO DE AIRE	NOTAS
OTR-PCV-001	VALVULA AUTORREG. FUEL-GAS A QUEMADOR	FUEL-GAS A QUEMADOR	4"	OTR-4"-FG-007-A152-N	CIERRA	
OTR-PCV-002	VALVULA AUTORREG. FUEL-GAS A PILOTO	FUEL-GAS A PILOTO	1/2"	OTR-1/2"-FG-006-A152-N	CIERRA	

MANÓMETROS

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	LINEA	NOTAS
OTR-PI-001	PRESION GASES DE COV	GASES DE COV FRIOS	OTR-18"-COV-001-A152-C	
OTR-PI-002	PRESION GAS INERTE	PRESION GAS INERTE A QUEMADOR	OTR-LIG-2"-001-I150-N	
OTR-PI-003	PRESION FUEL GAS COLECTOR	PRESION FUEL GAS A OTR-OT-001	OTR-4"-FG-007-A152-N	
OTR-PI-004	PRESION FUEL GAS A OTR-OT-001	PRESION FUEL GAS A QUEMADOR	OTR-4"-FG-007-A152-N	
OTR-PI-005	PRESION FUEL GAS A OTR.OT-001	PRESION FUEL GAS A QUEMADOR	OTR-4"-FG-007-A152-N	
OTR-PI-006	PRESION FUEL GAS A OTR-OT-001	PRESION FUEL GAS A PILOTO	OTR-1/2"-FG-006-A152-N	
OTR-PI-007	PRESION AIRE DE COMB. A OTR-OT-001	PRESION AIRE PUESTA EN MARCHA	OTR-14"-AIR-001-A151S-C	

INTERRUPTORES DE PRESIÓN

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	TIPO DE MEDIDA	LINEA	INDICADOR REMOTO	NOTAS
OTR-PSL-002	PRESION FUEL-GAS A QUEMADOR DE OTR-OT-001	FUEL-GAS A QUEMADOR	PRESION RELATIVA	OTR-4"-FG-007-A152-N	OTR-PAL-003	
OTR-PSL-003	PRESION FUEL-GAS A PILOTO DE OTR-OT-001	FUEL-GAS A PILOTO	PRESION RELATIVA	OTR-1/2"-FG-006-A152-N	OTR-PAL-004	
OTR-PSL-001	PRESION COLECTOR GAS INERTE A OTR-OT-001	GAS INERTE A QUEMADOR	PRESION RELATIVA	OTR-2"-LIG-001-I150-N	OTR-PAL-001	

INDICADORES DE TEMPERATURA

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	LINEA/EQUIPO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	NOTAS
OTR-TI-001	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA OXIDADOR	OTR-OT-001	850	
OTR-TI-002	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA OXIDADOR	OTR-OT-001	850	
OTR-TI-003	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA OXIDADOR	OTR-OT-001	850	
OTR-TI-005	TEMPERATURA DE LOS GASES DE COV CALIENTES	SALIDA OTR-E-001	OTR-20"-COV-002-A152-C	180	
OTR-TI-004	TEMPERATURA DE LOS GASES DE COV FRIOS	ENTRADA OTR-E-001	OTR-18"-COV-001-A152-C	65	

OTR-TI-006	TEMPERATURA DE LOS GASES DE COV CALIENTES	ENTRADA OTR-E-001	OTR-24"-PO-004-A152-C	300	
------------	---	-------------------	-----------------------	-----	--

TRANSMISORES DE TEMPERATURA

TAG	DESCRIPCION	SERVICIO	LINEA/EQUIPO	INDICADOR REMOTO	NOTAS
OTR-TT-001	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA DEL HORNO	OTR-OT-001	OTR-TI-001	ALARMA ALTA/BAJA
OTR-TT-002	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA DEL HORNO	OTR-OT-001	OTR-TI-002	ALARMA ALTA/BAJA
OTR-TT-003	TEMPERATURA DE OTR-OT-001	TEMPERATURA DEL HORNO	OTR-OT-001	OTR-TI-003	ALARMA ALTA/BAJA
OTR-TT-004	TEMPERATURA DE GASES DE COV CALIENT.	TEMPERATURA DE LA LINEA	OTR-24-PO-004-A152-C	OTR-TI-006	ALARMA ALTA/BAJA

ANEXO V

CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES

Índice:

5.1. Introducción.....	146
5.2. Clasificación	147
5.3. Ruido	150
5.4. Mantenimiento.....	152

5.1. Introducción.

Los ventiladores son máquinas destinadas a producir un incremento de la presión total pequeño; convencionalmente se fija el límite de incremento total de presión para ventiladores de 1 m.c a., o una relación de compresión, 1,1. si el incremento de presión no excede el valor indicado, la variación de volumen específico del gas a través de la máquina se puede despreciar en el cálculo de la misma, por lo que el ventilador se comporta como una turbomáquina hidráulica.

En la actualidad, en el diseño se tiene en cuenta la compresibilidad para los incrementos de presión mucho menores, hasta 0,3 m.c.a., por lo que los ventiladores, hasta dicho incremento de presión, se pueden diseñar y considerar como una turbomáquina hidráulica.

Los soplantes o turbosoplantes son máquinas destinadas a comprimir gases en donde la relación de compresión está comprendida entre 1,1 y 3, no tienen refrigeración incorporada y generalmente son de un solo escalonamiento.

En los recuperadores de altos hornos, por ejemplo, la soplante tiene que impulsar aire a una presión equivalente a la resistencia de la conducción, más la resistencia de las toberas de inyección al interior del horno, con una relación de compresión de 3, utilizándose en estas circunstancias soplantes de varios escalonamientos, en los que el aire no se refrigera, ya que posteriormente hay que precalentarlo.

El número de revoluciones de las turbosoplantes oscila entre 3.000 y 21.000 rpm.

El ventilador es una bomba rotodinámica de gas que sirve para transportar gases, absorbiendo energía mecánica del eje y devolviéndola al gas; se distingue del turbocompresor en que las variaciones de presión en el interior del ventilador son tan pequeñas, que el gas se puede interpretarse como incompresible.

5.2. Clasificación.

Los ventiladores que se emplean comúnmente se pueden dividir en tres tipos generales, de hélice, axiales y centrífugos. Los ventiladores se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y con rotación del impulsor, ya sea en sentido de las agujas del reloj o viceversa. Salvo en raras ocasiones, se pueden proporcionar para acoplamiento directo o para bandas V.

● Ventilador de hélice:

Este ventilador consiste en una hélice dentro de un anillo o marco de montaje.

La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador, se emplea para trasladar el gas de un lugar a otro, o hacia un ambiente exterior, o para introducir aire fresco.

Este tipo de ventiladores puede manejar volúmenes grandes de aire a una presión estática baja, raramente a presiones estáticas mayores de 25 m.c.a.

Los ventiladores de extracción de uso normal, pueden tener desde 2 a 16 aspas, dependiendo ello del funcionamiento particular del ventilador.

Generalmente las unidades de poco número de aspas se usan en ventiladores de baja presión y los que cuentan con un número mayor de aspas se emplean en aquellas aplicaciones que requieren una mayor presión.

El ancho de las aspas, su ángulo, su velocidad axial y número de etapas, son factores todos que intervienen en el diseño y la capacidad.

- **Ventilador axial:**

El ventilador axial es de diseño aerodinámico, los coeficientes de presión oscilan entre 0.05 y 0.6, pudiendo llegar algunos diseños hasta 1.

Este tipo de ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica, como podemos observar en la fotografía 5.1.



Fotografía 5.1

La adición de álabes guía, detrás del rotor, convierten al ventilador tubo-axial en un ventilador axial con aletas guía.

Este tipo de ventiladores puede funcionar en un amplio rango de volúmenes, a presiones estáticas que van desde bajas a medias y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador tubo – axial y ser mas eficiente; los álabes guía, en la sujeción o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo de gas fuera de la unidad.

Aprovechando la conversión de componente rotativo de la corriente de gas, este ventilador puede alcanzar una presión estática mas alta que la de tipo de hélice de aspas rectas, a la misma velocidad axial, y hacerlo mas eficientemente.

- **Ventilador centrífugo:**

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral, el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra el envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha, pudiendo ser la entrada sencilla o de doble entrada.

En los ventiladores de entrada doble, el gas entra por ambos lados de la envolvente succionando por un rotor doble o dos rotores sencillos montados lado a lado.

Los rotores se fabrican en una gran variedad de diseños, pudiéndose clasificar, en general, en aquellos cuyas aspas son radiales, inclinadas hacia delante o hacia atrás del sentido de la rotación. Un ejemplo de ventilador centrífugo lo tenemos en la figura 5.1:

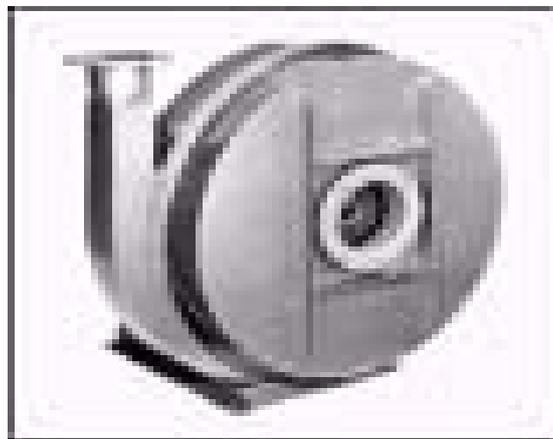


Figura 5.1

5.2. Ruido.

El ruido es el sonido que, por su tono, intensidad o duración, resulta desagradable al oído humano e incluso dañoso para su organismo. Los ventiladores son, con frecuencia, fuente de ruidos que atentan contra el confort del medio ambiente, por lo que su comportamiento acústico constituye a veces un factor decisivo en la selección del mismo.

Es importante destacar la relación entre velocidad del sonido, longitud de onda y la frecuencia, ya que las ondas de presión que constituyen el sonido, son sólo perceptibles por el oído humano si su frecuencia está comprendida entre 30 y 10000 Hz.

La velocidad de propagación del sonido es la misma para todas las frecuencias y dependen de la temperatura. En el aire, en condiciones normales, es aproximadamente de 340 m/seg.

De manera que, el ruido de un ventilador no será perceptible si cuando el nivel de su sonido esté 25 o más decibeles por debajo del ruido de fondo, pero en el caso en el que su nivel de sonido sea igual al ruido de fondo, sólo llega a destacar sobre éste último un aumento de 3.01 decibeles.

Si el ruido del ventilador excede por lo menos en 15 decibeles al del ambiente, el ensayo del ventilador en dicho ambiente o habitación sería el mismo que se obtendría en un cuarto aislado acústicamente.

CAUSAS DE LOS RUIDOS EN LOS VENTILADORES

Los álabes de un ventilador crean a su alrededor un campo de presión que varía de un punto a otro del espacio, originándose unas ondas acústicas que interaccionan entre sí, propagándose por el aire, las paredes, el suelo y en general por las estructuras adyacentes.

Las causas son las siguientes:

- La frecuencia fundamental del sonido del ventilador es igual al producto de su velocidad de rotación por el número de álabes del rodete.
- La intensidad del sonido producido directamente por los álabes es aproximadamente proporcional a la velocidad periférica de la punta de los álabes y a la quinta potencia del número de revoluciones.
- Las intensidades de sonido de dos ventiladores geoméricamente iguales son directamente proporcionales a la séptima potencia de la relación de semejanza.
- La distancia es exclusivamente pequeña entre el borde de la salida de los álabes del rodete y la lengua de la caja espiral.
- El número de álabes directrices fijos no debe ser igual al múltiplo de los álabes móviles.
- La corona difusora sin álabes produce menos ruido que la corona de álabes directrices.
- Las vibraciones forzadas de la carcasa y de los conductos de admisión y escape pueden ser origen de los ruidos de gran intensidad, sobre todo en condiciones de resonancia.
- El desequilibrio estático y dinámico del motor, y la mala alineación de los cojinetes.
- El motor de accionamiento y los cojinetes de bolas, a bajo número de revoluciones, son causa de ruido, por lo que utilizando cojinetes deslizantes se puede eliminar la causa.
- Al disminuir el rendimiento del ventilador para un mismo número de rpm, aumenta la intensidad del ruido.

En nuestro caso estamos utilizando un caudal elevado, por lo que optaremos por un ventilador con un coeficiente de caudal elevado.

5.4. Mantenimiento.

Un ventilador nunca debe operar a una velocidad más alta que aquella para la cual su fabricante lo diseñó. El rotor puede estar operando a su máxima velocidad de seguridad y puede fallar por los mayores esfuerzos que resultan de una velocidad más alta que puede estar cerca de la velocidad crítica de la flecha y causar una vibración excesiva; la fuerza motriz indicada para el ventilador puede aumentar lo suficiente como para sobrecargar y quemar la fuente motriz.

El ventilador sigue unas leyes, así los dispositivos de seguridad deben proteger al personal del contacto con elementos rotatorios y, al mismo tiempo, interferir al mínimo en el funcionamiento normal del equipo, asimismo, deben proteger al equipo de posibles daños accidentales.

Por ejemplo podemos usar protecciones metálicas, cubriendo las entradas o salidas del ventilador, o incluso rodear completamente el ventilador, motor y transmisión del mismo.

Muy importante es, que el motor que se incluya debe ser testado a prueba de ambientes explosivos debido al proyecto que estamos tratando, necesitándose motores eléctricos a prueba de chispas y explosiones llevando así una placa que garantice dichas características. Los motores a prueba de chispas se utilizan en condiciones peligrosas para evitar la posible explosión que se puede producir al frotar dos metales ferrosos o golpeo de ambos; materiales que no producen chispas y que pueden ser usados en los rotores, son el aluminio, cobre, latón y monel.

Para un funcionamiento eficiente es necesario limpiar periódicamente las aspas y envolturas de los mismos, ya que la acumulación de partículas extrañas en las partes del ventilador puede disminuir considerablemente la eficiencia del mismo, pudiendo llegar incluso al desajuste de la propia unidad.

Donde existan condiciones de humedad, ácidos, o abrasivos, y donde se note que la estructura del ventilador o rotor se ha corroído, se deberá cepillar dicho ventilador con un cepillo de alambre y pintar posteriormente el mismo, con un material que soporte las condiciones que han originado dicha corrosión.

ANEXO VI

Índice:

6.1. Especificación tuberías de procesos	156
6.2. Especificación tuberías de servicios	157
6.3. Hoja de especificación de la unidad OTR –E – 001	158

		CLASES DE TUBERIAS										CLASE: A152				
												HOJA 1 DE 4				
SERVICIO : HIDROCARBUROS DENTRO DEL AREA DE PROCESOS																
LIMITES DE DISEÑO		°C -29 +38	100	125	150	175	200	225	250	275	325	350	375	CODIGO DE DISEÑO ASME B.31.3		
		Kg/cm ² 20	18	17	16	15	14	13	12	11.3	9.4	8.5	7.5			
RATING: 150 °			SOBRESIESOR DE CORROSION: 3 MM					MATERIAL BASICO: ACERO CARBONO CALMADO								
ITEM	TIPO	DIAMETROS Y SCHEDULES O ESPESORES											MATERIAL ESPECIFICACION	NORMA	NOTAS	
		2" Y MEN.	2.1/2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"				20"
TUBERIA	SIN SOLD.	160	80	80	80	40	40	40	30	30	30			ASTM A-106 GR.B	ASME	1
	CON SOLD.											ST	20	20	ASTM A-672 GR.C70 CLASE 12	
ITEM	TIPO	DIAMETROS	DESCRIPCION											MATERIAL ESPECIFICACION	NORMA	NOTAS
ACCESORIOS	TES CAPS Y CODOS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO, ENCHUFE Y SOLDAR (S.M.) 6000# SCH.160											ASTM A-105	ANSI B.16.11 Y ASME B.16.9	2
		2.1/2" A 16"	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS											ASTM A-234 WPB		
		18" Y MAYORES	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS											ASTM A-234 WPB-M		
	REDUCCIONES	2" Y MENORES	USAR SWAGES SIN SOLDADURA. SCH.160											ASTM A-105	ANSI B.16.9	2
		2.1/2" A 16"	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS											ASTM A-234 WPB		
		18" Y MAYORES	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS											ASTM A-234 WPB-M		
	WELDOLETS	2.1/2" Y MAYORES	ACERO CARBONO FORJADO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS												BONNEY FORGE	4
	SOCKOLETS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO. 6000# SCHEDULE 160											ASTM A-105		
	ELBOLETS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO. 6000# SCHEDULE 160													
	COUPLINGS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO, ENCHUFE Y SOLDAR (S.M.) 6000# SCH.160													
BRIDAS	(SW) CON ENCASTRE	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO. 150# R.F. 1/16" 125-250 Ra SCH.160											ASTM A-105	ASME B.16.5 Y ASME B.46.1	
	(WN) DE CUELLO	2.1/2" Y MAYORES	ACERO CARBONO FORJADO. 150# R.F. 1/16" 125-250 Ra IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS													
	(LWN) DE CUELLO L	1" Y MAYORES	ACERO CARBONO FORJADO. 150# R.F. 1/16" 125-250 Ra													
	(SO) DESLIZANTE	18" Y MAYORES	ACERO CARBONO FORJADO. 150# R.F. 1/16" 125-250 Ra													
	CIEGA	TODOS	ACERO CARBONO FORJADO. 150# R.F. 1/16" 125-250 Ra													
ORIFICIO	1" Y MAYORES	DE CUELLO, ACERO CARBONO FORJADO. 300# R.F. 1/16" 125-250 Ra IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS												ANSI B.16.36		
JUNTAS	ESPIROMET.	TODOS	150# R.F. 0.175" ESP. CON ANILLO EXTERIOR DE C.S. 0.125" ESPESOR. FLEXITALLIC ESTILO CO. O SIMILAR											SS TIPO 316L Y GRAFITO	ASME B.16.20	6
ESPARRAGOS		TODOS	ACERO ALERADO ROSCADO EN TODA SU LONGITUD DE ACUERDO CON ANSI B.1.1 CLASE 2A											ASTM A-193 B7	ASME B.16.5 ASME B.18.2.1	3
TUERCAS		TODOS	ACERO CARBONO CABEZA HEXAGONAL SERIE PESADA ROSCADA SEGUN ANSI B.1.1 CLASE 2B											ASTM A-194 2H	ANSI B.18.2.2	
FIGURA EN B Y DISCO CIEGO		VER STD-L-310	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-225 A STD-L-239											ASTM A-516 GR.70	CEPSA	
FILTRO TEMPORAL		1.1/2" Y MAYORES	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-150 A STD-L-157											ASTM A-516 GR.70	CEPSA	
FILTRO BAÑERA Y 'TE'		2" Y MAYORES	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-160 A STD-L-172											ACERO CARBONO CALMADO	CEPSA	
CONEXIONES Y RAMALES	Ø IGUALES VER STD-L-050	DIAMETRO SUPERIOR	Ø COLECTOR	Ø RAMAL	SOLUCION		ENSAMBLAJE DE TUBERIAS									
			2.1/2" Y MAYORES	2" Y MENORES	HALF COUPLING O SOCKOLET											
			3" Y MAYORES	2.1/2" Y MAYORES	DIRECTA O WELDOLET		2" Y MENORES		2.1/2" Y MAYORES							
			2" Y MENORES	1.1/2" Y MENORES	TE REDUCTORA		COUPLING		SOLDADURA A TOPE							
NOTAS: 1.- EL ESPESOR DE PARED DE LAS TUBERIAS DE DIAMETRO IGUAL O SUPERIOR A 26". SE CALCULARA CON MATERIAL ASTM. A-672 GR. A55 CLASE 12 2.- PARA DENOMINACION DE SWAGES VER STANDARD STD-L-201 3.- VER STANDARDS STD-L-010 A STD-L-015 PARA NUMERO Y DIMENSIONES DE ESPARRAGOS 4.- USAR SOCKOLET SOLO CUANDO EL Ø DEL COLECTOR ES DE 3" Y EL Ø DEL RAMAL ES DE 2" 5.- USAR WELDOLET CUANDO T ≥ 250°C O SE NECESITE REFUERZO SEGUN CODIGO 6.- LAS JUNTAS PARA LAS BRIDAS DE ORIFICIO SERAN DE 300#																
B	27-09-96															
REV	FECHA	DE	APROBADO	Vº Rº	DESCRIPCION											

		CLASES DE TUBERIAS										CLASE: A151S					
												HOJA 1 DE 4					
SERVICIO : HIDROCARBUROS FUERA DEL AREA DE PROCESOS; AGUAS DE PLANTA, REFRIGERACION E INCENDIOS Y AIRE DE PLANTA																	
LIMITES DE DISEÑO		°C	29 .38	100	125	150	175	200	225	250	275	325	350	375	CODIGO DE DISEÑO ASME B.31.3		
		Kg/cm ²	20	18	17	16	15	14	13	12	11.3	9.4	8.5	7.5			
RATING: 150 °			SOBRESESPESOR DE CORROSION: 2.5 MM					MATERIAL BASICO: ACERO CARBONO CALMAADO									
ITEM	TIPO	DIAMETROS Y SCHEDULES O ESPESORES										MATERIAL ESPECIFICACION	NORMA	NOTAS			
		2" Y MEN.	2.1/2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"				18"	20"	24"
TUBERIA	SIN SOLD.	80													ASTM A-106 GR.B	ASME	
	CON SOLD.		40	40	40	40	20	20	20	20	20	20	20	20	CALCULAR	ASTM A-672 GR.C70 CLASE 12	B.36.10M
ITEM	TIPO	DIAMETROS	DESCRIPCION										MATERIAL ESPECIFICACION	NORMA			
ACCESORIOS	TES CAPS Y CODOS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO, ENCHUFE Y SOLDAR (S.W.) 3000# SCH.80										ASTM A-105	ANSI B.16.11 Y ASME B.16.9	2		
		2.1/2" A 24"	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS										ASTM A-234 WPB. W				
	REDUCCIONES	2" Y MENORES	USAR SWAGES SIN SOLDADURA, SCH.80										ASTM A-105	ANSI B.16.11 Y ASME B.16.9	2		
		2.1/2" A 24"	ACERO CARBONO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS										ASTM A-234 WPB. W				
	WELDOLETS	SOCKOLETS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO, PARA SOLDAR A TOPE IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS										ASTM A-105	BONNEY FORGE	4	
				ACERO CARBONO FORJADO, 3000# SCHEDULE 80													
				ACERO CARBONO FORJADO, 3000# SCHEDULE 80													
	BRIDAS	COUPLINGS	2" Y MENORES	ACERO CARBONO FORJADO, ENCHUFE Y SOLDAR (S.W.) 3000# SCH.80										ASTM A-105	ANSI B.16.11	5	
ACERO CARBONO FORJADO, 150# R.F. 1/16" 125-250 R _s SCH.80																	
ACERO CARBONO FORJADO, 150# R.F. 1/16" 125-250 R _s IGUAL ESPESOR QUE LAS TUBERIAS CONECTADAS																	
ACERO CARBONO FORJADO, 150# R.F. 1/16" 125-250 R _s																	
JUNTAS	ESPIROMET.	TODOS	150# R.F. 0.175" ESP. CON ANILLO EXTERIOR DE C.S. 0.125" ESPESOR. FLEXITALLIC ESTILO CO. O SIMILAR										SS TPO 316L Y GRAFITO	ASME B.16.20	3		
			ACERO ALEADO ROSCADO EN TODA SU LONGITUD DE ACUERDO CON ANSI B.1.1 CLASE 2A														
ESPARRAGOS		TODOS	ACERO CARBONO CABEZA HEXAGONAL SERIE PESADA ROSCADA SEGUN ANSI B.1.1 CLASE 2B										ASTM A-194 2H	ANSI B.18.2.2			
FIGURA EN B Y DISCO CIEGO		VER STD-L-310	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-225 A STD-L-239										ASTM A-516 GR.70	CEPSA			
FILTRO TEMPORAL		1.1/2" Y MAYORES	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-150 A STD-L-157										ASTM A-516 GR.70	CEPSA			
FILTRO BAÑERA Y 'TE'		2" Y MAYORES	DE ACUERDO CON LOS STANDARDS CEPSA STD-L-160 A STD-L-172										ACERO CARBONO CALMAADO	CEPSA			
CONEXIONES Y RAMALES		Ø IGUALES VER STD-L-050	Ø COLECTOR	Ø RAMAL	SOLUCION		ENSAMBLAJE DE TUBERIAS										
					HALF COUPLING O SOCKOLET		2" Y MENORES		2.1/2" Y MAYORES								
					DIRECTA		2" Y MENORES		2.1/2" Y MAYORES								
					TE REDUCTORA		COUPLING		SOLDADURA A TOPE								
NOTAS: 1.- EL ESPESOR DE PARED DE LAS TUBERIAS DE DIAMETRO IGUAL O SUPERIOR A 18", SE CALCULARA CON MATERIAL ASTM. A-672 GR. A55 CLASE 12 2.- PARA DENOMINACION DE SWAGES VER STANDARD STD-L-201 3.- VER STANDARDS STD-L-010 A STD-L-015 PARA NUMERO Y DIMENSIONES DE ESPARRAGOS 4.- USAR SOCKOLET SOLO CUANDO Ø DE COLECTOR ES DE 3" Y EL Ø DEL RAMAL ES DE 2" 5.- LAS JUNTAS PARA LAS BRIDAS DE ORIFICIO SERAN DE 300#																	
B	27-09-96																
REV.	FECHA	REALIZADO	APROBADO	V.º B.º	DESCRIPCION												

1	Company				
2	Location	REFINERÍA SAN ROQUE			
3	Service of unit	OTR – E – 001			
4	Tamaño	1438/2500mm	Tipo AES		
5	Area/unidad	283	1		
6	Cumplimiento una unidad				
7	Localización fluido	Lado tubos		Lado carcasa	
8	Nombre fluido	PO		COV	
9	Cantidad fluido Kg. /h	30880		30000	
10	Temperatura(entra/salid) °C	300	190.5	65	180.38
11	Densidad Kg/ m ³	0.95	1.18	1.96	1.46
12	Viscosidad cp	0.028	0.024	0.019	0.024
13	Calor específico Kcal./Kg °C	0.2752	0.2684	0.262	0.2679
14	Conductividad térmica Kcal./ h m °C	0.037	0.031	0.023	0.031
15	Presión Kg./ cm ²	1.65	1.65	2	
16	Velocidad m/s	21.6		18.32	
17	Caida de presión (perm/calc) Kg./ cm ²	0.66	0.023	0.1	0.098
18	Resistencia ensuciamiento (min) m ² * h * °C/ Kcal.	0.0002			
19	Calor intercambiado Kcal./ h	918092			
20	Construcción carcasa	Lado tubos		Lado carcasa	
21	Presión diseño Kg./ cm ²	5.273		5.273	
22	Temperatura diseño °C	337.78		215.56	
23	Número de pasos por carcasa	1			
24	Nº de tubos 1438	Longitud tubos 2500 mm.			
25	Material tubo	CS			
26	Carcasa DI(mm) 1300	Material carcasa CS (TIPO E)			
27	Cabezal flotante	S	Material	CS	
28	Cabezal fijo	A	Material	CS	
29	Requerimientos del código ASME Código Sec VIII Div I clase TEMA B				
30	Comentarios				
31					
32					

ANEXO VII

TABLAS Y FIGURAS**Índice:**

• Tablas	161
• Figuras.....	173

Tabla A.1

NOMENCLATURA	DENSIDAD CALCINADO (kg/dm ³)	CONDUCTIVIDAD MEDIA (kcal/m.h.°C)	TEMPERATURA MÁXIMA EN CARA CALIENTE (°C)
HF	1,80 a 1,85	0,75 a 0,80	1250 ^o
HAF	1,90	0,90	1300 ^o a 1350 ^o
HA	1,90 a 1,95	0,95 a 1	1400 ^o
H ₆	2,10 a 2,20	1,20 a 1,30	1500 ^o
H ₈	2,50 a 2,60	1,40 a 1,50	1650 ^o
H ₉	2,25 a 2,30	6	1600 ^o

Densidad, conductividad y temperatura máxima en caliente en hormigones refractarios densos.

Tabla A.2

% Al ₂ O ₃	DENSIDAD APARENTE (kg/dm ³)	DENSIDAD REAL (kg/dm ³)	POROSIDAD TOTAL (%)	TEMPERATURA DE FUSION (°C)	CONDUCTIVIDAD CALORIFICA (kcal/m.h.°C)			TEMPERATURA MÁXIMA DE TRABAJO (°C)
					A 300°C	A 800°C	A 1000°C	
40 a 43	0,7	2,70	74	1740 ^o	0,25	0,32	0,35	1250 ^o
	0,9		67		0,32	0,38	0,41	1300 ^o
	1,1		60		0,39	0,51	0,57	1300 ^o
	1,3		52		0,41	0,53	0,60	1300 ^o
60	0,7	3,55	80	1825 ^o	0,28	0,35	0,38	1450 ^o
	0,9		75		0,35	0,41	0,43	
	1,1		69		0,37	0,44	0,47	
	1,3		63		0,42	0,50	0,52	
80	0,7	3,85	82	1875 ^o	0,28	0,36	0,40	1600 ^o
	0,9		77		0,34	0,40	0,42	
	1,1		72		0,38	0,46	0,49	
	1,3		67		0,41	0,48	0,52	

Características varias de ladrillos porosos, en función de su contenido en alúmina y de su densidad.

Tabla A.3

Díámetro nominal	1"	1½"	2"	2½"	3"	3½"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
Distanciamiento (m)	2,1	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,8	5,1	5,7	6,7	7,0	7,6	8,2	8,5	9,1	9,7

Tabla A.4

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD DE APISONADO (kg/m ³)			
	200	300	400	500
100 ^o	0,050	0,057	0,065	0,073
300 ^o	0,070	0,076	0,083	0,091
500 ^o	0,090	0,095	0,100	0,110

Conductividad térmica del Kieselghur, en función de su densidad y de la temperatura.

Tabla A.5

TIPO DE COMPUESTO KIESSELGHUR		DIATOSIL D-5	DIATOSIL D-7
		CONDUCTIVIDAD TERMICA (kcal/m.h.°C)	
TEMPERATURAS	100°C	0,08	0,10
	300°C	0,10	0,11
	500°C	0,12	0,13
	700°C	0,14	0,15
	900°C		0,17

Conductividad térmica en función de la temperatura de compuestos de Kieselghur.

Tabla A.6

Potencia en watt (W) Lámpara CFL	Flujo luminoso en lúmenes (lm) (CFL)	Eficacia en lm/W (CFL)	Potencia aproximada en W de una lámpara incandescente
5	180	36	25
7	286	41	35
9	400	44	40
11	600	55	60
18	900	56	90
20	1 200	60	100

Tabla A.7

MATERIAL	COMPOSICION TIPICA	TEMPERATURA MAXIMA	APLICACIONES	OBSERVACIONES
Monel	57%Ni; 42%Cu	535°C	Atmósferas marinas Aplicaciones químicas Procesos de alimentos	Combina alta resistencia y ductilidad. Soporta muchas condiciones corrosivas
Acero al carbono SAE 1018 o SAE 1020	0,2%C; 0,45%Mn	540°C	Estañado Galvanizado Con petróleo	Gases y líquidos no corrosivos Se desconcha rápido a mayores temperaturas
Hierro forjado	0,48%Mn; 0,98%Cu	675°C	Estufas de alimentos Mezcladores de asfalto Precalentadores Secadores	Atmósferas no corrosivas Fundición de metales a baja temperatura
Fundición	Hierro fundido	870°C	Fusión de aluminio Moldes	Necesita aplicar a diario solución blanca de lavado
AISI-304	18%Cr; 10%Ni; 2%Mn	900°C	Productos de petróleo Ácidos suaves Líneas de vapor Procesado de alimentos	Buena resistencia a la corrosión Se hace quebradizo entre 482° y 802°C
AISI-316	17%Cr; 13%Ni; 2,5%Mo	925°C	Aplicaciones químicas Productos alimenticios Líneas de vapor	Más alta resistencia a la corrosión que el 304 Resiste a la corrosión de ácidos sulfúrico y fosfórico
AISI-321	18%Cr; 10%Ni; Ti (estabilizado)	925°C	Productos petrolíferos Líneas de vapor	Estabilidad contra la precipitación de carburos. Resiste la corrosión intergranular.
AISI-347 (estabilizado)	20%Cr; 13%Ni	925°C	Líneas de vapor Productos del petróleo Tubos de calderas	Para esfuerzos severos y resistencia a la corrosión
AISI-309	25%Cr; 12%Ni; 2%Mn	1090°C	Anhidrido sulfuroso Ácidos suaves	Alta resistencia al desconchado hasta 1038°C Material fuerte y resistente
Níquel	99%Ni	1090°C	Productos químicos Alimentos. Autoclaves	No usarlo con atmósferas sulfurosas o reductoras
INCOLOY-800	34%Ni; 22%Cr	1090°C	Hornos Baños de cianuro	Superior resistencia al green-rot Conserva resistencia a alta temperatura
AISI-310	25%Cr; 20%Ni; 2%Mn	1150°C	Aplicaciones químicas Productos petrolíferos Estufas	Alta resistencia mecánica y al "creep" a altas temperaturas Muy buena resistencia a la corrosión
AISI-330	19%Cr; 35%Ni; 1 a 1,5%Mn	1150°C	Tratamientos en caliente Hornos Estufas	Bueno en atmósferas reductoras y oxidantes
AISI-333	25%Cr; 45%Ni; 3%Co; 3%Mo	1150°C	Baños de sales Hornos de forja y otros	Excelente material con excelente resistencia a la oxidación
AISI-446	28%Cr	1150°C	Baños de sales neutras Fusión de algunos metales. Hornos	Alta resistencia a ataques del azufre Aleación de aplicación general
INCONEL-601	60%Ni; 23%Cr	1150°C	Cementación Nitruración Tratamientos térmicos	Resiste al desconchado hasta 1150°C Buena resistencia a corrosión a alta temperatura
INCONEL-600	77%Ni; 15%Cr	1215°C	Baños de sales Hornos y estufas	Uso a altas temperaturas Excelente resistencia oxidación No utilizarlo si hay azufre
KANTHAL	22%Cr; 5%Al	1215°C	Fundición de cobre Tubos de hornos	Tiene alta resistencia a sulfuros
HASTELLOY	43%Ni; 23%Cr; 20%Fe; 10%Mo	1290°C	Tubos de hornos Aplicaciones químicas Reactores nucleares	Desarrolla capa de óxido. Extraordinaria resistencia a oxidación Atmósferas reductoras y neutras

. Fundas de tempopares.

Tabal A.8

ADITIVO	EFECTO PRODUCIDO
AZUFRE (S)	Facilita la mecanización. Mina la resistencia.
ALUMINIO (Al)	Desoxida el acero. Mejora la resistencia entre 750° y 900°C.
BORO (B)	Aumenta en un 15 a 20% la resistencia en caliente.
CALCIO (Ca)	Produce poca calamina. Es desoxidante.
CARBONO (C)	Conviene poco, para limitar la precipitación de carburos.
COBALTO (Co)	Evita la precipitación de carburos. Aumenta la resistencia en caliente.
CROMO (Cr)	Resiste al ácido sulfúrico diluido. Aumenta la resistencia en caliente. Aumenta la resistencia a la oxidación. No le ataca el azufre. Aumenta la resistencia al choque.
COBRE (Cu)	Resiste al ácido sulfúrico diluido.
FOSFORO (P)	Debilita la compacidad.
HIDROGENO(H)	Decarbura con vapor de agua a alta temperatura.
MAGNESIO (Mg)	Proporciona resistencia.
MANGANESO (Mn)	Crea resistencia a la abrasión.
MOLIBDENO (Mo)	Aumenta la resistencia y dureza a temperaturas altas. Resiste al ácido sulfúrico diluido. Aumenta la resistencia a la corrosión.
OXIGENO (O)	Destruye la resistencia.
NIOBIO (Nb)	Efecto desfavorable sobre la oxidación. Aumenta la resistencia en caliente.
NIQUEL (Ni)	Disminuye el endurecimiento para trabajos de estirado en frío. Aumenta la resistencia en caliente. Aumenta la resistencia a la oxidación. Resiste al ácido sulfúrico diluido.
SELENIO (Se)	Facilita la mecanización.
SILICIO (Si)	Disminuye la resistencia a más de 800°C. Aumenta la dureza. Aumenta la resistencia al desconchado en caliente.
TANTALO (Ta)	Resiste al ácido sulfúrico diluido.
TITANIO (Ti)	Puede afectar a la homogeneidad de las piezas. Mejora la resistencia entre 750° y 900°C. Impide la presencia de nitrógeno y oxígeno. Evita la precipitación de carburos.
VANADIO (Va)	Aumenta la resistencia en caliente.
WOLFRAMIO (W)	Mejora las propiedades en caliente. Mejora la resistencia en un 10 a 15%.
ZIRCONIO (Zr)	Aumenta la resistencia en caliente.

Tabla A.E.1

Valores aproximados de los coeficientes globales de transferencia de calor.

Situación real	U	
	Btu/h · ft ² · °F	W/m ² · °C
Pared exterior de ladrillo, yeso en el interior, sin aislar	0,45	2,55
Pared exterior estructural, yeso en el interior, sin aislar	0,25	1,42
Con aislamiento de lana de roca	0,07	0,4
Ventana de vidrio plano	1,10	6,2
Ventanas de doble vidrio plano	0,40	2,3
Condensador de vapor de agua	200-1.000	1.100-5.600
Calentador del agua de alimentación	200-1.500	1.100-8.500
Condensador de Freón-12 refrigerado con agua	50-150	280-850
Cambiador de calor agua-agua	150-300	850-1.700
Cambiador de calor de tubo con aletas, agua en los tubos, aire transversalmente a los tubos	5-10	25-55
Cambiador de calor agua-aceite	20-60	110-350
Vapor de agua-fuel oil ligero	30-60	170-340
Vapor de agua-fuel oil pesado	10-30	56-170
Vapor de agua-queroseno o gasolina	50-200	280-1.140
Cambiador de calor de tubo con aletas, vapor de agua en los tubos, aire alrededor de los tubos	5-50	28-280
Condensador de amoníaco, agua en los tubos	150-250	850-1.400
Condensador de alcohol, agua en los tubos	45-120	255-680
Cambiador de calor gas-gas	2-8	10-40

Tabla A.E.2

Fluido de la camisa	Fluido del recipiente	Material de la pared	Coeficiente global U^*	
			Btu/(h · ft ² · °F)	J/(m ² · s · K)
Vapor	Agua	Acero inoxidable	150-300	850-1.700
Vapor	Disolución acuosa	Acero inoxidable	80-200	450-1.140
Vapor	Sustancias orgánicas	Acero inoxidable	50-150	285-850
Vapor	Aceite ligero	Acero inoxidable	60-160	340-910
Vapor	Aceite pesado	Acero inoxidable	10-50	57-285
Salmuera	Agua	Acero inoxidable	40-180	230-1.625
Salmuera	Disolución acuosa	Acero inoxidable	35-150	200-850
Salmuera	Sustancias orgánicas	Acero inoxidable	30-120	170-680
Salmuera	Aceite ligero	Acero inoxidable	35-130	200-740
Salmuera	Aceite pesado	Acero inoxidable	10-30	57-170
Aceite térmico	Agua	Acero inoxidable	50-200	285-1.140
Aceite térmico	Disolución acuosa	Acero inoxidable	40-170	230-965
Aceite térmico	Sustancias orgánicas	Acero inoxidable	30-120	170-680
Aceite térmico	Aceite ligero	Acero inoxidable	35-130	200-740
Aceite térmico	Aceite pesado	Acero inoxidable	10-40	57-230
Vapor	Agua	CS recubierto de vidrio	70-100	400-570
Vapor	Disolución acuosa	CS recubierto de vidrio	50-85	285-480
Vapor	Sustancias orgánicas	CS recubierto de vidrio	30-70	170-400
Vapor	Aceite ligero	CS recubierto de vidrio	40-75	230-425
Vapor	Aceite pesado	CS recubierto de vidrio	10-40	57-230
Salmuera	Agua	CS recubierto de vidrio	30-80	170-450
Salmuera	Disolución acuosa	CS recubierto de vidrio	25-70	140-400
Salmuera	Sustancias orgánicas	CS recubierto de vidrio	20-60	115-340
Salmuera	Aceite ligero	CS recubierto de vidrio	25-65	140-370
Salmuera	Aceite pesado	CS recubierto de vidrio	10-30	57-170
Aceite térmico	Agua	CS recubierto de vidrio	30-80	170-450
Aceite térmico	Disolución acuosa	CS recubierto de vidrio	25-70	140-400
Aceite térmico	Sustancias orgánicas	CS recubierto de vidrio	25-65	140-370
Aceite térmico	Aceite ligero	CS recubierto de vidrio	20-70	115-400
Aceite térmico	Aceite pesado	CS recubierto de vidrio	10-35	57-200

* Los valores son para agitación moderada no próxima; CS = Acero al carbono.

Tabla A.E.3

VALORES APROXIMADOS DE LOS COEFICIENTES TOTALES PARA DISEÑO. LOS VALORES INCLUYEN UN FACTOR DE OBSTRUCCION TOTAL DE 0.003 Y CAIDA DE PRESION PERMISIBLE DE 5 A 10 LB/PLG² EN LA CORRIENTE QUE CONTROLE

Enfriadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Agua	Agua	250-500 ⁴
Metanol	Agua	250-500 ⁴
Amoniaco	Agua	250-500 ⁴
Soluciones acuosas	Agua	250-500 ⁴
Sustancias orgánicas ligeras ¹	Agua	75-150
Sustancias orgánicas medias ²	Agua	50-125
Sustancias orgánicas pesadas ³	Agua	5- 75
Gases	Agua	2- 50
Agua	Salmuera	100-200
Sustancias orgánicas ligeras	Salmuera	40-100

Calentadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Vapor de agua	Agua	200-700 ⁴
Vapor de agua	Metanol	200-700 ⁴
Vapor de agua	Amoniaco	200-700 ⁴
Vapor de agua	Soluciones acuosas:	
Vapor de agua	menos de 2.0 cp	200-700
Vapor de agua	Más de 2.0 cp	100-500 ⁴
Vapor de agua	Sustancias orgánicas ligeras	50-100
Vapor de agua	Sustancias orgánicas medias	100-200
Vapor de agua	Sustancias orgánicas pesadas	6-60
Vapor de agua	Gases	5-50 ⁶

Intercambiadores

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Agua	Agua	250-500 ⁴
Soluciones acuosas	Soluciones acuosas	250-500 ⁴
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas ligeras	40-75
Sustancias orgánicas medias	Sustancias orgánicas medias	20-60
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas pesadas	10-40
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas ligeras	30-60
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas pesadas	10-40

¹ Las sustancias orgánicas ligeras son fluidos con viscosidades menores de 0.5 centipoises e incluyen benceno, tolueno, acetona, etanol, metil-etil-cetona, gasolina, kerosén y nafta.

² Las sustancias orgánicas medias tienen viscosidades de 0.5 a 1.0 centipoises e incluyen kerosén, strawoil, gasoil caliente, aceite de absorbedor caliente y algunos crudos.

³ Sustancias orgánicas pesadas tienen viscosidades mayores de 1.0 centipoises e incluyen gasoil frío, aceites lubricantes, petróleo combustible, petróleo crudo reducido, breas y asfaltos.

⁴ Factor de obstrucción 0.001.

⁵ Caída de presión de 20 a 30 lb/plg².

⁶ Estas tasas están influenciadas grandemente por la presión de operación.

Tabla A.E.4

1. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES
E INTERCAMBIADORES DE CALOR

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lin. pies ²		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
½	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0960	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
¾	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1520	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389		0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	0.455		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	0.479		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
	17	0.058	0.881	0.613		0.2314	0.639
18	0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545		
1¼	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688		
1½	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	1.37
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
18	0.049	1.40	1.54	0.3670	0.831		

Tabla A.E.5

DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS. (Continúa). ARREGLO TRIANGULAR

Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 15/16 plg						Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 1 plg					
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	36	32	26	24	18	8	37	30	24	24	
10	62	56	47	42	36	10	61	52	40	36	
12	109	98	86	82	78	12	92	82	76	74	70
13 1/4	127	114	96	90	86	13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	170	160	140	136	128	15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	239	224	194	188	178	17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	301	282	252	244	234	19 1/4	262	250	226	216	210
21 1/4	361	342	314	306	290	21 1/4	316	302	278	272	260
23 1/4	442	420	386	378	364	23 1/4	384	376	352	342	328
25	532	506	468	446	434	25	470	452	422	394	382
27	637	602	550	536	524	27	559	534	488	474	464
29	721	692	640	620	594	29	630	604	556	538	508
31	847	822	766	722	720	31	745	728	678	666	640
33	974	938	878	852	826	33	856	830	774	760	732
35	1102	1068	1004	988	958	35	970	938	882	864	848
37	1240	1200	1144	1104	1072	37	1074	1044	1012	986	870
39	1377	1330	1258	1248	1212	39	1206	1176	1128	1100	1078
Tubos de 1" DE, arreglo triangular de 1 1/4 plg						Tubos de 1 1/4" DE, arreglo triangular de 1 1/8" plg					
8	21	16	16	14		10	20	18	14		
10	32	32	26	24		12	32	30	26	22	20
12	55	52	48	46	44	13 1/4	38	36	32	28	26
13 1/4	68	66	58	54	50	15 1/4	54	51	45	42	38
15 1/4	91	86	80	74	72	17 1/4	69	66	62	58	54
17 1/4	131	118	106	104	94	19 1/4	95	91	86	78	69
19 1/4	163	152	140	136	128	21 1/4	117	112	105	101	95
21 1/4	199	188	170	164	160	23 1/4	140	136	130	123	117
23 1/4	241	232	212	212	202	25	170	164	155	150	140
25	294	282	266	252	242	27	202	196	185	179	170
27	349	334	302	296	286	29	235	228	217	212	202
29	397	376	338	334	316	31	275	270	255	245	235
31	472	454	430	424	400	33	315	305	297	288	275
33	538	522	486	470	454	35	357	348	335	327	315
35	608	592	562	546	532	37	407	390	380	374	357
37	674	664	632	614	598	39	449	436	425	419	407
39	766	736	700	688	672						
Tubos de 1 1/2" DE, arreglo triangular de 1 1/8 plg											
12	18	14	14	12	12						
13 1/4	27	22	18	16	14						
15 1/4	36	34	32	30	27						
17 1/4	48	44	42	38	36						
19 1/4	61	58	55	51	48						
21 1/4	76	72	70	66	61						
23 1/4	95	91	86	80	76						
25	115	110	105	98	95						
27	136	131	125	118	115						
29	160	154	147	141	136						
31	184	177	172	165	160						
33	215	206	200	190	184						
35	246	238	230	220	215						
37	275	268	260	252	246						
39	307	299	290	284	275						

Tabla A.E.6

DIMENSIONES DE TUBERIA DE ACERO (IPS)

Tamaño nominal del tubo, IPS plg	DE, plg	Cédula No.	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lineal, pies ² /pie		Peso por pie lineal, lb de acero
					Exterior	Interior	
¼	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
¼	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
¾	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		0.111	0.74
½	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
¾	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
1	1.32	40*	1.049	0.864	0.344	0.274	1.68
		80†	0.957	0.718		0.250	2.17
1¼	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	3.00
1½	1.90	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2½	2.88	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	0.917	0.804	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	1.055	10.8
		80†	3.826	11.5		1.002	15.0
6	6.625	40*	6.065	28.9	1.734	1.590	19.0
		80†	5.761	26.1		1.510	28.6
8	8.625	40*	7.981	50.0	2.258	2.090	28.6
		80†	7.625	45.7		2.000	43.4
10	10.75	40*	10.02	78.8	2.814	2.62	40.5
		60	9.75	74.6		2.55	54.8
12	12.75	30	12.09	115	3.338	3.17	43.8
14	14.0	30	13.25	138	3.665	3.47	54.6
16	16.0	30	15.25	183	4.189	4.00	62.6
18	18.0	20‡	17.25	234	4.712	4.52	72.7
20	20.0	20	19.25	291	5.236	5.05	78.6
22	22.0	20‡	21.25	355	5.747	5.56	84.0
24	24.0	20	23.25	425	6.283	6.09	94.7

* Comúnmente conocido como estándar.
† Comúnmente conocido como extragrueso.
‡ Aproximadamente.

Tabla A.E.7

DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS). ARREGLO EN CUADRO

Tubos de 3/4" DE, arreglo en cuadro de 1 plg						Tubos de 1" DE, arreglo en cuadro de 1 1/4 plg					
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	32	26	20	20		8	21	16	14		
10	52	52	40	36		10	32	32	26	24	
12	81	76	68	68	60	12	48	45	40	38	36
13 1/4	97	90	82	76	70	13 1/4	61	56	52	48	44
15 1/4	137	124	116	108	108	15 1/4	81	76	68	68	64
17 1/4	177	166	158	150	142	17 1/4	112	112	96	90	82
19 1/4	224	220	204	192	188	19 1/4	138	132	128	122	116
21 1/4	277	270	246	240	234	21 1/4	177	166	158	152	148
23 1/4	341	324	308	302	292	23 1/4	213	208	192	184	184
25	413	394	370	356	346	25	260	252	238	226	222
27	481	460	432	420	408	27	300	288	278	268	260
29	553	526	480	468	456	29	341	326	300	294	286
31	657	640	600	580	560	31	406	398	380	368	358
33	749	718	688	676	648	33	465	460	432	420	414
35	845	824	780	766	748	35	522	518	488	484	472
37	934	914	886	866	838	37	596	574	562	544	532
39	1049	1024	982	968	948	39	665	644	624	612	600

Tubos de 1 1/4" DE, arreglo en cuadro de 1 9/16 plg						Tubos de 1 1/2" DE, arreglo en cuadro de 1 7/8 plg					
10	16	12	10			12	16	16	12	12	
12	30	24	22	16	16	12	16	16	12	12	
13 1/4	32	30	30	22	22	13 1/4	22	22	16	16	
15 1/4	44	40	37	35	31	15 1/4	29	29	25	24	22
17 1/4	56	53	51	48	44	17 1/4	39	39	34	32	29
19 1/4	78	73	71	64	56	19 1/4	50	48	45	43	39
21 1/4	96	90	86	82	78	21 1/4	62	60	57	54	50
23 1/4	127	112	106	102	96	23 1/4	78	74	70	66	62
25	140	135	127	123	115	25	94	90	86	84	78
27	166	160	151	146	140	27	112	108	102	98	94
29	193	188	178	174	166	29	131	127	120	116	112
31	226	220	209	202	193	31	151	146	141	138	131
33	258	252	244	238	226	33	176	170	164	160	151
35	293	287	275	268	258	35	202	196	188	182	176
37	334	322	311	304	293	37	224	220	217	210	202
39	370	362	348	342	336	39	252	246	237	230	224

Tabla A.E.8

FACTORES DE OBSTRUCCION *			
Gases de escape de máquinas Diesel.....	0.01	Unidades de destilación atmosférica:	
Vapores orgánicos	0.0005	Vapores superiores sin tratar	0.0013
Vapor (sin aceite)	0.0	Vapores superiores tratados	0.003
Vapores de alcohol	0.0	Cortes intermedios	0.0013
Vapor, de escape (con aceite)	0.001	Unidades de destilación al vacío:	
Vapores refrigerantes (condensando de compresores recíprocos)	0.002	Vapores superiores a aceite:	
Aire	0.002	De la torre de burbujeo (condensador parcial)	0.001
Vapores superiores en condensadores enfriados por agua:		Del tanque flash (sin reflujo apreciable) ..	0.003
De la torre de burbujeo (condensador final) ...	0.001	Aceite delgado	0.002
Del tanque flash	0.04	Vapores superiores	0.001
Cortes intermedios:		Gasolina	0.0005
Aceite	0.001	Debutanizador, Depropanizador, Depentanizador y unidades de Alkilación:	
Para agua	0.002	Alimento	0.001
Fondos residuales, menos de 20° API	0.005	Vapores superiores	0.001
Fondos residuales, más de 20° API	0.002	Enfriadores de producto .	0.001
Estabilizador de gasolina natural:		Calderetas de producto ..	0.002
Alimento	0.0005	Alimento del reactor	0.002
Vapores superiores	0.0005	Unidades de tratamiento de lubricantes:	
Enfriadores de producto e intercambiadores	0.0005	Alimento de aceite solvente	0.002
Calderetas de producto ..	0.001	Vapores superiores	0.001
Unidades de eliminación de HS ₂ :		Aceite refinado	0.001
Para vapores superiores ..	0.001	Intercambiadores calentadores de aceite refinado enfriados por agua † ..	0.003
Intercambiadores enfriadores de solución	0.0016	Gomas y breas:	
Caldereta	0.0016	Generadores de vapor enfriados por aceite	0.005
Unidades de Cracking:		Enfriados por agua	0.003
Alimento gas-oil:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Unidades desasfaltadoras:	
500°F y más	0.003	Aceite de alimento	0.002
Alimento de nafta:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Asfalto y resina:	
Más de 500°F	0.004	Generadores de vapor enfriados por aceite.	0.005
Separador de vapores vapores del separador, tanque flash, y vaporizador)	0.006	Enfriados por agua...	0.003
		Vapores de solvente	0.001

Figura A.1

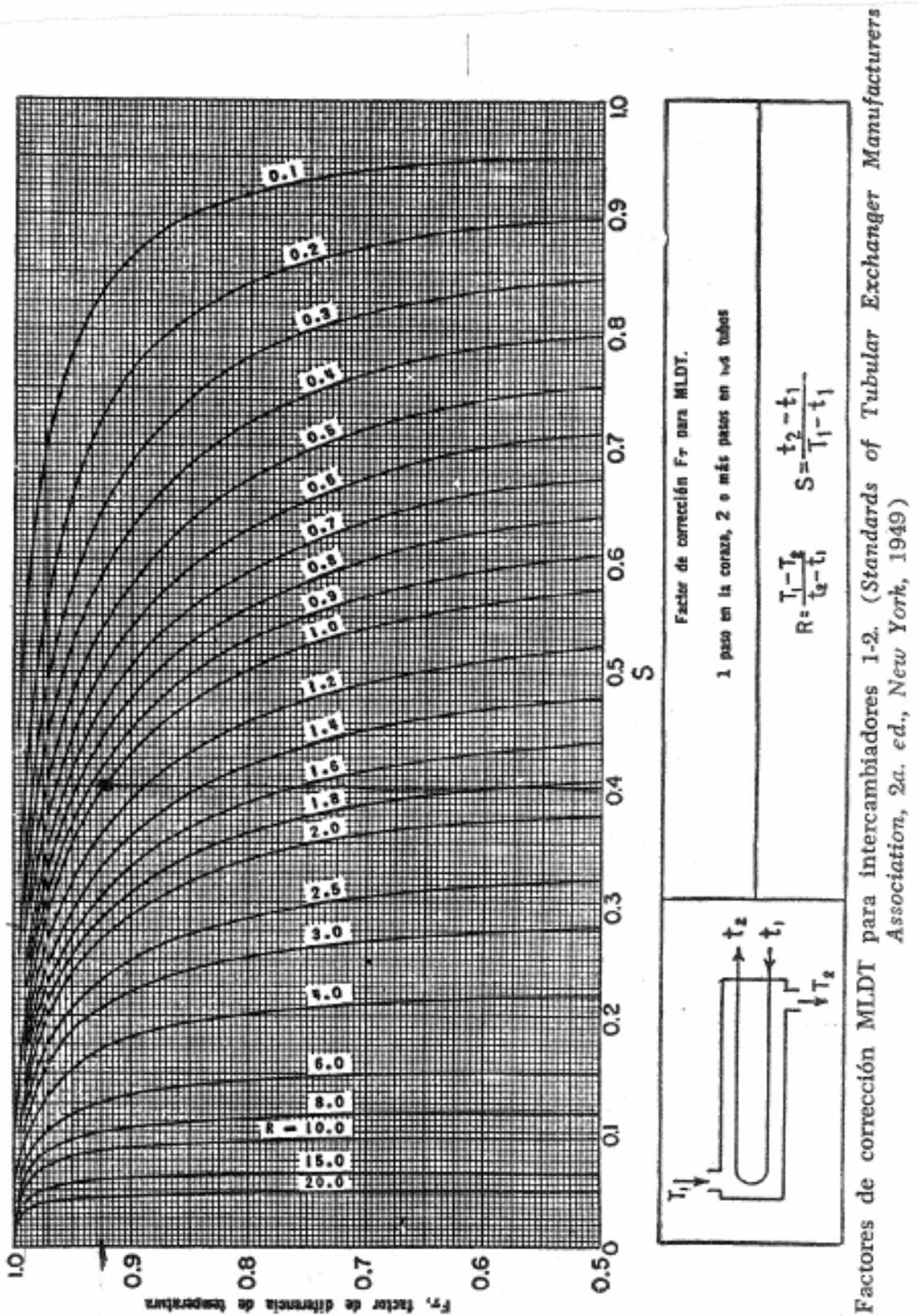


Figura A.2

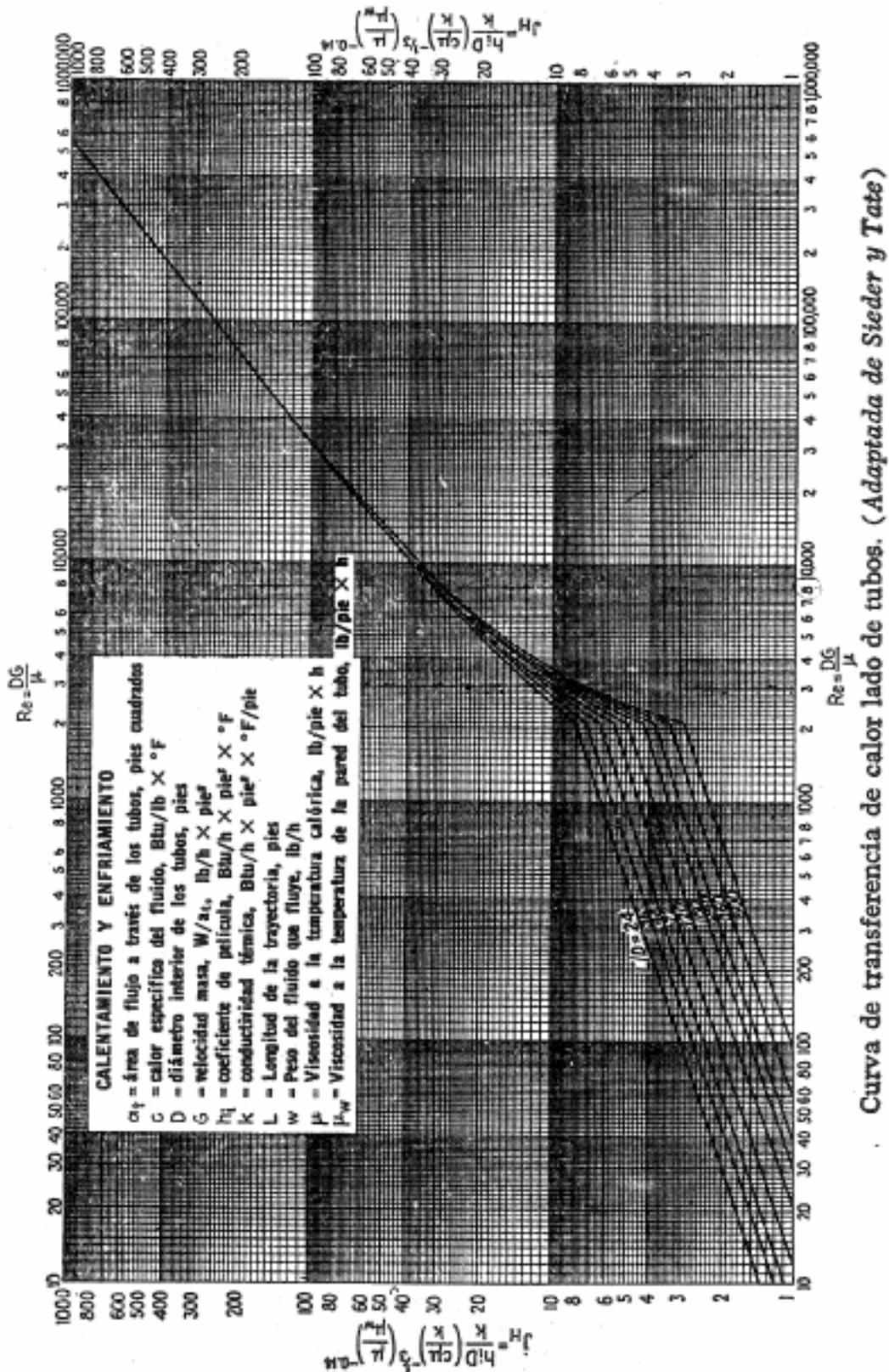
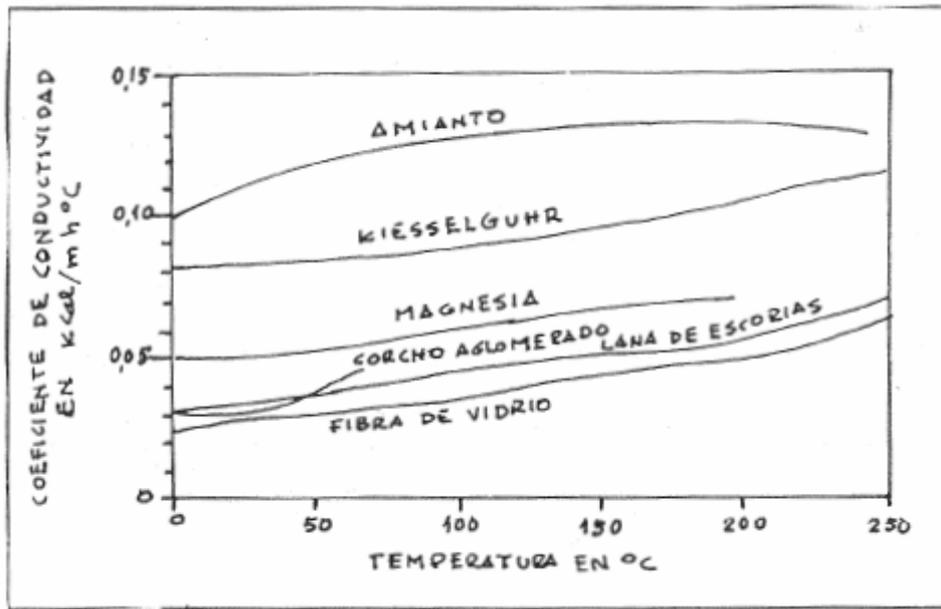
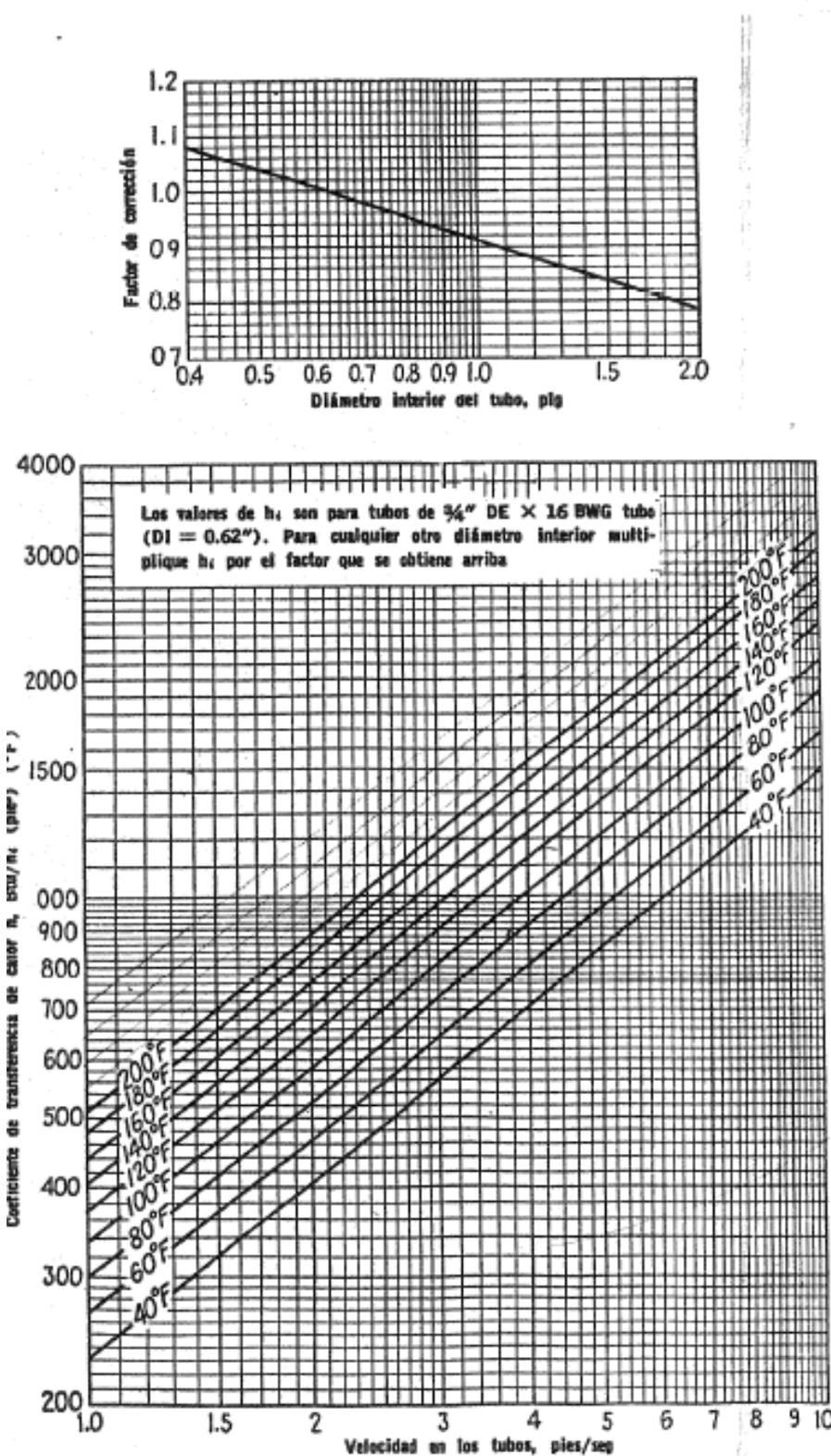


Figura A.3



Coefficients de conductivitat de alguns aïslants, en funció de la temperatura.

Figura A.4



Curva de transferencia de calor, agua en los tubos. [Adaptada de Eagle y Ferguson, Proc Roy., Soc. A127, 540 (1930)]

Figura A.5

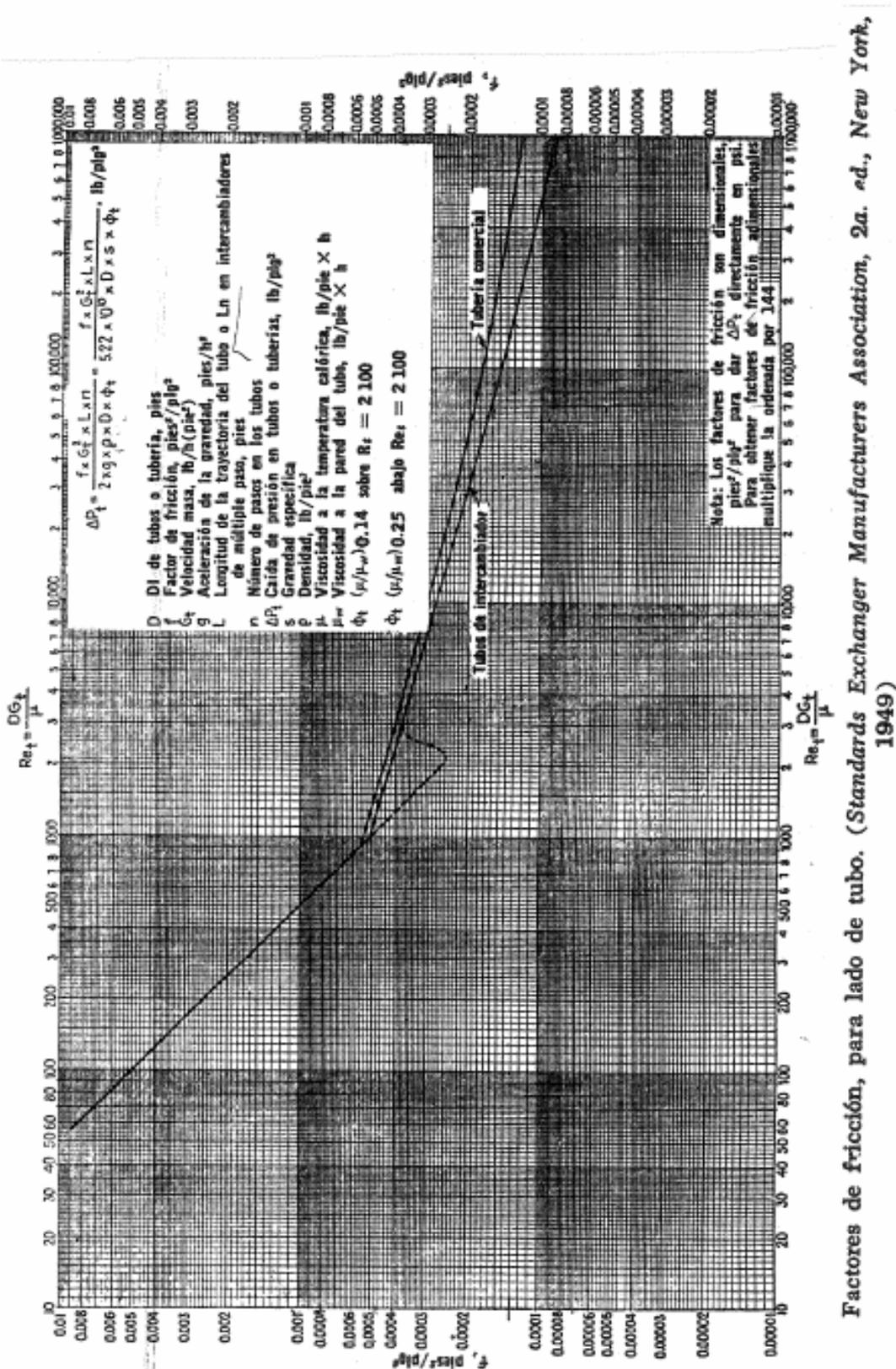
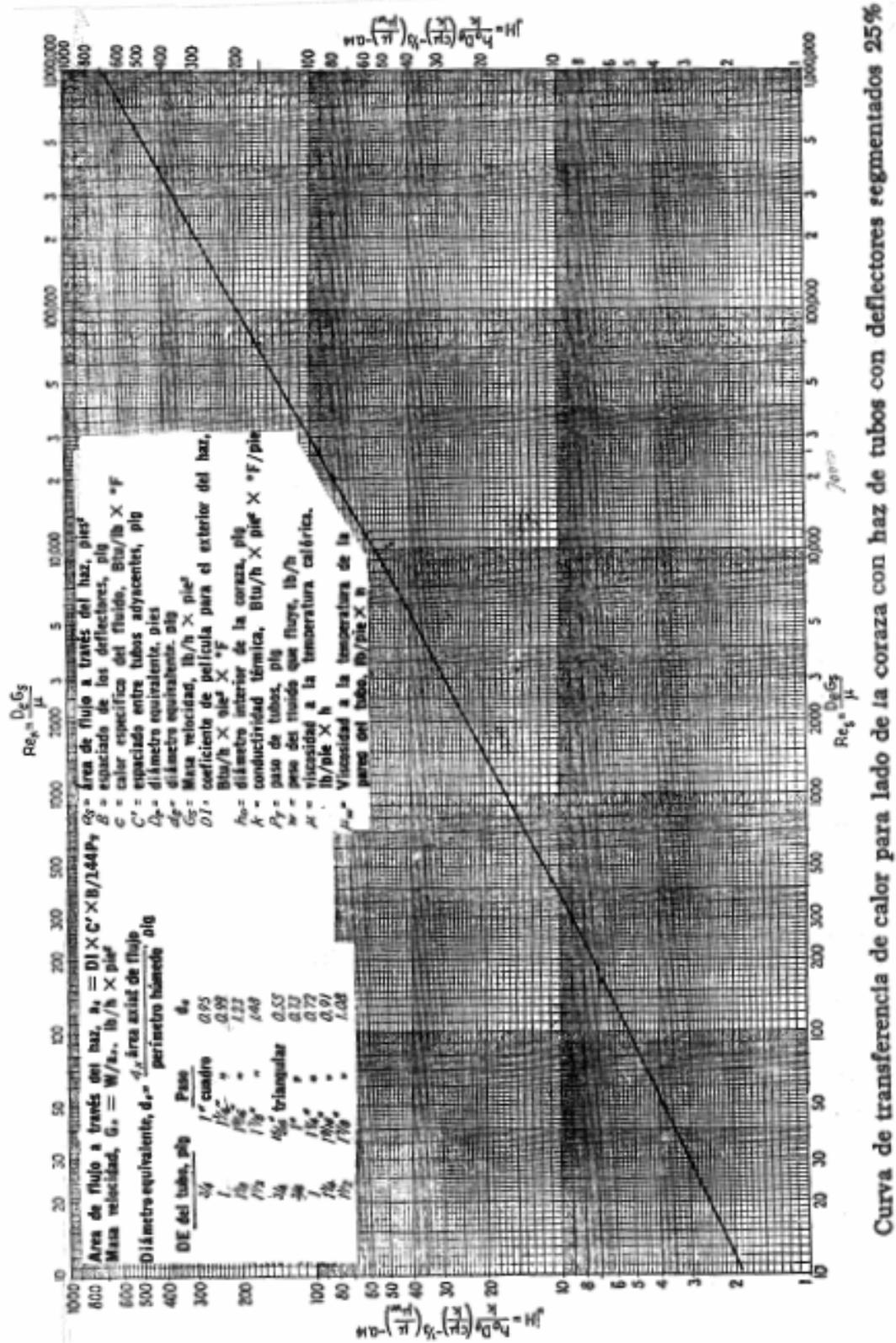


Figura A.6



Curva de transferencia de calor para lado de la coraza con haz de tubos con deflectores segmentados 25%

Figura A.7

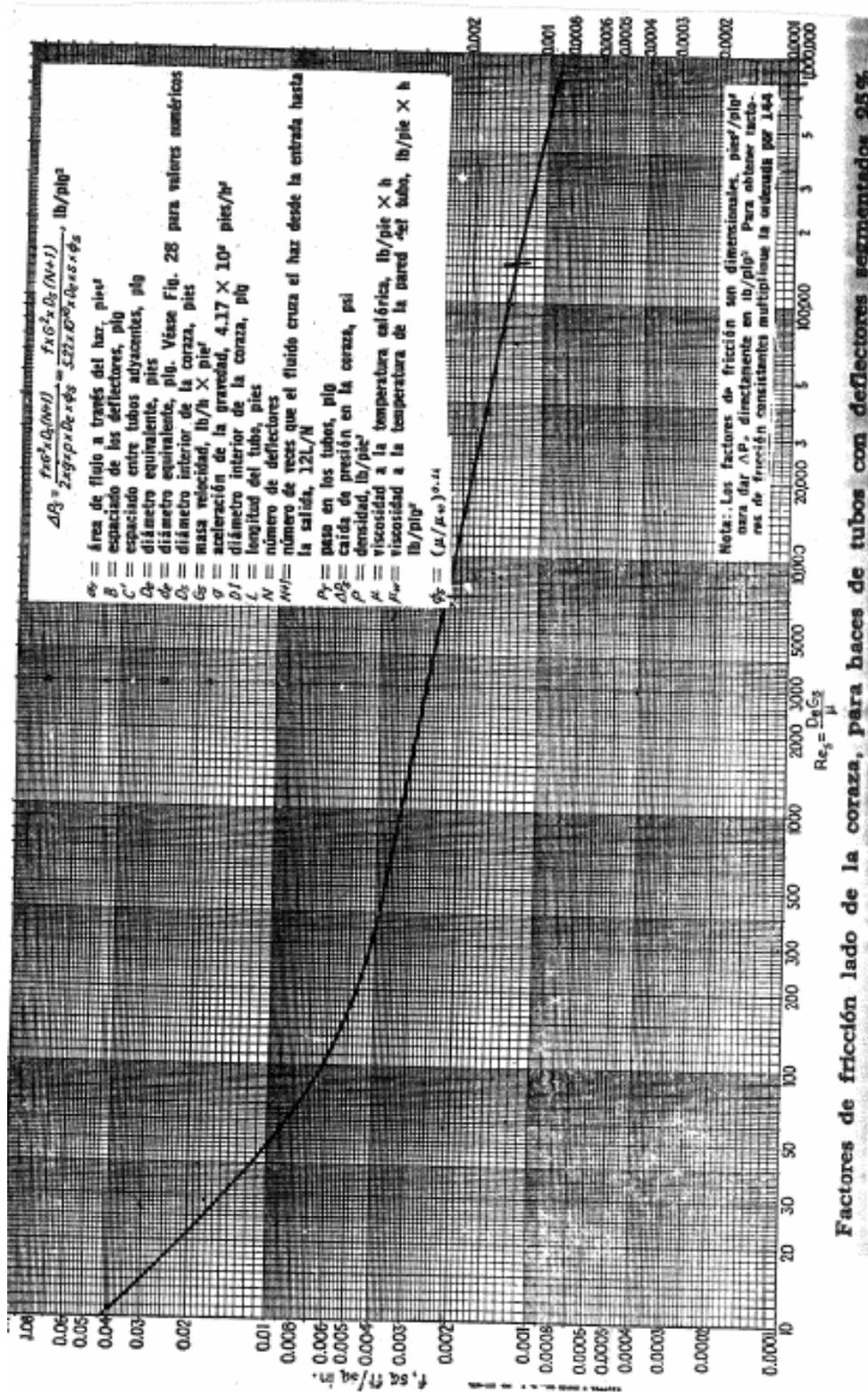


Figura A.8

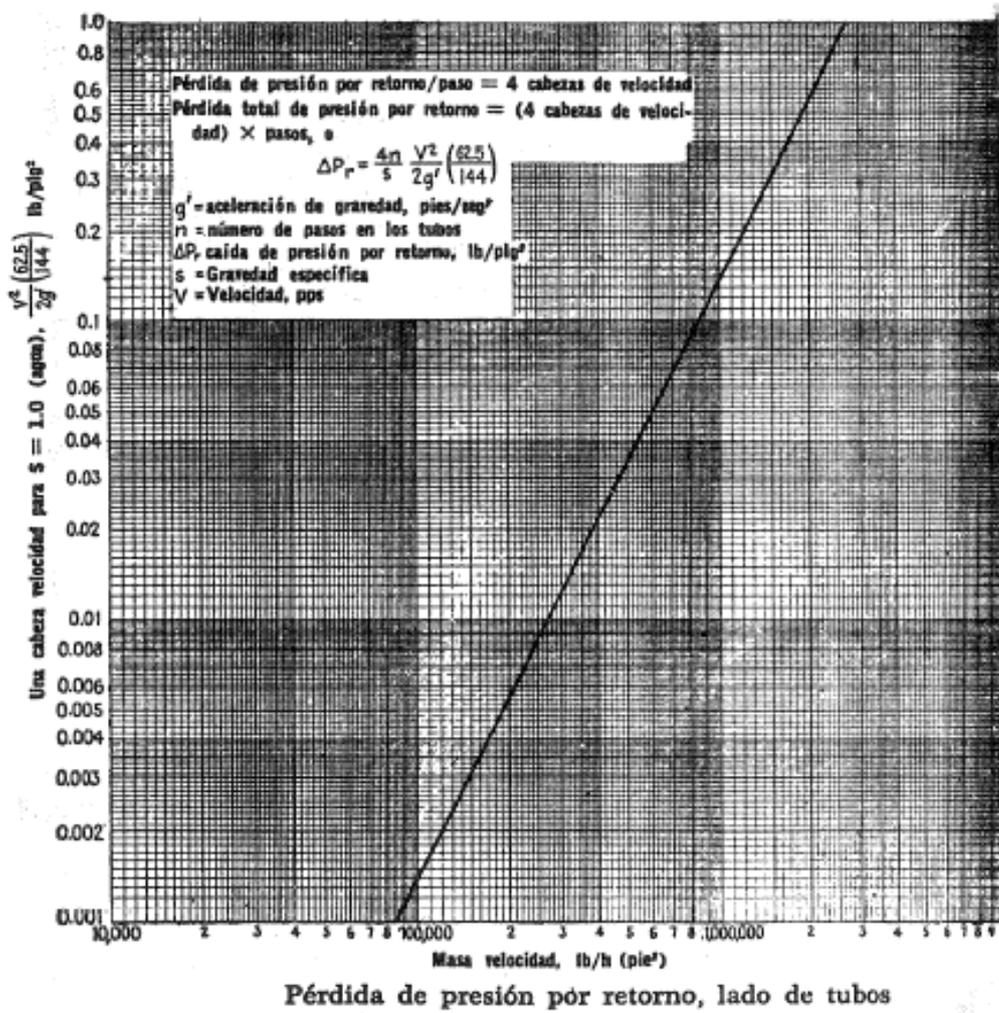


Figura A.9

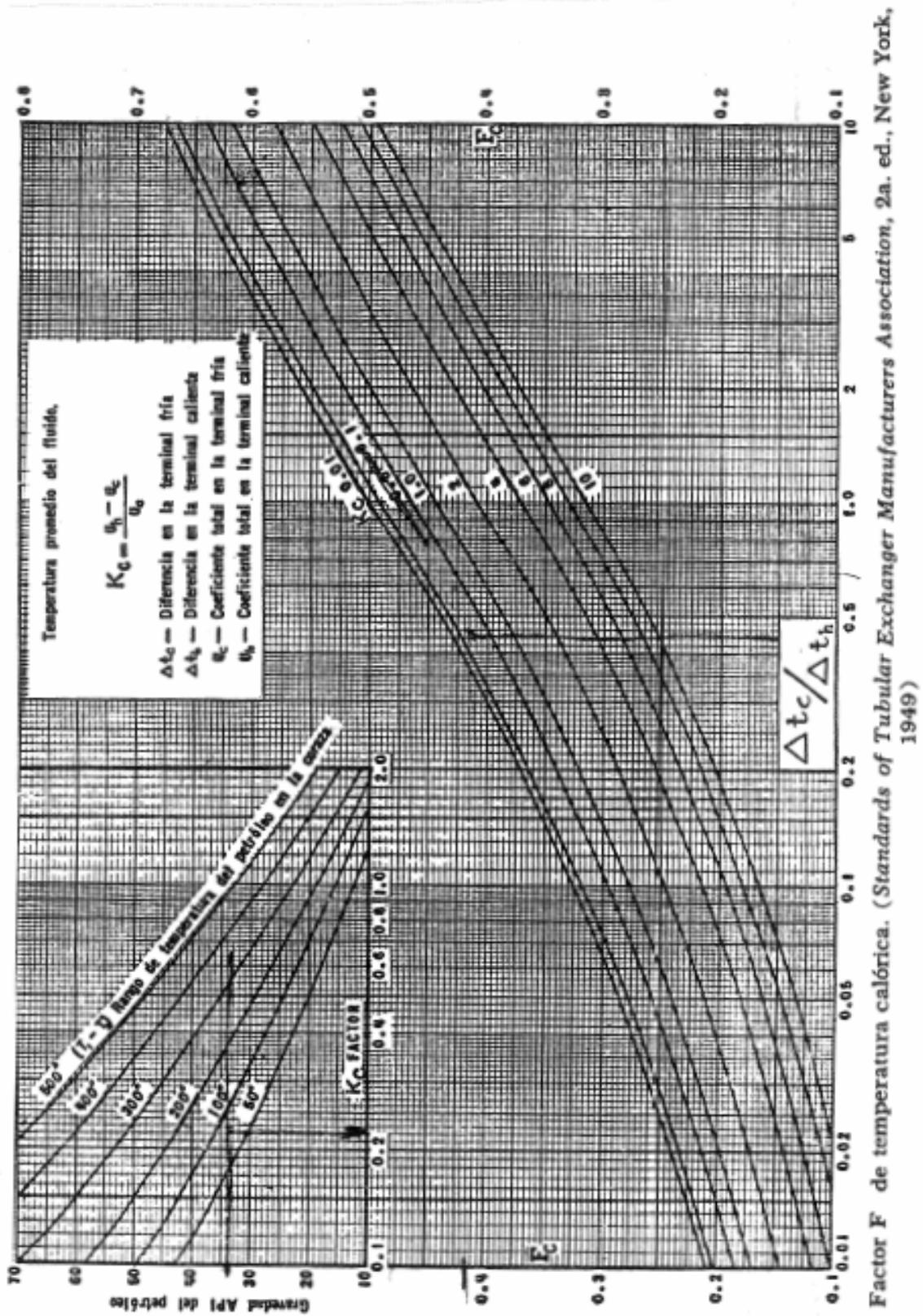
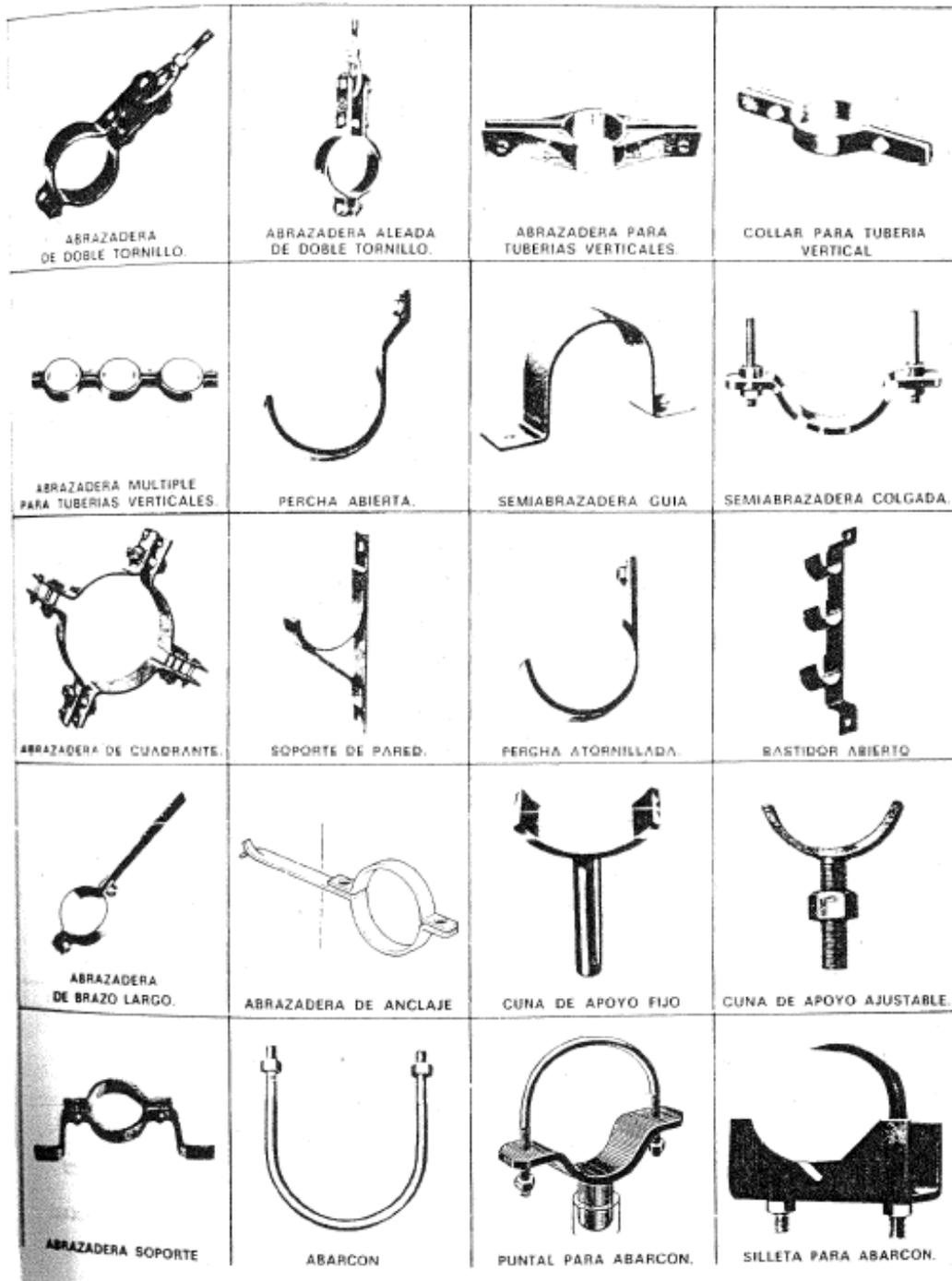


Figura A.10



Elementos más comunes para apoyo de tuberías

Figura A.11

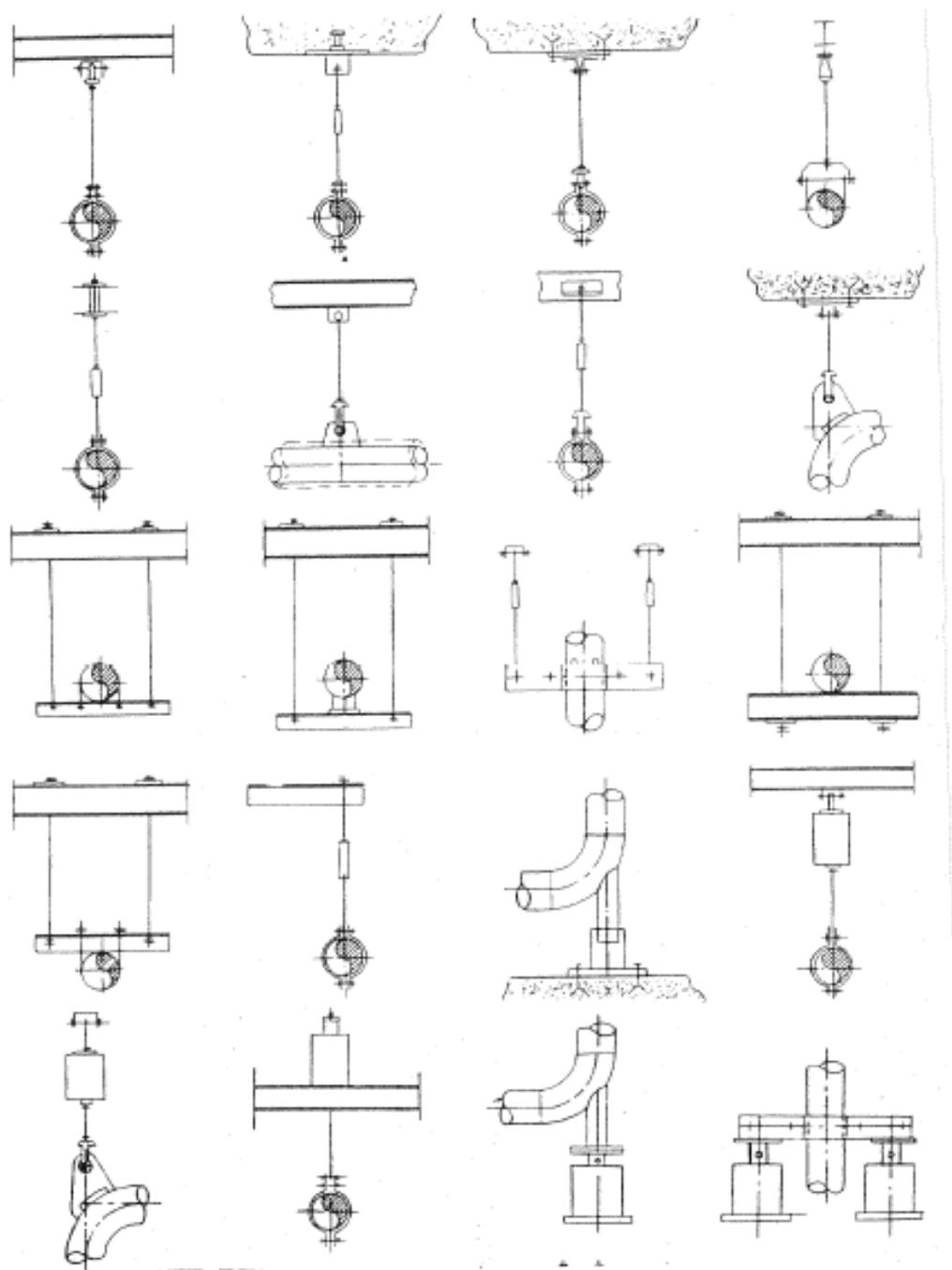
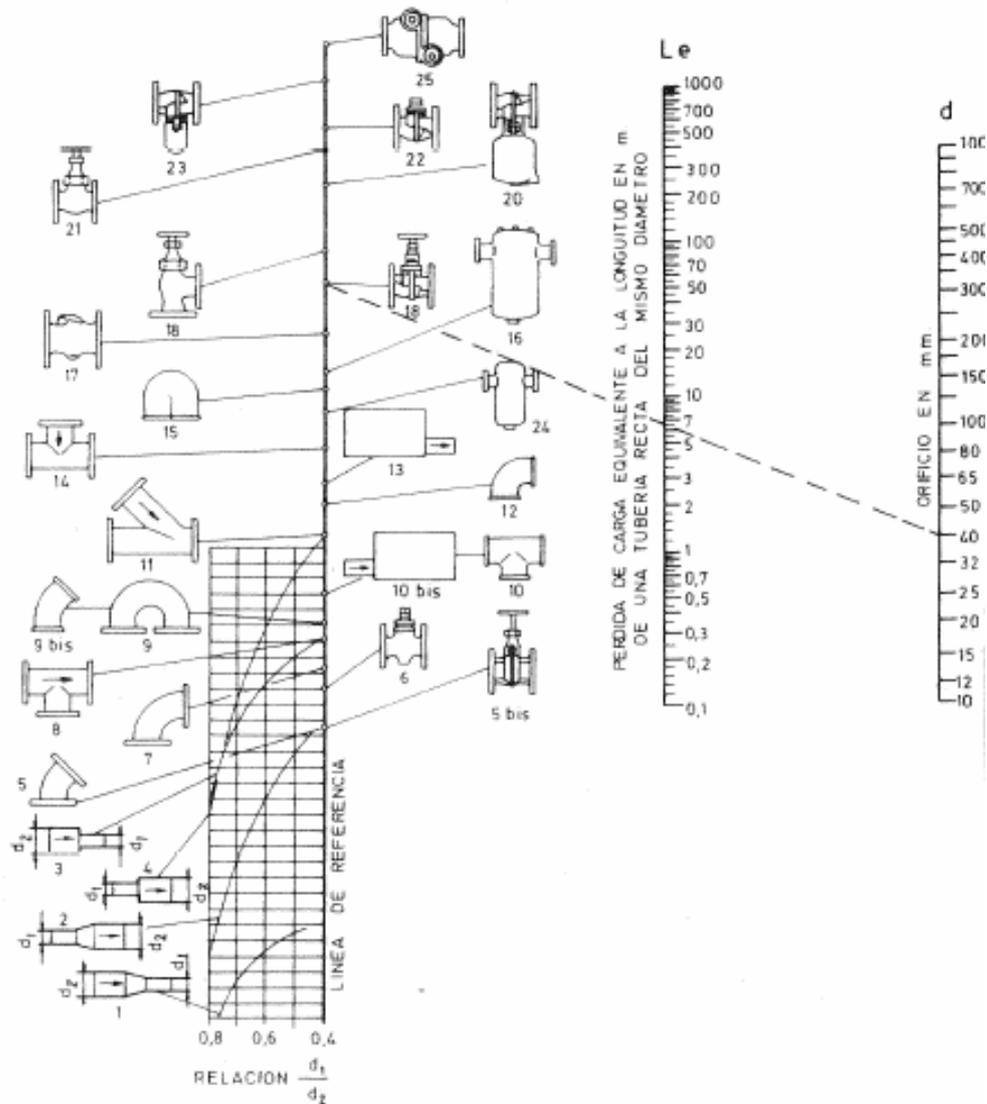


Figura A.12



NOMENCLATURA			
1	Estrechamiento con angulo de 20°	14	Te recta 90° con bridas
2	Ensanchamiento	15	Codo hembra 180° rosado
3	Estrechamiento brusco	16	Separador de aceite
4	Ensanchamiento brusco	17	Válvula de retención
5	Codo 45° con bridas *	18	" de asiento recta
5 bis	Válvula de compuerta	19	" " " angular
6	Válvula de macho	20	Filtro separador
7	Codo 90° con bridas *	21	Válvula de asiento normal
8	Te 90° con bridas *	22	" de retención guiada
9	Codo 180° con bridas *	23	Filtro de tamiz
9 bis	Codo 45° rosado	24	Separador de agua
10	Te 90° rosado	25	Clapeta automática de parada de vapor
11	Te inclinada 45° con bridas *	10 bis	Entrada a un depósito
12	Codo 90° rosado		
13	Salida de un depósito		
* para soldar			

. Equivalencias de pérdidas de carga en longitud recta de tubería.

Figura A.13

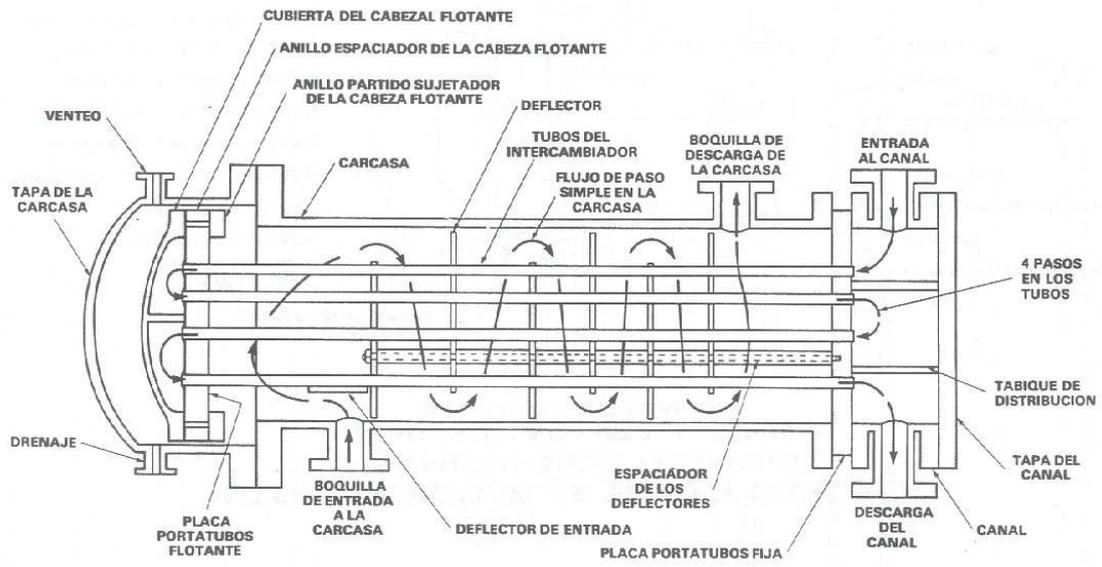
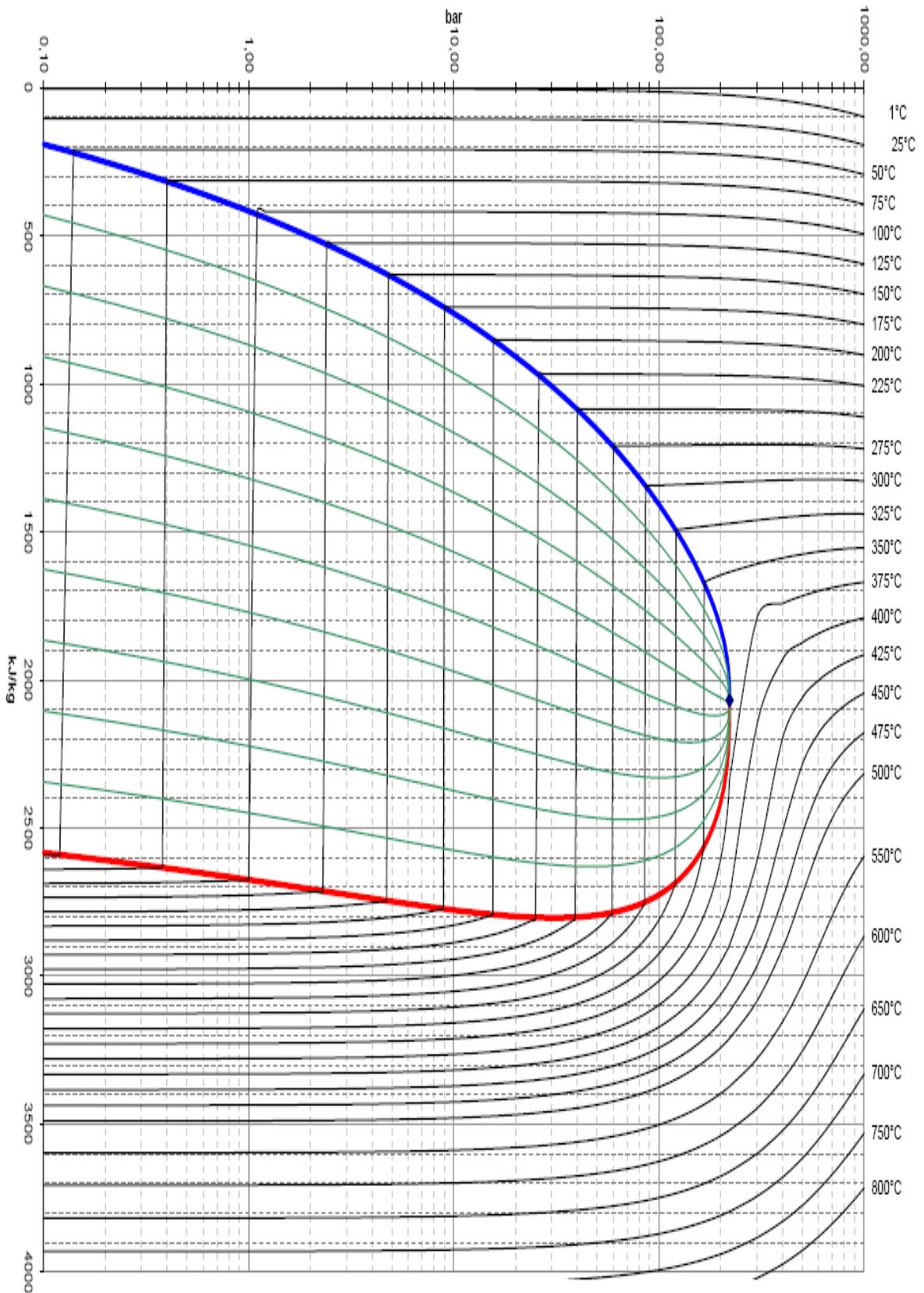


Figura A.14



UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

PROYECTO BÁSICO.

ÍNDICE PLANOS

PLANO OTR – X – 001 Plano de situación

PLANO OTR – X – 002 Plano de implantación preliminar

PLANO OTR – X – 003 Implantación de equipos

PLANO OTR – X – 004 Diagrama de flujo

PLANO OTR – X – 005 Diagrama de ingeniería

PLANO OTR – X – 006 Conexión de equipos planta

PLANO OTR – X – 007 Conexión intercambiador oxidador C-A

PLANO OTR – X – 008 Conexión oxidador caldera

PLANO OTR – X – 009 Conexión Intercambiador Caldera A-C

PLANO OTR – X – 010 Plantilla de barrenado OTR-E-001

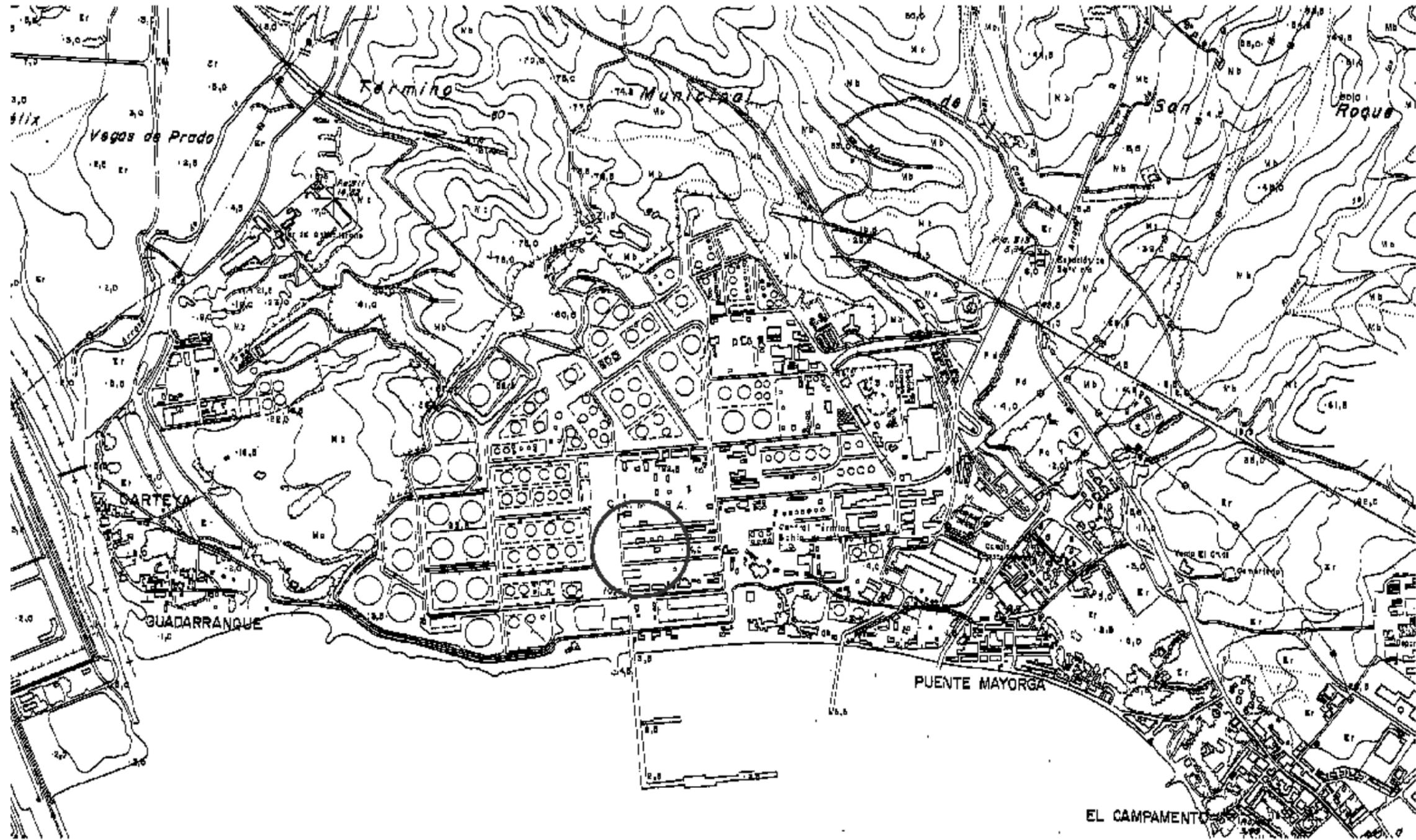
PLANO OTR – X – 011 Detalles OTR-E-001

PLANO OTR – X – 012 Cabezales OTR-E-001

PLANO OTR – X – 013 Oxidador térmico OTR-OT-001

PLANO OTR – X – 014 Detalles OTR-OT-001

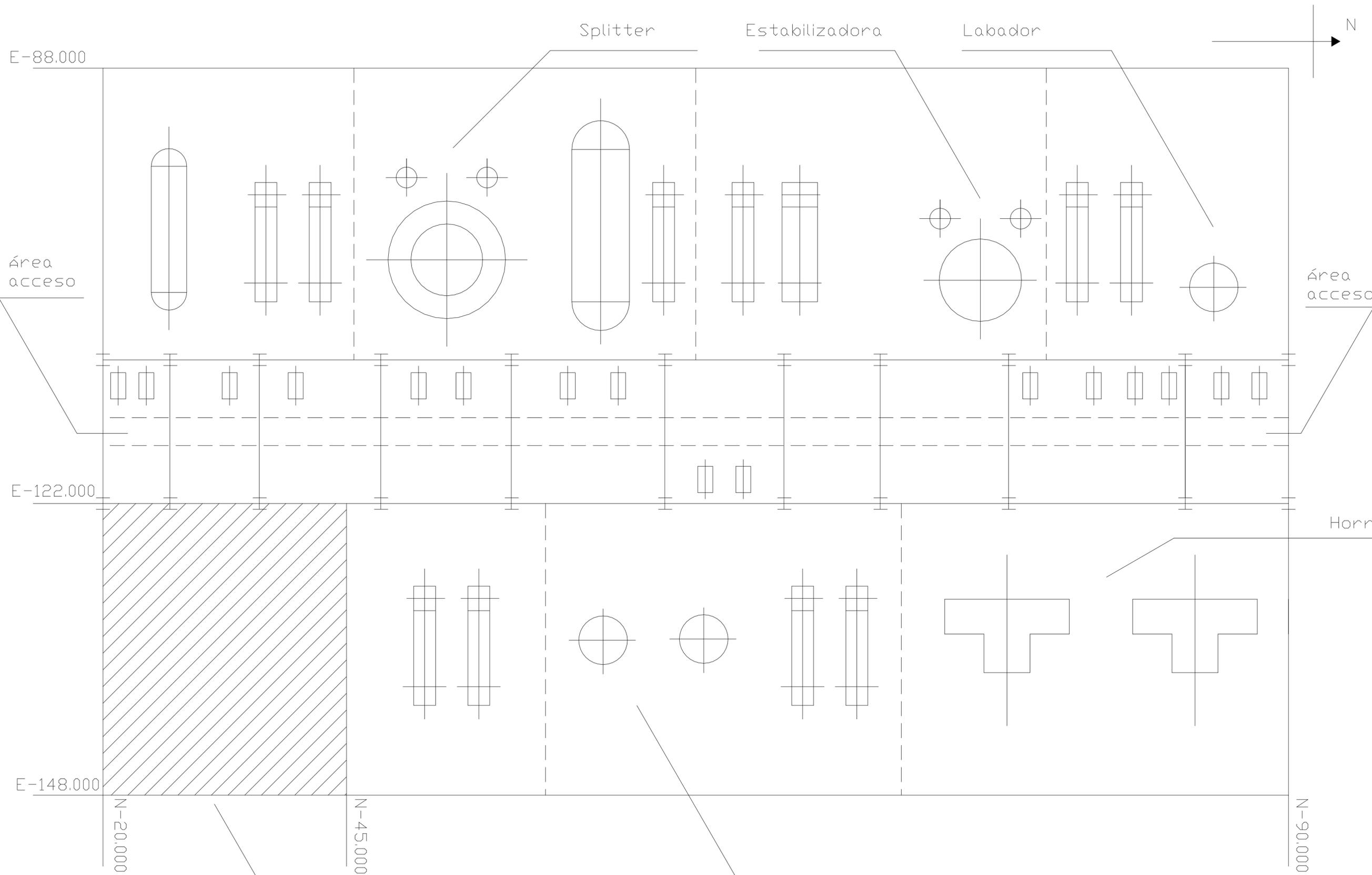
PLANO OTR – X – 015 Sistema de control tanque alimentación caldera



DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV
CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h

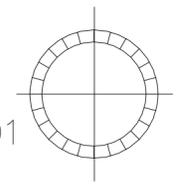
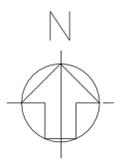
PLANO DE SITUACIÓN

FECHA	20-02-07	PLANO N ^o	EDICIÓN
ESCALA	1:10000	OTR - X - 001	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			

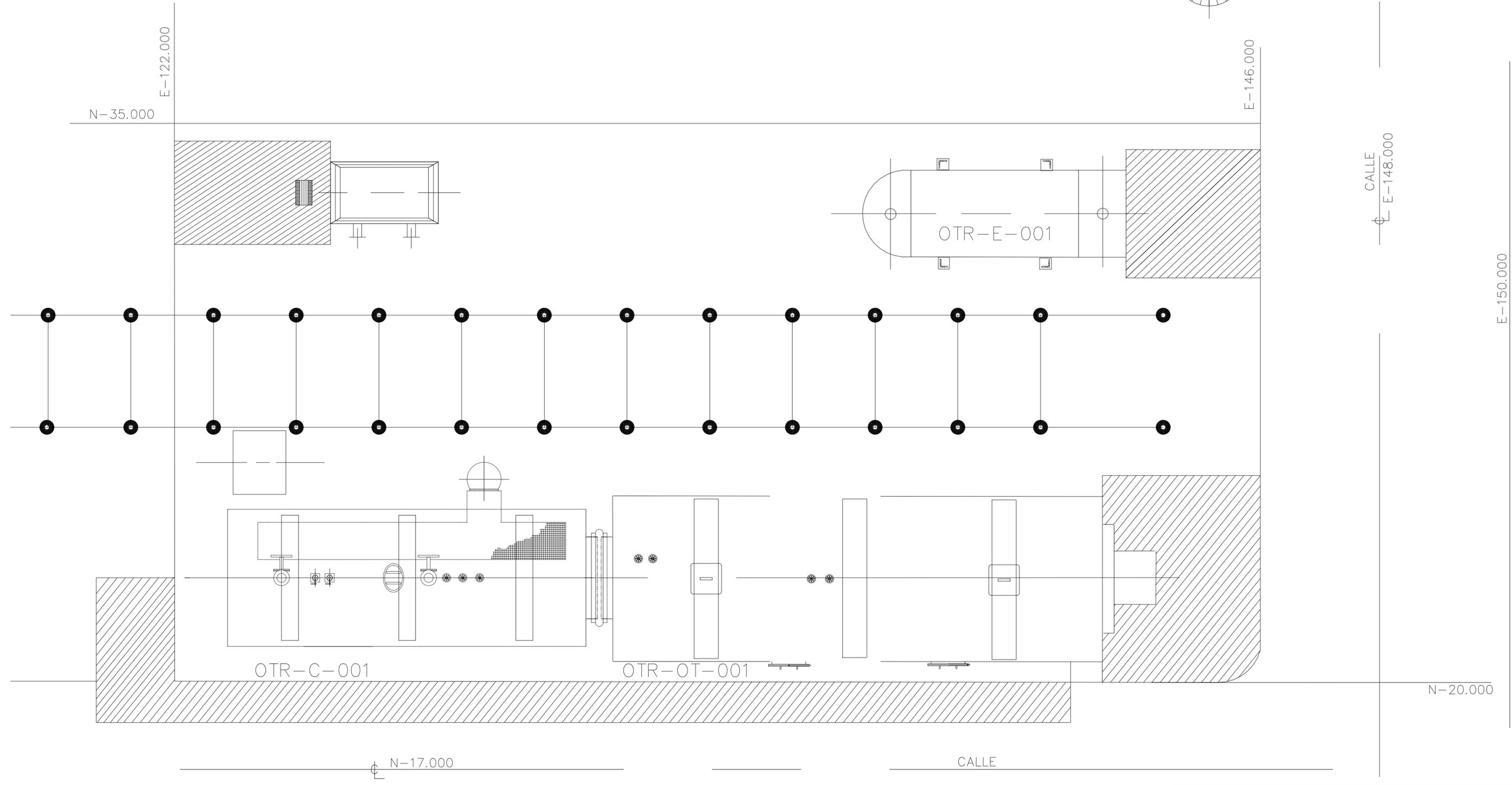


DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
PLANO DE IMPLANTACIÓN PRELIMINAR			
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 002	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			

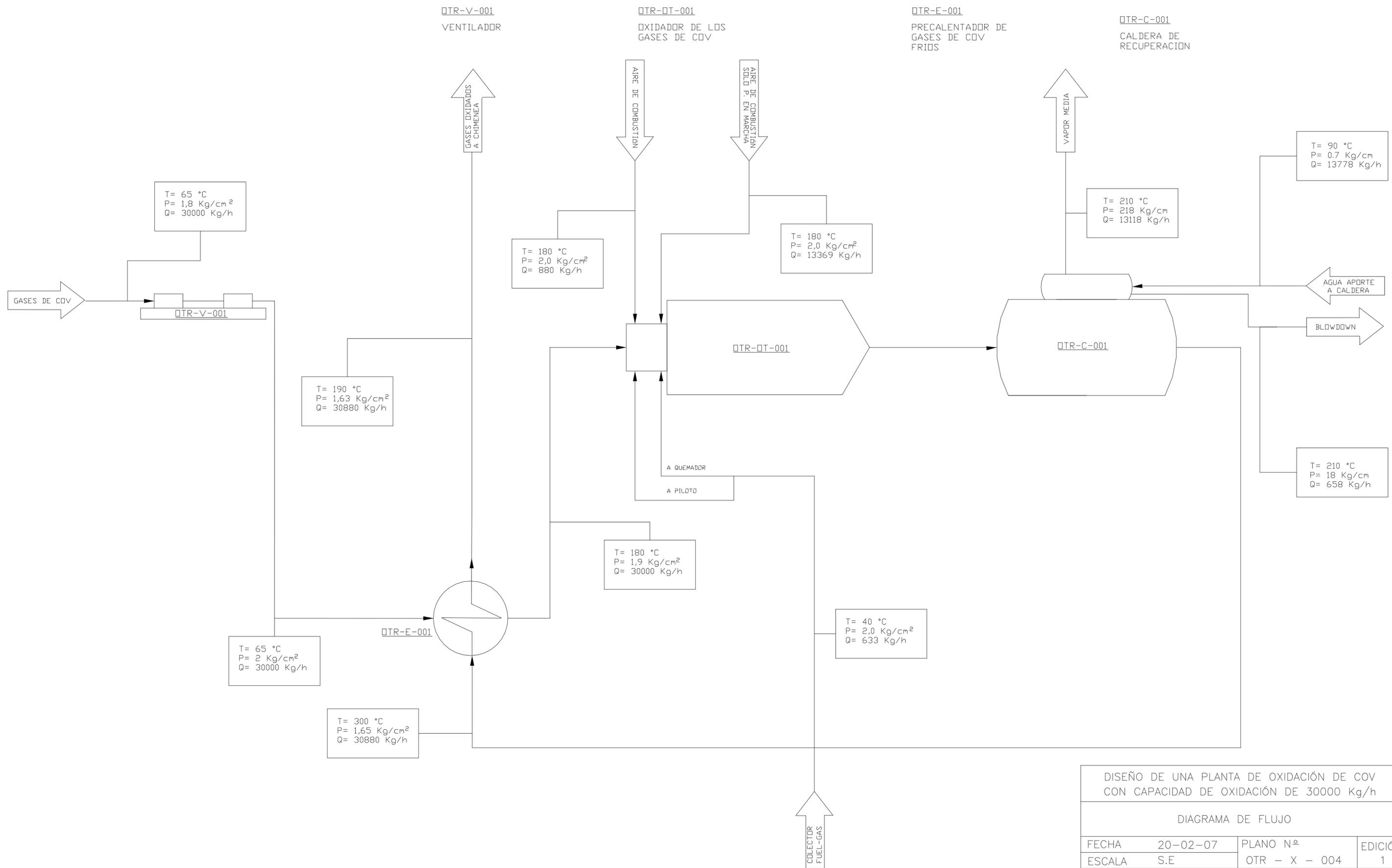
AREA DE IMPLANTACIÓN



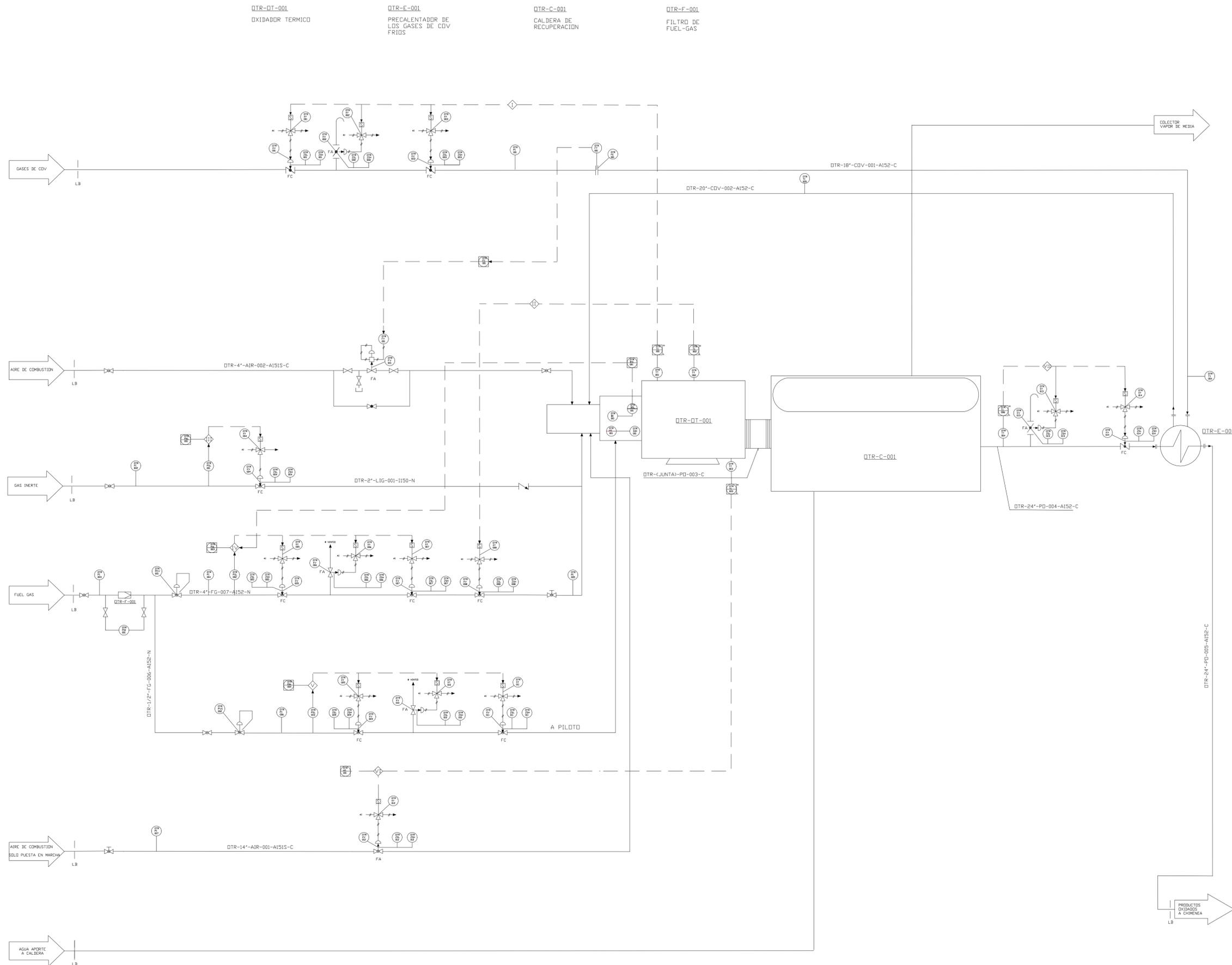
OTR-CH-001



DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
IMPLANTACIÓN DE EQUIPOS			
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 003	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			



DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
DIAGRAMA DE FLUJO			
FECHA	20-02-07	PLANO N ^o	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 004	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			



NOTAS GENERALES:

SIMBOLOS DE INSTRUMENTOS

- INSTRUMENTO MONTADO EN CAMPO
- INSTRUMENTO MONTADO EN PANEL LOCAL O AUXILIAR
- FUNCION CONFIGURADA EN S.C.D. ACCESIBLE AL OPERADOR

IDENTIFICACION DE LINEAS Y TUBERIAS

- LINEA PRINCIPAL DE PROCESO O DE SERVICIOS.
- LINEA SECUNDARIA DE PROCESO O DE SERVICIOS.
- SENAL NEUMATICA (INSTRUMENTOS)
- SENAL ELECTRICA (INSTRUMENTOS)
- LIMITE DE BATERIA

VALVULAS MANUALES

- VALVULA TIPO COMPUERTA
- VALVULA TIPO BOLBO
- VALVULA DE RETENCION
- VALVULA TIPO BOLBO
- VALVULA TIPO BOLBO

SIMBOLOGIA DE ELEMENTOS EN LINEA

- FILTRO DE GAS
- MEDIDOR DE CAUDAL
- TAPA ROSCADA/S.W.

IDENTIFICACION DE LINEAS

- DTR- 20' - CDV- A152- 001 - C
- TIPO DE AISLAMIENTO (VALIDO TAMBIEN PARA EQUIPOS)
 - C - CONSERVACION DEL CALOR
 - E - TRAZADO ELECT. Y CALORIF.
 - N - NADA
 - P - PROTECCION PERSONAL
 - Nº DE SERIE
 - ESPECIFICACION DE TUBERIAS *
 - FLUIDO
 - DIAMETRO
 - SERVICIO (OXIDACION TERMICA RECUPERATIVA)

SIMBOLOS DE SERVICIOS

- AIR AIRE
- FG FUEL GAS
- LIG GAS INERTE
- CDV COMPUUESTOS ORGANICOS VOLATILES
- PD PRODUCTOS OXIDADOS
- AIRE
- PRODUCTOS

ABREVIATURAS GENERALES

- LB LIMITE DE BATERIA

VALVULAS DE CONTROL

- ACTUADORES
 - NEUMATICO (MEMBRANA)
 - ELECTROMAG. (SOLENOIDE)
- CUERPO
 - VALVULA DE MARIPOSA
 - VALVULA DE BOLBO
 - RESTO DE VALVULAS
- AUTORREGULADORAS
 - AUTORREGULADORA (TIPO DE PRESION EN EL CUERPO DE LA VALVULA)

ABREVIATURAS REF. A INSTRUMENTOS

- H -ALARMA DE ALTA
- L -ALARMA DE BAJA

*ESPECIFICACIONES DE CEPISA (ANEXO)

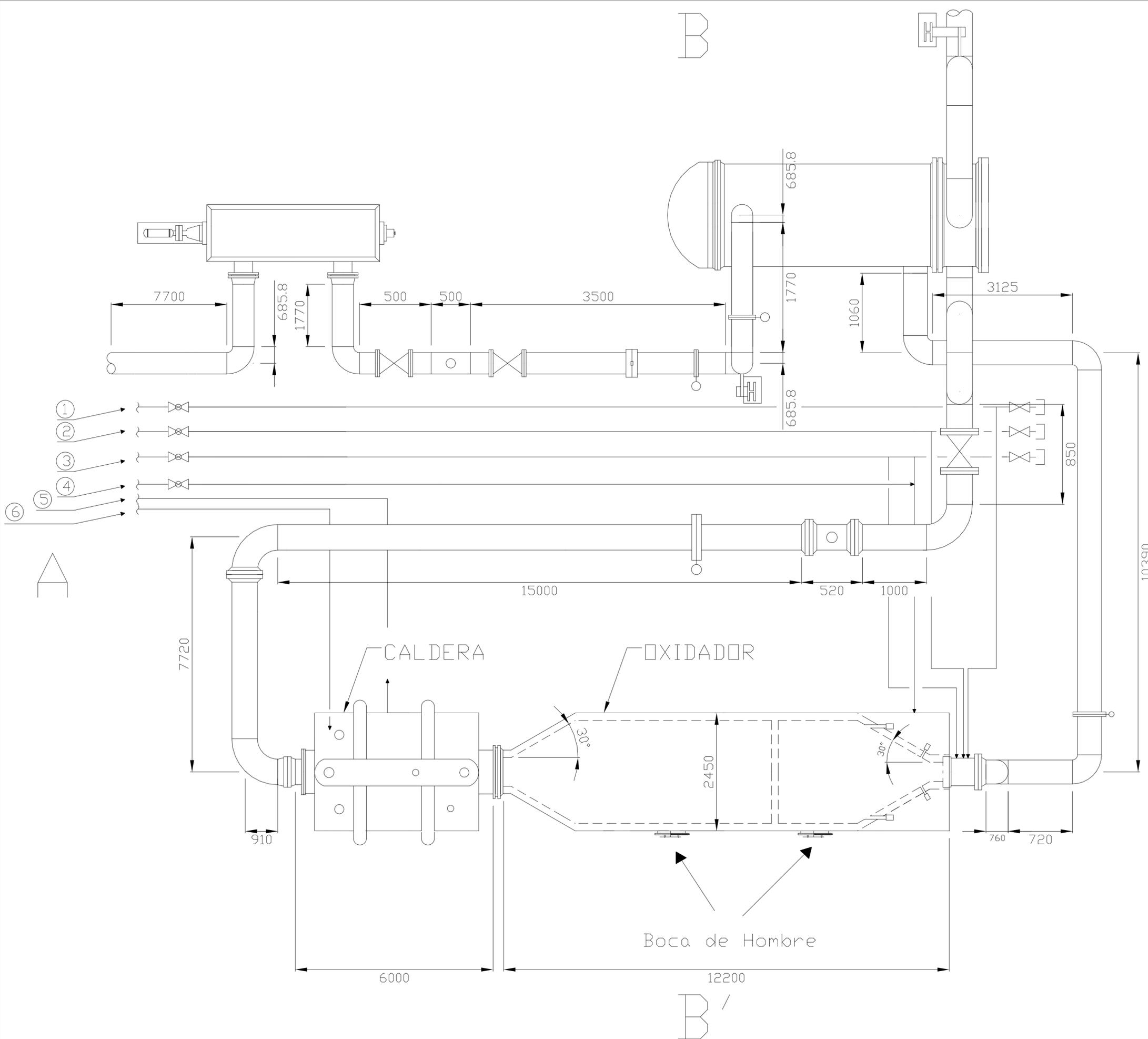
EQUIPOS:

- QTR-C-001 CALDERA (FUERA DEL ALCANCE DEL PROYECTO)
- QTR-E-001 PRECALENTADOR DE LOS GASES DE COV FRIOS
- QTR-DT-001 OXIDADOR TERMICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h

DIAGRAMA DE INGENIERÍA

FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 005	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUIMICO:		
REFINERÍA	PLANTA DE COMBUSTIBLES		



REFERENCIAS.

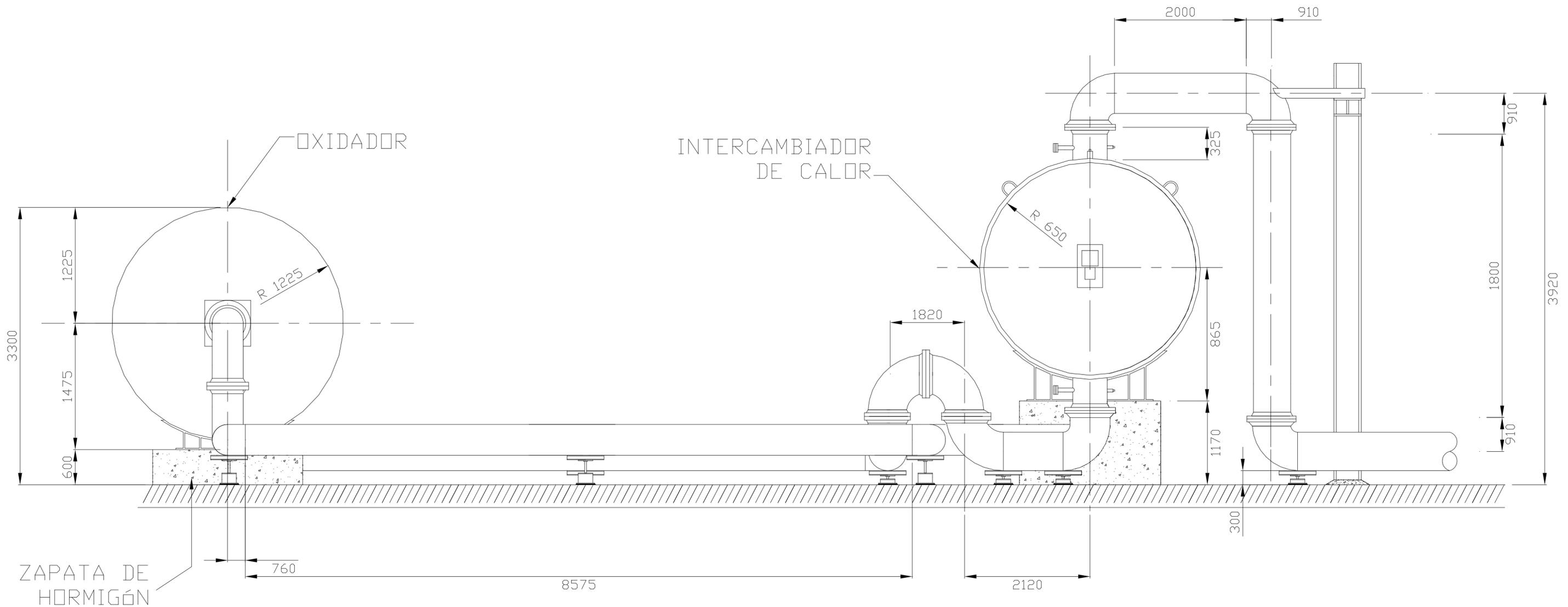
- 1-. LINEA DE AIRE DE COMBUSTIÓN.
- 2-. LINEA DE AIRE PARA ENCENDIDO.
- 3-. LINEA DEL FUEL GAS.
- 4-. LINEA DE INERTE.
- 5-. BLOWDOWN.
- 6-. LINEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA A CALDERA.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV
CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h

CONEXIÓN DE EQUIPOS PLANTA

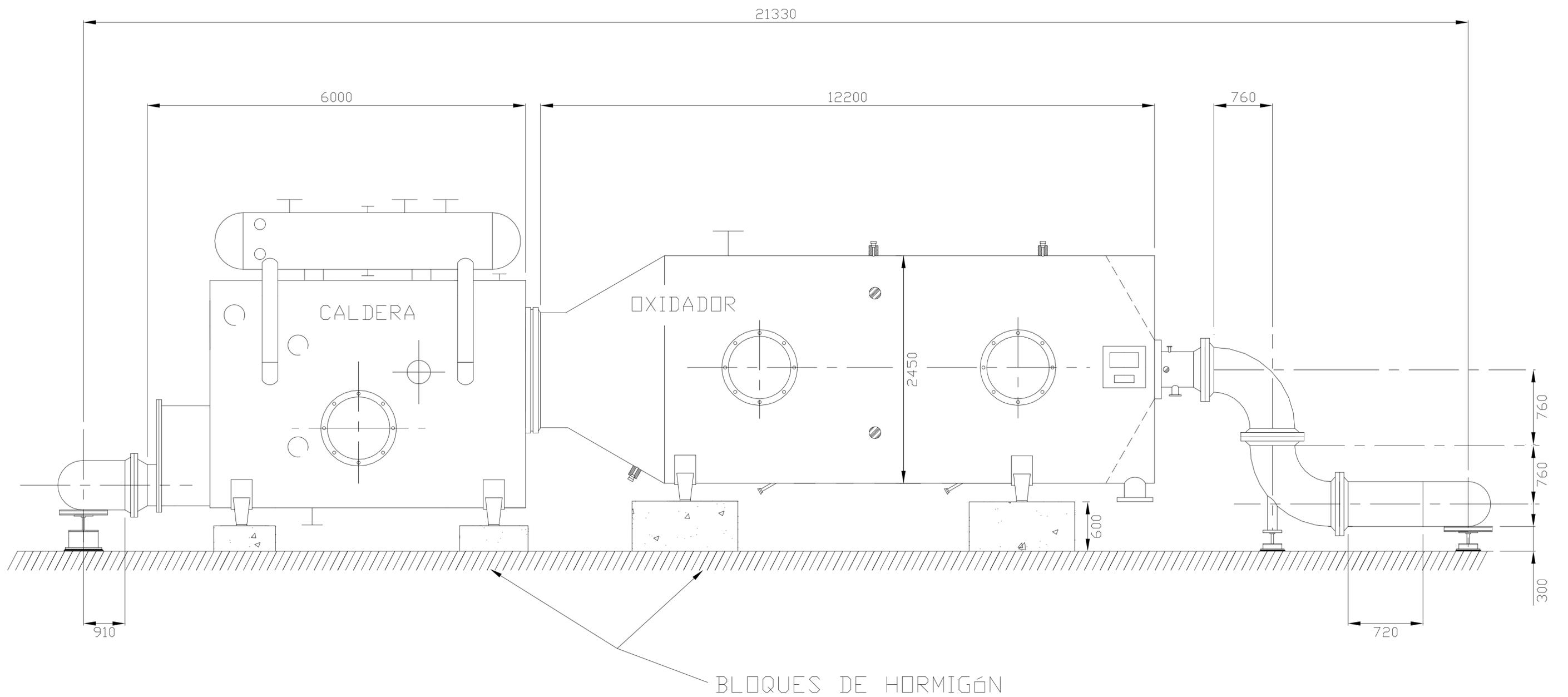
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 006	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	PLANTA DE COMBUSTIBLES		
		Ignacio Aguirre Fernández Prada	

CONEXIÓN INTERCAMBIADOR OXIDADOR



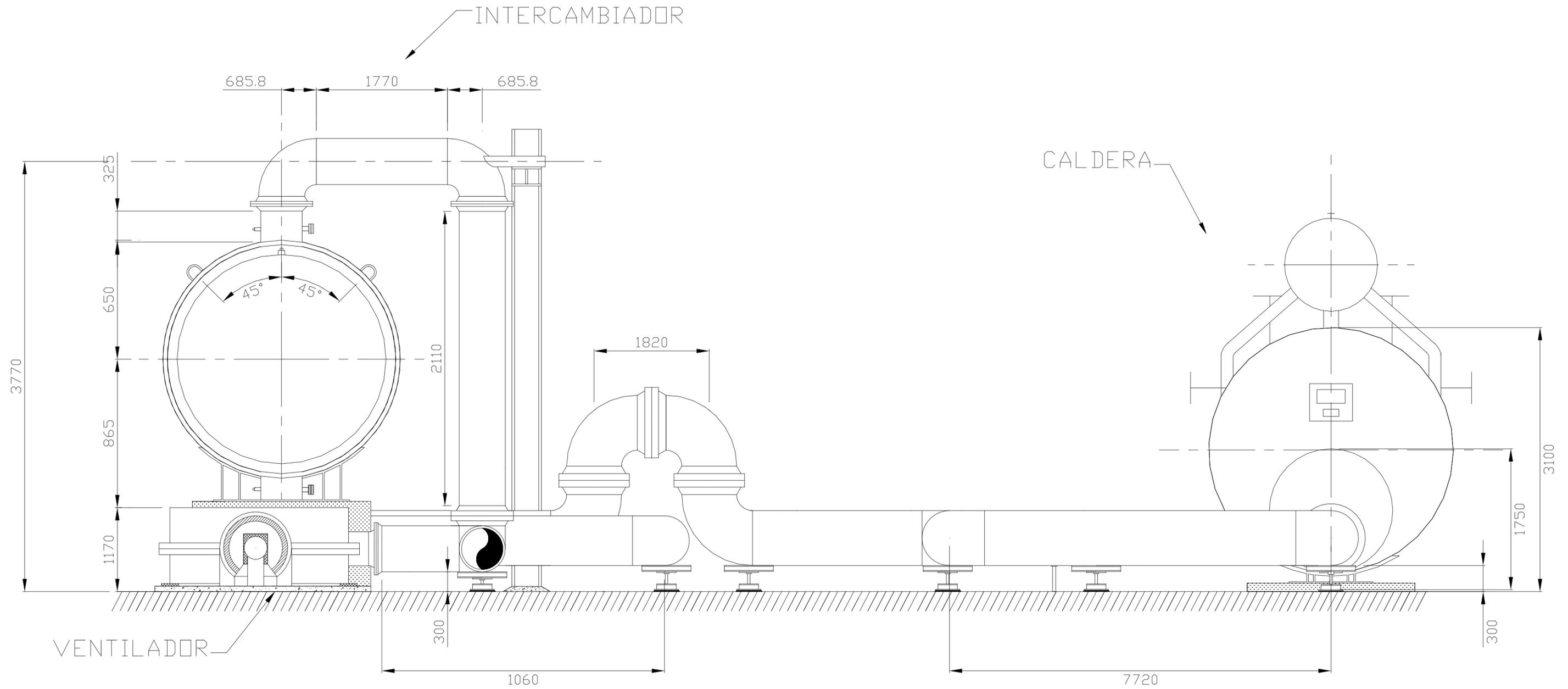
DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h		
CONEXIÓN INTERCAMBIADOR OXIDADOR C-A		
FECHA	20-02-07	PLANO N ^o
ESCALA	S.E	OTR - X - 007
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:	
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada	
PLANTA DE COMBUSTIBLES		
		EDICIÓN
		1

CONEXIÓN OXIDADOR CALDERA

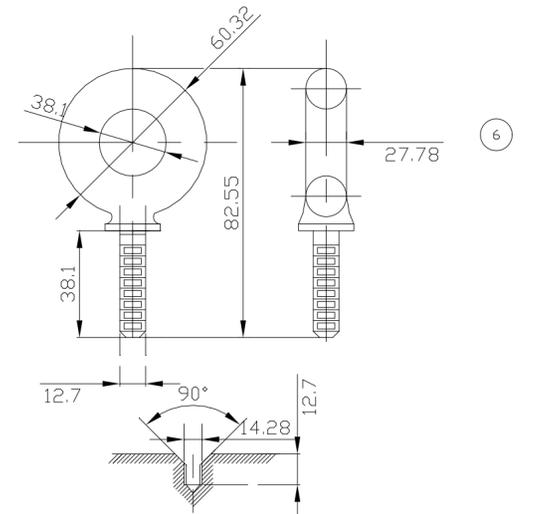
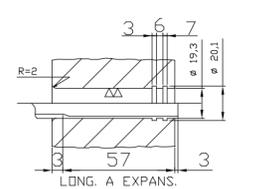
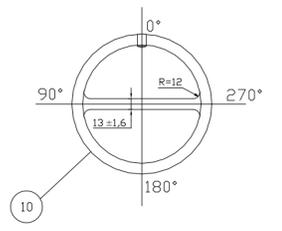
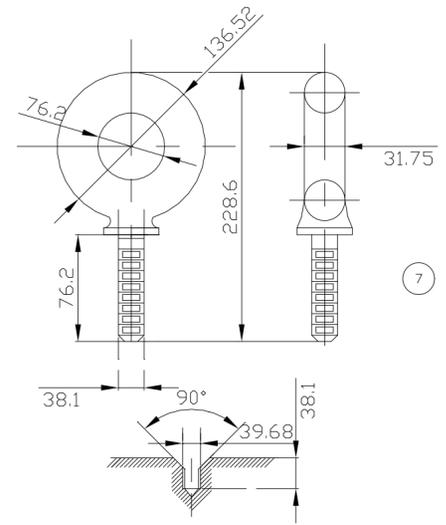
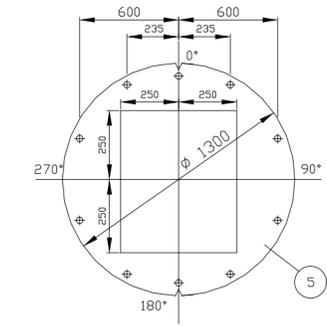
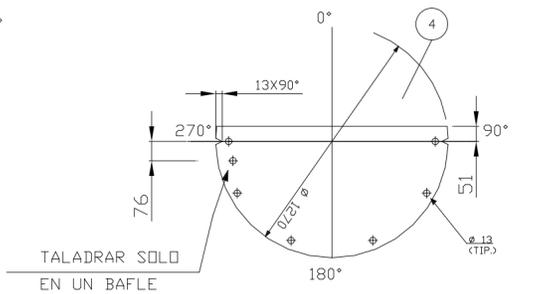
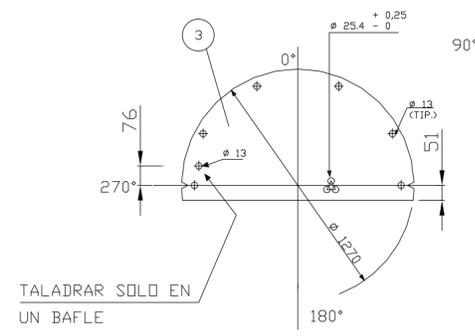
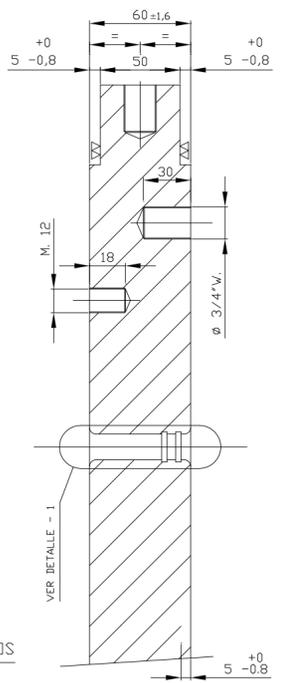
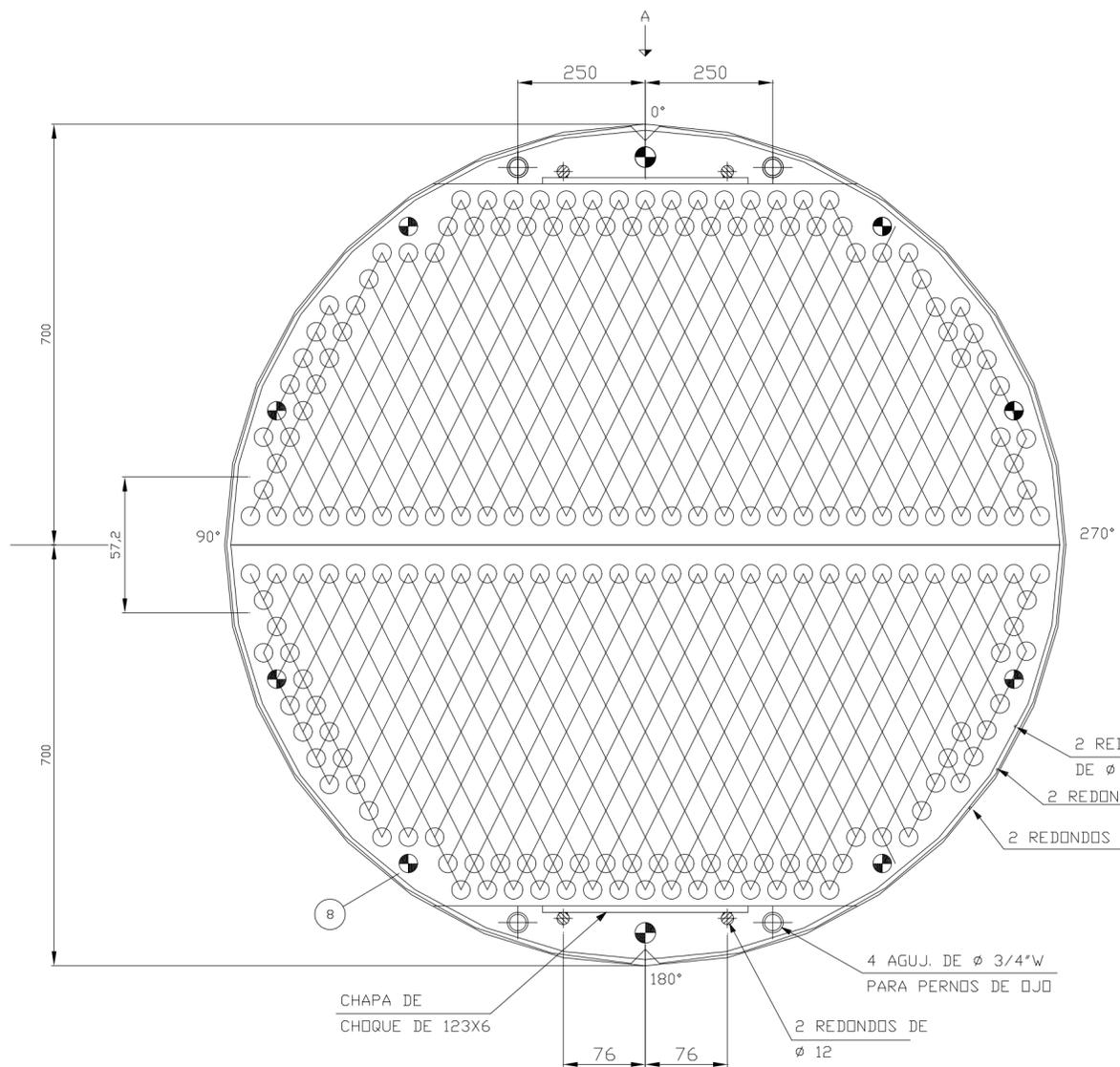


DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
CONEXIÓN OXIDADOR CALDERA			
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 008	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			

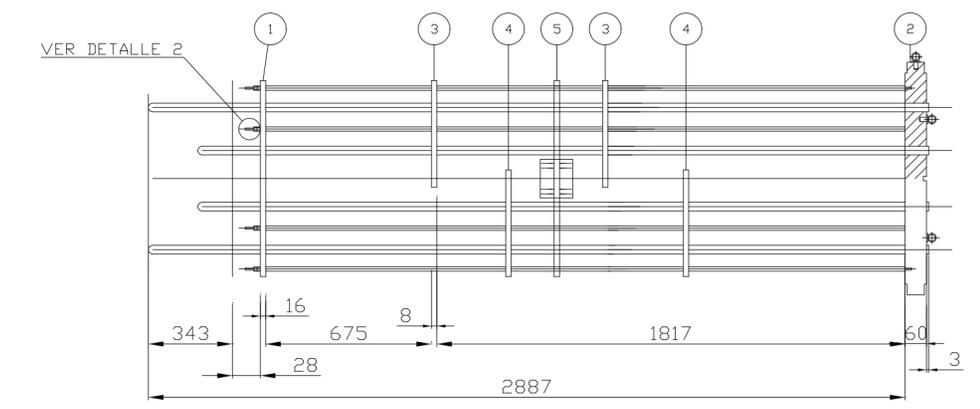
CONEXIÓN INTERCAMBIADOR CALDERA



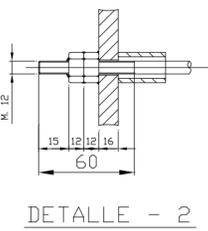
DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
CONEXIÓN INTERCAMBIADOR CALDERA A-C			
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 009	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	Ignacio Aguirre Fernández Prada		
PLANTA DE COMBUSTIBLES			



9 719 1438 AGUJ. PARA 1438 TUBOS RECTOS DE Ø 3/4" PASO DE 25,4' MM.



DETALLE - 1



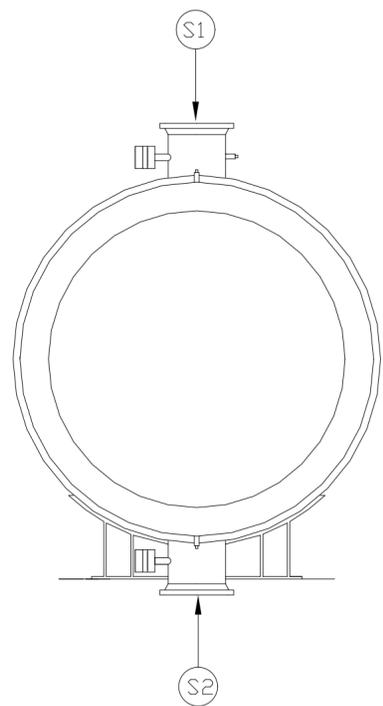
DETALLE - 2

MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN	MATERIAL
	10	2	N° pasos	
	9	1438	Tubo de transferencia	3/4" BWG 14 2500 mm L SA - 179
	8	10	Varilla tensora	Ø 13 2500 L SA - 36
	7	1	Tornillo de ojo	Ø 38.1 76.2 L SA - 194 -2H
	6	4	Tornillo de ojo	Ø 12.7 38.1 L SA - 194 -2H
	5	1	Pantalla soporte	Ø 1270 SA - 36
	4	2	Mampara inferior	Ø 1270 SA - 36
	3	2	Mampara superior	Ø 1270 SA - 36
	2	1	Espejo empacado	Ø 1285.8 SA - 105
	1	1	Placa soporte	Ø 1300 SA - 36

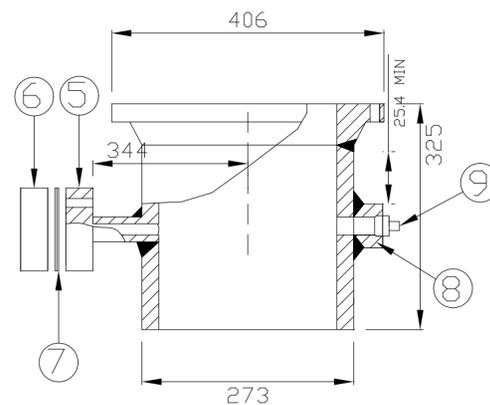
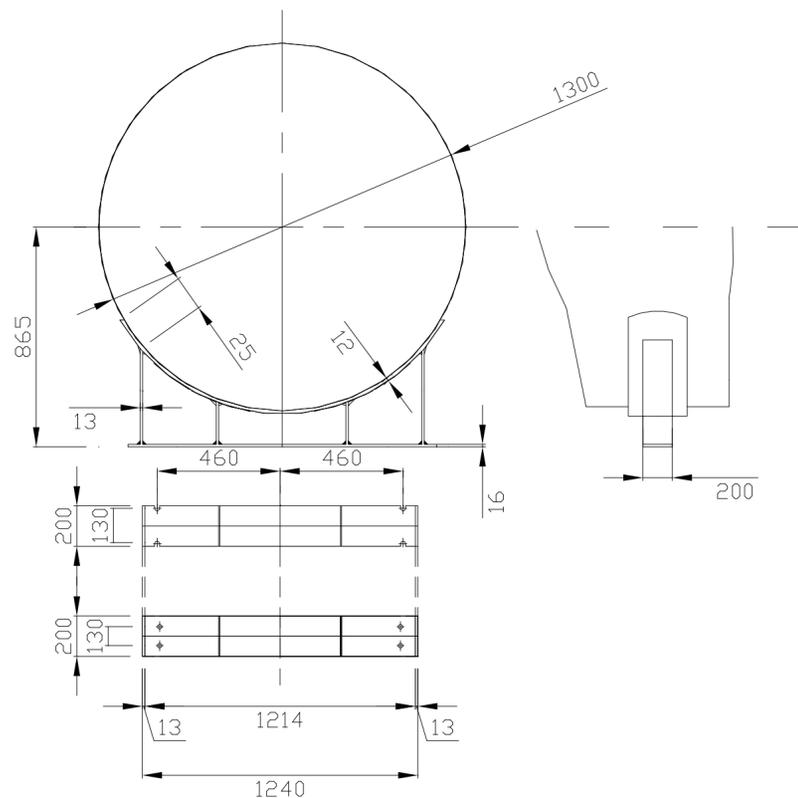
OBSERVACIONES

- 1-. Para cambiadores de calor con espejos fijos, se recomienda usar tubos SA-210-c o SA-210-A1.
- 2-. A menos que se indique otra cosa, la tolerancia a la corrosión será de 3.2 mm.
- 3-. Todas la cotas vienen expresadas en mm, excepto donde se indique.
- 4-. La prueba hidrostática se realizará por un periodo de dos horas, y con agua a una temperatura mínima de 10°C.
- 5-. Los bordes y vértices del interior del aparato serán redondeados, y las escamas o rebabas eliminadas.
- 6-. Se deberá untar con lubricante adecuado la tornillería.

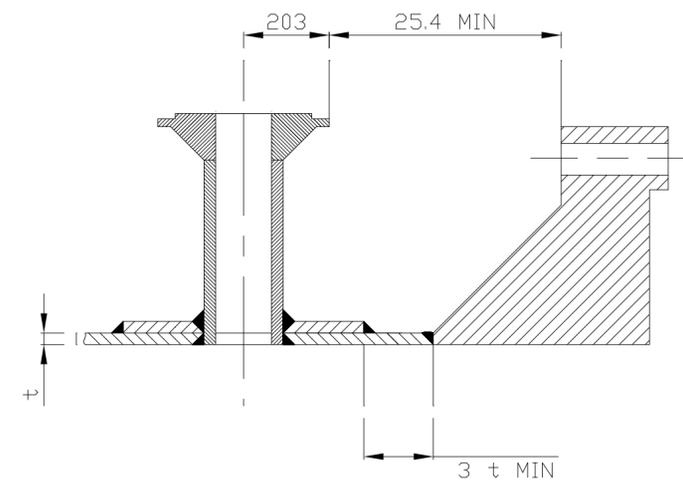
DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h		
PLANTILLA DE BARRENADO OTR- E - 001		
FECHA	PLANO N°	EDICIÓN
20-02-07		
ESCALA S.E	OTR - X - 010	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:	
REFINERÍA		
PLANTA DE COMBUSTIBLES	Ignacio Aguirre Fernández Prada	



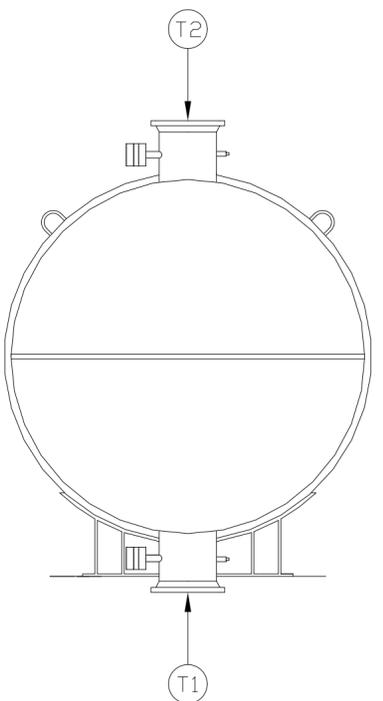
VISTA POR "A"



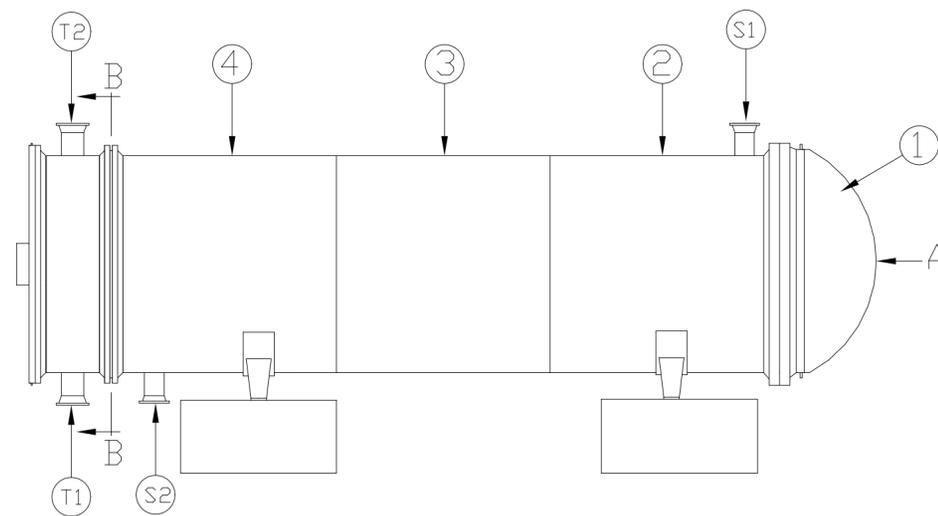
TUBULADURA
S1 T1 T2



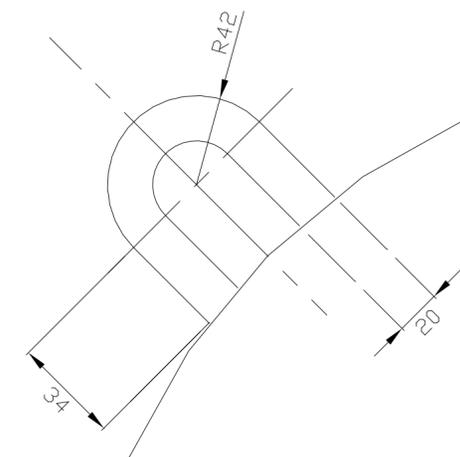
TORNILLO DE PRESIÓN



SECCIÓN B-B



CONJUNTO VISTA ALZADO

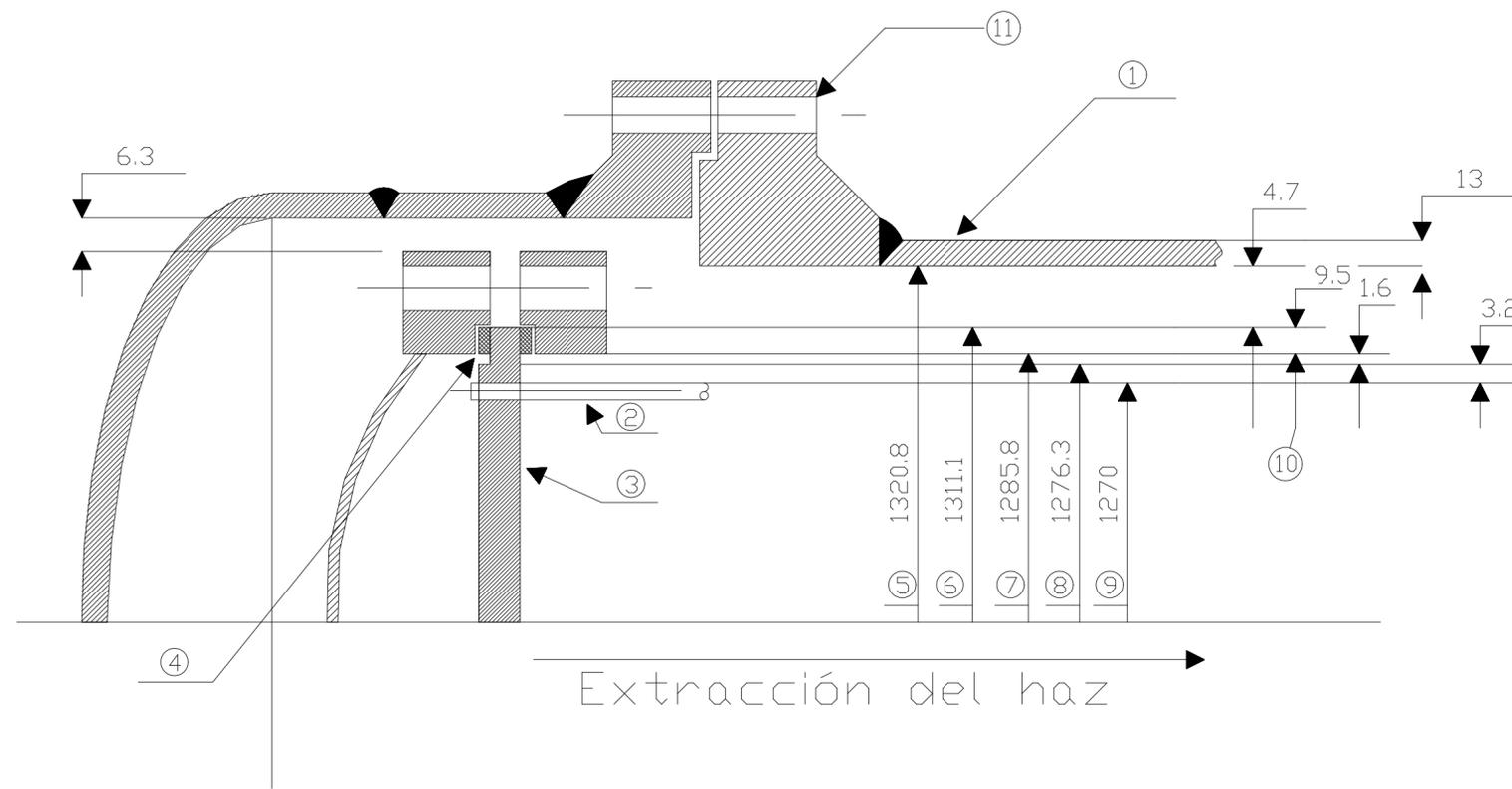


DET. DISPOSITIVO ELEVACIÓN

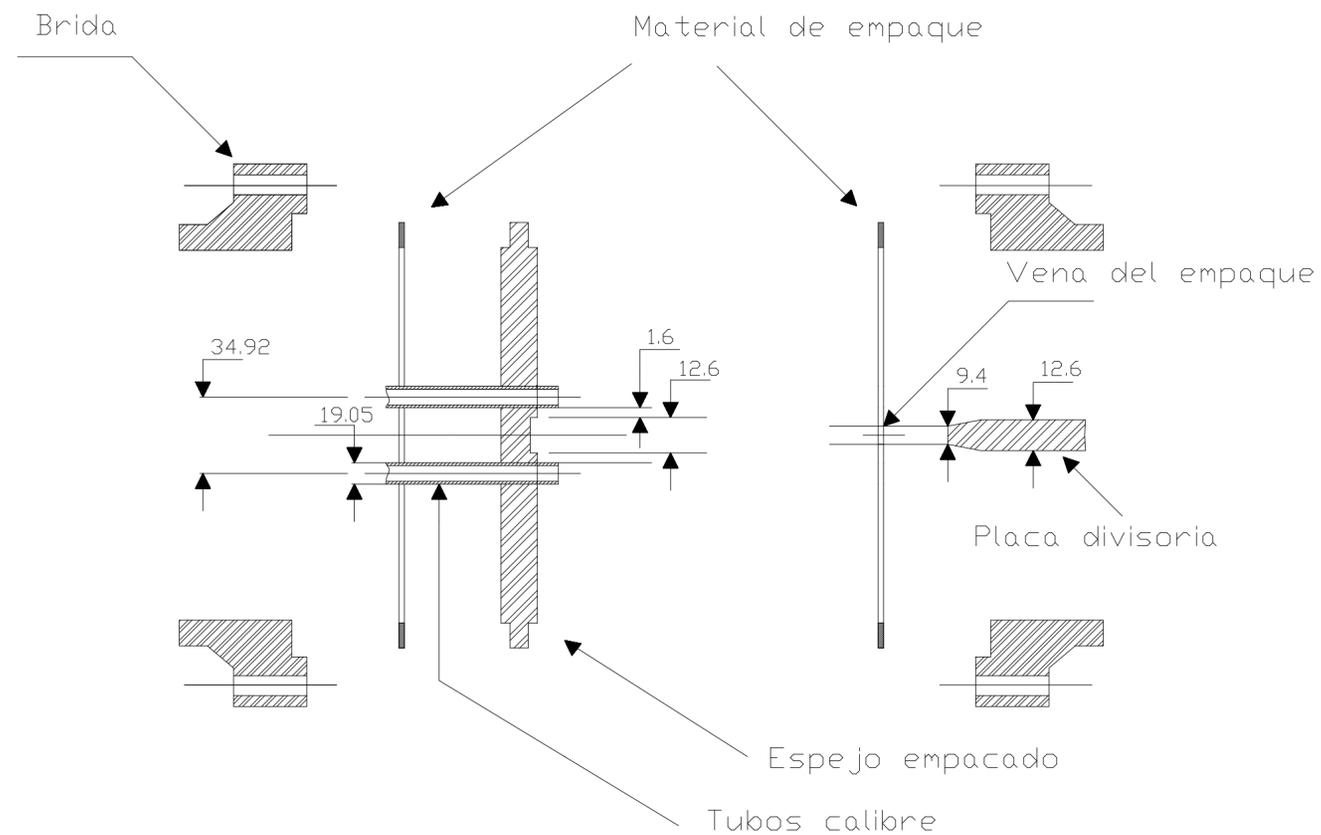
MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN (mm)	MATERIAL
	9	Tapón.	∅ 25.4	SA - 105
	8	Manguito.	∅ 25.4	SA - 105
	7	Junta.	∅ 38.1	Spirometálica.
	6	Brida ciega.	∅ 38.1	SA - 105
	5	Brida tubuladura.	∅ 38.1	SA - 105
	4	Virola.	∅ 1320	SA - 516 - 60
	3	Virola.	∅ 1320	SA - 516 - 60
	2	Virola.	∅ 1320	SA - 516 - 60
	1	Cabezal flotante tipo S	∅ 1326.3	SA - 515 - 70

- NOTAS GENERALES
- Las tubuladuras S1, S2, T1 y T2 irán conectadas a tubos de 18, 20, 24 y 24 pulgadas respectivamente.
 - Los orificios de tornillería, quedarán fuera de los ejes principales del aparato a menos que se indique lo contrario.
 - Todas las cotas vienen expresadas en mm, excepto donde se indique.
 - Las bridas y tubuladuras deberán ser protegidas para el transporte.
 - La distancia mínima entre la tubuladura y la brida de cualquiera de los cabezales es de 1 pulgada.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
DETALLES OTR-E-001			
FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 011	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA			
PLANTA DE COMBUSTIBLES	Ignacio Aguirre Fernández Prada		



Cabezal flotante tipo s



Ensamble del espejo empacado.

DIBUJO



DATOS TÉCNICOS.

Item.	OTR-E-001	
Tamaño.	1438/2500mm	
Localización.	Lado tubos.	Lado carcasa.
Nombre del fluido.	P. oxidados.	COV
Capacidad. Kg/h.	30 880	30 000
T° oper. °C.	300	180
P oper. Kg/cm2.	1.65	1.9
T° diseño. °C.	337.78	215.56
P diseño. Kg/cm2.	5.273	5.273

Código ASME VIII DIV. 1 TEMA: B.

REFERENCIAS.

- 1-. CARCASA O ENVOLVENTE DEL INTERCAMBIADOR.
- 2-. TUBO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.
- 3-. ESPEJO FLOTANTE.
- 4-. EMPAQUE.
- 5-. DIÁMETRO INTERNO DE LA CARCASA.
- 6-. DIÁMETRO EXTERNO DEL EMPAQUE.
- 7-. DIÁMETRO INTERNO DEL EMPAQUE.
- 8-. DIÁMETRO DEL MACHO.
- 9-. DIÁMETRO DE CÍRCULO DE TUBOS.
- 10-. ANCHO DE EMPAQUE.
- 11-. BRIDA DEL CABEZAL FLOTANTE-CARCASA.

NOTA

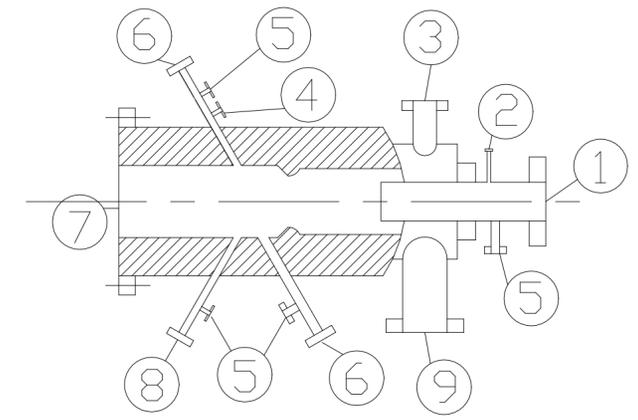
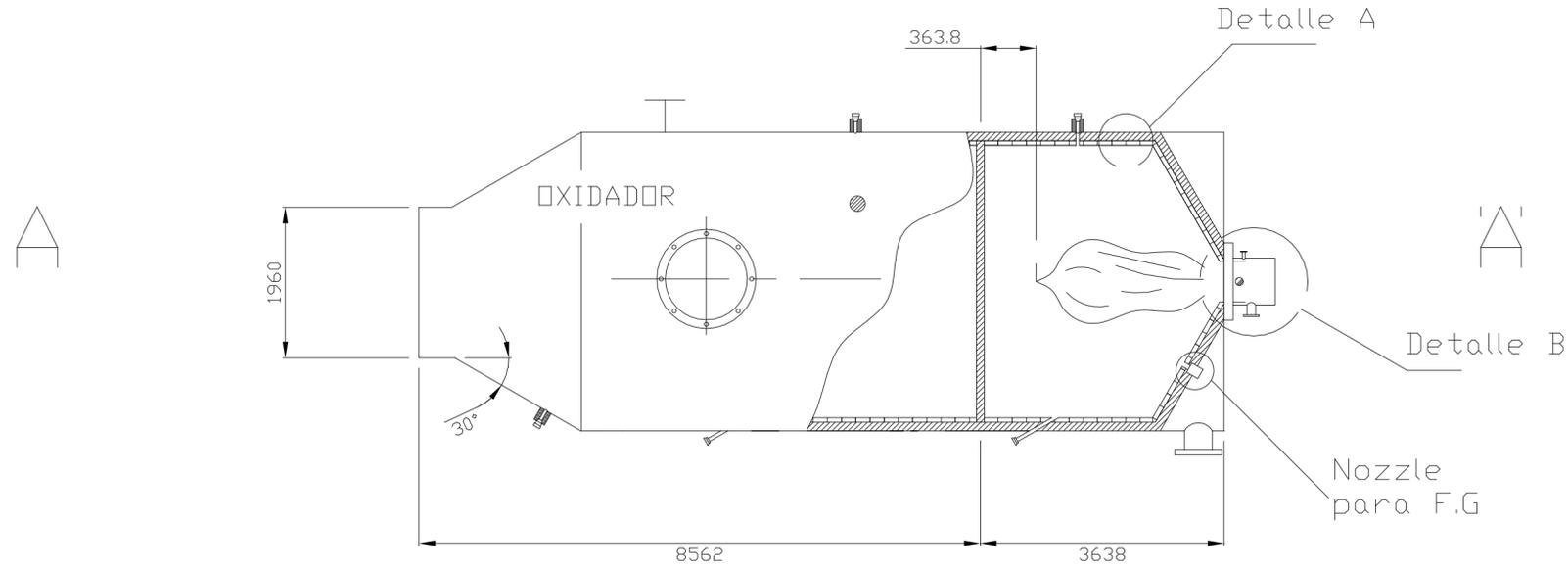
- 1-. Las cotas están expresadas en mm.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV
CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h

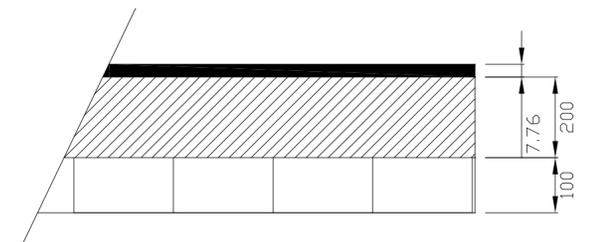
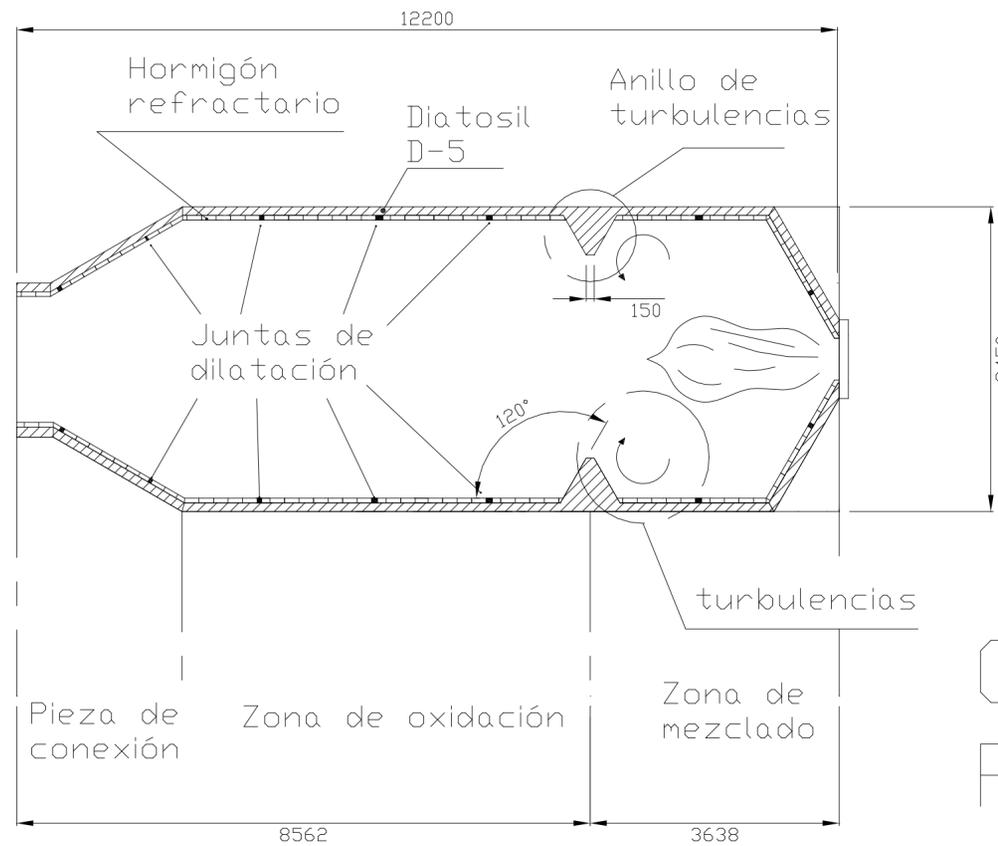
CABEZALES DE OTR-E-001

FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
ESCALA	S.E	OTR - X - 012	1
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
REFINERÍA	PLANTA DE COMBUSTIBLES		
		Ignacio Aguirre Fernández Prada	

PERFIL OXIDADOR



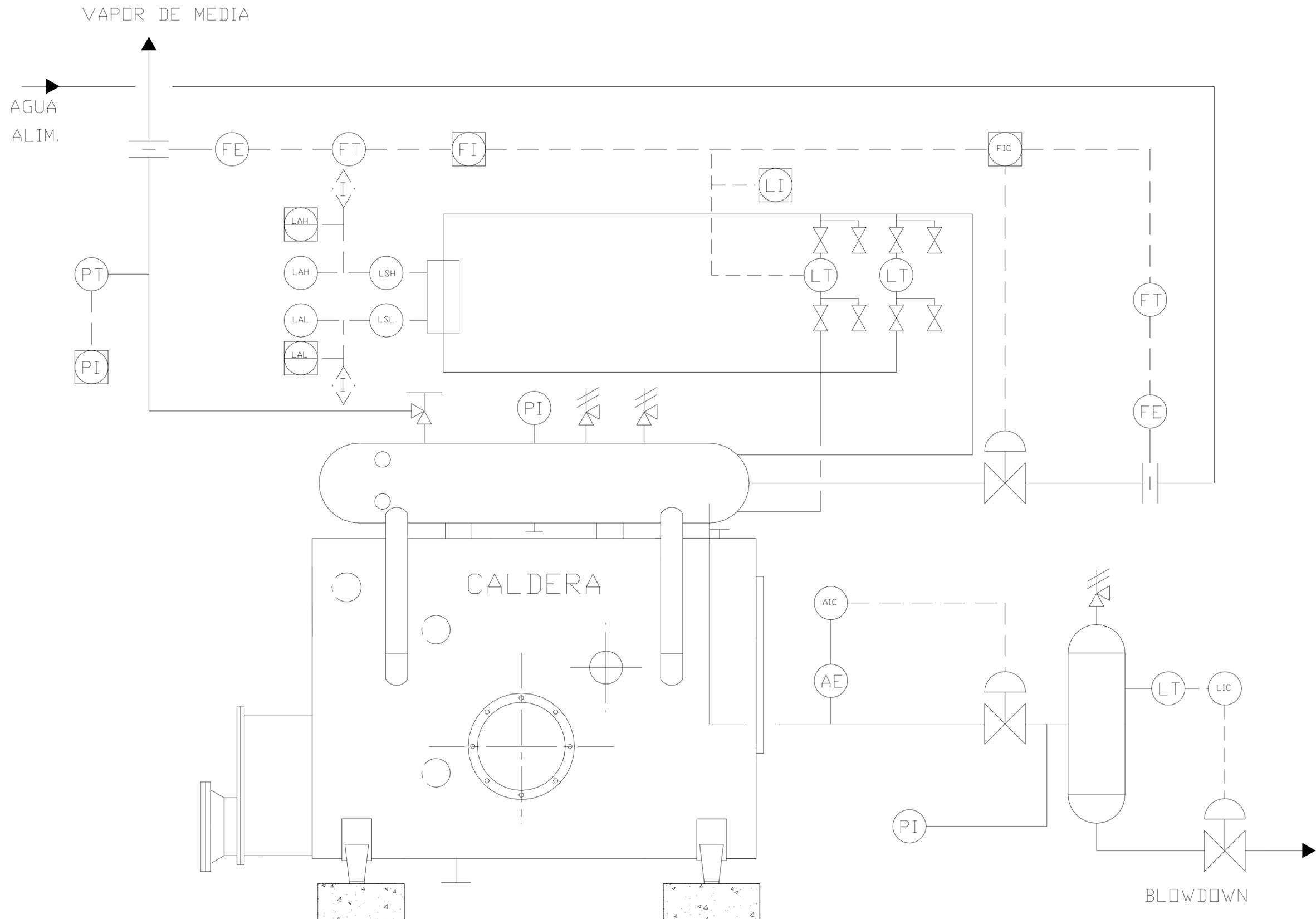
Detalle B



Detalle A

Corte A - A'
Planta

MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN (mm)	DATOS TÉCNICOS		Notas generales.	DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h			
				Item.	OTR-OT-001		DETALLES DEL OTR-OT-001			
9	1	Conex. F.G	S.D	Dimensiones.	Ø 2450 12200 L	1-. Las dimensiones de los orificios de drenaje, serán verificadas por manufacturador. 2-. Las cotas están expresadas en mm. 3-. El anillo generador de turbulencias, deberá colocarse a una distancia mínima de 304.8 mm. 4-. Se aumentará la temperatura de forma gradual, en su primera puesta en marcha, para no dañar el material aislante.	FECHA	20-02-07	PLANO N°	EDICIÓN
8	1	Sight glass.	Ø 50.8	Aislamiento.	100 L HF, 200 L D-5		ESCALA	S.E	OTR - X - 014	1
7	1	Conexión oxidador.	S.D	T° op. Carcasa. (°C)	90 cara interna.		LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:		
6	2	Detector de llama.	Ø 50.8	P op. oxidador.(Kg/cm2)	1.9		REFINERÍA	PLANTA DE COMBUSTIBLES		
5	3	Orificio purga.	Ø 12.7	T° diseño. Carcasa.(°C)	340		Ingacio Aguirre Fernández Prada			
4	1	Indicador de presión.	Ø 12.7	P. diseño.(Kg/cm2)	3.5					
3	1	Aire encendido.	S.D	Longitud llama. (mm)	3300					
2	1	Quemador piloto.	Ø 12.7	Caudal de diseño./oper.(Kg/h)	36000					
1	1	Lanza de ignición.	S.D		30880					



OBSERVACIONES	
1-. Medidas a especificar por fabricante.	
2-. Sistema de control del tanque alimen. a verificar por fabricante.	
REQUERIMIENTOS	
1-. Calor de intercambio 19314597 KJ. / h.	
2-. Caudal de alimentación de 13774Kg. / h de agua.	
3-. Producción de vapor de media de 13118Kg. /h a 18 Kg. /cm2.	
4-. Blowdown del 5% del caudal de alimentación.	

DISEÑO DE UNA PLANTA DE OXIDACIÓN DE COV CON CAPACIDAD DE OXIDACIÓN DE 30000 Kg/h		
SISTEMA CONTROL TANQUE ALIM. CALDERA		
FECHA	20-02-07	PLANO N°
ESCALA	S.E	OTR - X - 015
LOCALIZACIÓN:	ING. QUÍMICO:	
REFINERÍA	PLANTA DE COMBUSTIBLES	
Ignacio Aguirre Fernández Prada		

EDICIÓN
1

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

**DOCUMENTO N° 3:
PLIEGO DE CONDICIONES.**

PROYECTO BÁSICO.

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

- **PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.**

1. Introducción..... 6
 - 1.1. Objetivo del pliego de condiciones 6
 - 1.2. Documentos que definen la obra 6
 - 1.3. Contradicciones y omisiones..... 6
2. Pliego de condiciones generales facultativas..... 7
 - 2.1. Dirección facultativa 7
 - 2.1.1. Dirección facultativa 7
 - 2.1.2. Funciones de la dirección facultativa 7
 - 2.1.3. Mala ejecución..... 8
 - 2.2. Obligaciones y derechos del contratista 8
 - 2.2.1. Gasto de cuenta del contratista 8
 - 2.2.2. Representación del contratista 9
 - 2.2.3. Presencia del contratista 10
 - 2.2.4. Oficina en la obra 10
 - 2.2.5. Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones..... 10
 - 2.2.6. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto..... 10
 - 2.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de documentos del proyecto..... 11
 - 2.2.8. Información del contratista a subcontratas e instaladores 11
 - 2.2.9. Copias del documento 11
 - 2.2.10. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa..... 12
 - 2.2.11. Recusación por el contratista del personal nombrado por la dirección facultativa..... 12
 - 2.2.12. Recusación por la dirección facultativa del

representante del contratista.....	12
2.2.13. Del personal del contratista	13
2.2.14. Libro de órdenes	13
2.3. Obras y su ejecución.....	14
2.3.1. Trabajos preparatorios	14
2.3.1.1.Comprobación del replanteo.....	14
2.3.1.2.Fijación de los puntos de replanteo	15
2.3.1.3.Programación de los trabajos.....	15
2.3.2. Calendario de trabajo.....	16
2.3.3. Comienzos de los trabajos	16
2.3.4. Plazos de ejecución.....	16
2.3.5. Ampliación del proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.....	17
2.3.6. Prórroga por causas de fuerza mayor	17
2.3.7. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.....	17
2.3.8. Condiciones generales de la ejecución de los trabajos	18
2.3.9. Trabajo defectuoso	18
2.3.10. Señalización de las obras	19
2.3.11. Personal técnico.....	19
2.4. Recepción de las obras	20
2.4.1. Recepción provisional	20
2.4.2. Conservación de las obras recibidas provisionalmente	21
2.4.3. Plazo de garantía.....	21
2.4.4. Recepción definitiva.....	21
3. <u>Pliego condiciones generales económicas</u>	22
3.1. Percepción económica del contratista	22
3.2. Constitución de la fianza	22
3.3. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza.....	22
3.4. De su devolución en general	23
3.5. De su devolución en caso de efectuarse recepciones parciales	23
3.6. Precios unitarios	23
3.7. Precios descompuestos	23

3.8. Fijación de los precios unitarios no contratados	25
3.9. Variaciones en los precios unitarios	25
3.10. Obras complementarias – cambios de materiales.....	25
3.11. Valoración y abono de los trabajos.....	26
3.11.1. Forma y abono de las obras	26
3.11.2. Abono de unidades de obras ejecutadas	26
3.11.3. Relaciones valoradas y certificaciones	26
3.11.4. Mejoras de obra libremente ejecutadas	27
3.11.5. Abono por partidas entera	27
3.11.6. Abono por partidas alzadas	27
3.11.7. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados	27
3.11.8. Liquidaciones parciales	28
3.11.9. Liquidación general	28
3.11.10. Pagos.....	29
3.11.11. Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos	29
3.11.12. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía	39
3.11.13. Valoración en el caso de rescisión	30
3.11.14. Acopios de materiales.....	32
3.11.15. Indemnización	33
3.11.16. Importe de la indemnización por retraso.....	33
3.11.17. Demora de los pagos.....	33
3.11.18. Otros pagos a cuenta del contratista	33
3.11.19. Arbitrios.....	33
3.11.20. Copia de documentos.....	34
3.11.21. Vigilante de obra	34
3.11.22. Seguro de obras	34
4. <u>Pliego de condiciones generales legales</u>	36
4.1. El contrato y su adjudicación	36
4.2. Formalización del contrato	36
4.3. Arbitraje obligatorio	37
4.4. Jurisdicción competente	37

4.5. Responsabilidad del contratista	37
4.6. Accidentes de trabajo	37
4.7. Daños a tercero	38
4.8. Pago de arbitrios	38
4.9. Obligaciones laborales	39
4.10. Copia de documentos.....	39

- **PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

1. <u>Normas generales</u>	39
1.1. De carácter general	39
1.2. Equipos a presión	41
1.2.1. Disposiciones generales.....	41
1.2.2. Referencias y normativas	41
1.2.3. Definiciones generales.....	42
1.2.4. Definiciones de ámbito técnico	45
1.2.5. Condiciones generales para todos los aparatos.....	47
1.2.5.1. Manual de diseño.....	47
1.2.5.2. Certificación	48
1.2.5.3. Proceso de fabricación.....	48
1.2.5.4. Legalización de aparatos a presión.....	48
1.2.5.5. Instalación.....	50
1.2.5.6. Inspección y pruebas oficiales.....	50
1.2.5.7. Inspección y pruebas en el taller fabricante.....	50
1.2.5.8. Inspección y prueba en el lugar del emplazamiento del equipo	51
1.2.6. Placas	53
1.2.7. Elementos de seguridad	54
1.3. Pruebas para las tuberías	55
1.4. Pruebas de los sistemas antes de la puesta en marcha.....	55
1.4.1. Prueba hidráulica	55
1.4.2. lavado del equipo.....	55

1.4.3. Comprobación de servicios auxiliares.....	56
1.4.3.1. Equipo eléctrico.....	56
1.4.3.2. Aire de instrumentos.....	57
1.4.3.3. Red contra incendios	57
1.4.3.4. Sistema de drenaje.....	57
1.4.3.5. Seguridad.....	57
2. <u>Condiciones técnicas relativas a los equipos</u>	57
2.1 Intercambiador de calor.....	57
2.1.1 Descripción.....	57
2.1.2 Inspecciones y pruebas	59
2.1.3 Condiciones de operación.....	60
2.2 Oxidador térmico.....	61
2.2.1 Descripción.....	61
2.2.2 Condiciones de operación.....	63
2.3 Líneas	64
2.4 Caldera de recuperación	64
3. <u>Normas específicas relativa al área de trabajo</u>	67
4. <u>Normas para prevenir incendios</u>	68
5. <u>Descripción del sistema de protección contra incendios</u>	69
6. <u>Descripción del sistema de alumbrado</u>	70
7. <u>Normas para trabajos de elevación y mantenimiento</u>	71

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo del pliego de condiciones

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones.

Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

1.2. Documentos que definen la obra

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregará al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Son documentos contractuales los planos, pliego de condiciones, cuadro de precios y presupuestos, que se incluyen en el presente proyecto. Los datos incluidos en la memoria y nexos tienen carácter meramente informativo.

1.3. Contradicciones y omisiones

En el caso de contradicción entre los planos y el pliego de prescripciones técnicas, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de prescripciones técnicas y omitidas en los planos o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del director de obras, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

2.1. Dirección facultativa

2.1.1. Dirección facultativa

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

2.1.2. Funciones de la dirección facultativa

El ingeniero director de obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.

- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.

El contratista estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

2.1.3. Mala ejecución.

En cuanto a la mala ejecución de los trabajos, será el contratista el único responsable cuando se produjese algún error, incluso cuando estos trabajos sean inspeccionados por un ingeniero de parte de la propiedad.

Además de la posibilidad de crear desperfectos en las unidades más cercanas a dicha instalación objeto de proyecto, siendo responsabilidad del mismo la reparación de las unidades afectadas.

2.2. Obligaciones y derechos del contratista

2.2.1. Gastos de cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesarias para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

2.2.2. Representación del contratista

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción provisional, el contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado que cuidará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el contratista para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la dirección facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Asimismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la dirección facultativa.

Cualquier cambio que el contratista desee efectuar respecto a sus representantes y personal cualificado y en especial del jefe de obras deberá comunicarse a la dirección facultativa.

2.2.3. Presencia del contratista

El contratista, por sí o por medio de sus facultativos representantes o encargados estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la dirección facultativa en las visitas que haga a la obra. Asimismo, y por sí o por medio de sus representantes asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la dirección facultativa en el transcurso de las reuniones.

2.2.4. Oficina en la obra

El contratista habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el contratista una copia autorizada de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por la dirección facultativa y el “Libro de Órdenes” a que se refiere un artículo siguiente.

2.2.5. Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo dispone la Dirección Facultativa y dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos determinen para cada unidad de obra tipo de ejecución.

2.2.6. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto

Si alguna parte de la obra no quedara suficientemente especificada en esta documentación, a juicio de la contrata o de la propiedad, no se realizará hasta que la dirección facultativa diera las indicaciones precisas y concretas para su ejecución. Este extremo se advertirá a la citada dirección por escrito, con la

antelación suficiente para que se pueda estudiar el problema y aportar la solución más acertada sin que ello suponga retraso en la marcha de la obra. El tiempo de antelación variará con la importancia del estudio, siendo el mínimo de una semana.

2.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de documentos del proyecto

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al contratista, estando éste obligado a su vez a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma a enterado, que figurará asimismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la propiedad como de la dirección técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de 15 días, a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

2.2.8. Información del contratista a subcontratas e instaladores

El contratista se verá obligado a suministrar toda la información precisa a las diferentes subcontratas e instaladores para que su labor se ajuste al proyecto. En cualquier caso el contratista será el único responsable de las variaciones o errores que se hubieran podido cometer en obra por desconocimiento de las especificaciones aquí detalladas.

2.2.9. Copias del documento

El contratista tiene derecho a sacar copias, a su costa, de los planos, presupuestos, pliego de condiciones y demás documentos del proyecto. La dirección facultativa, si el contratista lo solicita, autorizará estas copias con su

firma una vez confrontadas. En la obra siempre se encontrará una copia completa del proyecto visada por el colegio oficial, copia que no se utilizará como planos de obra sino en contados casos de comprobaciones.

2.2.10. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa

Las reclamaciones que el contratista quiera hacer contra las órdenes realizadas de la dirección facultativa, sólo podrá presentarlas, a través de la misma, ante la propiedad, si ellas son de orden económico, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la dirección facultativa, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida a la dirección facultativa, la cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

2.2.11. Recusación por el contratista del personal nombrado por la dirección facultativa.

El Contratista no podrá recusar el personal técnico o de cualquier índole, dependiente de la Dirección Facultativa o de la Propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la Propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

2.2.12. Recusación por la dirección facultativa del representante del contratista.

Cuando esté ausente el Contratista, o si éste no fuese práctico en las artes de la Construcción y siempre, por cualquier causa, la Dirección Facultativa lo estime necesario, el Contratista tendrá obligación de poner al frente de su personal un facultativo legalmente autorizado.

Sus funciones serán: vigilar los trabajos y colocación de andamios y demás medios auxiliares, verificar los replanteos y demás operaciones técnicas; así como cumplir las instrucciones de la Dirección Facultativa y firmar el "Libro de Ordenes" con el enterado a las órdenes del citado facultativo.

Será objeto de recusación el facultativo si carece de carné que acredite su cualificación, o si carece de conocimientos de construcción, probados por su experiencia y que le permitan la interpretación de los planos órdenes de forma que pueda cumplir sus funciones.

2.2.13. Del personal del contratista.

a) encargado

El encargado nombrado por el contratista se considerará a las órdenes de la Dirección Facultativa, siempre que ésta o la persona que la sustituya, se lo requiera para el mejor cumplimiento de su misión.

b) recusación de personal

El contratista viene obligado a separar de la obra, aquel personal que, a juicio de la Dirección Facultativa, no cumpla sus obligaciones de la forma debida.

2.2.14. Libro de órdenes

La dirección técnica tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la dirección facultativa un "Libro de Órdenes", con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio oficial.

En el mismo se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros, los viandantes en general, las firmas colindantes ó los inquilinos de las mismas, las que crean necesarias para subsanar ó corregir las posibles deficiencias constructivas que haya observado en las visitas de la obra y en suma, todas las que

juzguen indispensable se lleven a cabo de acuerdo y en armonía con los documentos del Proyecto.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y el "Enterado" suscrito por el Contratista o su representante en obra, la copia de cada orden entendida quedará en poder de la Dirección Facultativa. El hecho de que en el citado Libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, ordenanzas, reglamentos, etc., no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista.

2.3. Obras y su ejecución

2.3.1. Trabajos preparatorios

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en:

- Comprobación del replanteo.
- Fijación y conservación de los puntos del replanteo.
- Programación de los trabajos.

2.3.1.1. Comprobación del replanteo

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

2.3.1.2.Fijación de los puntos de replanteo

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.

2.3.1.3.Programación de los trabajos

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).

- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, en un gráfico de barras o en un diagrama espacio – tiempo.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

2.3.2. Calendario de trabajo

El Contratista propondrá a la Dirección Facultativa el correspondiente Calendario de Trabajo. Aceptado este Calendario se firmarán por la Contrata y por la Dirección Técnica, quedándose cada parte con una copia.

La Contrata se obliga, por este documento a justificar mensualmente el cumplimiento de las ejecuciones programadas.

2.3.3. Comienzo de los trabajos

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación.

La fecha en que se vaya a dar principio a la ejecución deberá ir indicada en el Calendario de Trabajo.

2.3.4. Plazos de ejecución

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminadas en la fecha acordada en dicho acta.

2.3.5. Ampliación del proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor

Cuando en obras de reforma o reparación de edificios sea preciso, por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar al proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándolos según las instrucciones dadas por la Dirección Facultativa, en tanto se formula o se tramita el proyecto reformado.

El Contratista está obligado a realizar con su personal y sus materiales, cuando la Dirección Facultativa de la Obra disponga, para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos ó cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en el presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que mutuamente convengan.

2.3.6. Prórroga por causas de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que especifican como la rescisión en el capítulo "Condiciones generales de índole legal", aquél no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable de la Dirección Facultativa la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

2.3.7. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra

Con objeto de no interferir la marcha de las obras, y para el cumplimiento del plazo, la contrata solicitará a la Dirección Facultativa, los datos que considere puedan retrasar el mismo.

Asimismo antes de ejecutar una unidad de, obra no estipulada en el Proyecto, se someterá, con la antelación suficiente, el precio contradictorio para su aprobación que firmarán en caso de aceptación la Propiedad, la Dirección Facultativa y el Contratista adjudicatario de las obras, previo informe de la repercusión económica de los precios contradictorios.

2.3.8. Condiciones generales de la ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la contrata, a las modificaciones del mismo que, previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la Dirección Facultativa al Contratista, siempre que éstas encajen dentro de la cifra a que asciendan los presupuestos aprobados.

2.3.9. Trabajo defectuoso

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en "Las Condiciones Generales de Índole Técnica" del Pliego de Condiciones, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con los especificado también en dicho documento. Por ello y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos contratados y de las faltas y defectos que en éstos puedan ocurrir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o de los aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa, ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Técnica o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones parciales de la obra, que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados a los aparatos colocados no reúnen las condiciones acordadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá de acuerdo con lo establecido en el Artículo "Materiales y Aparatos Defectuosos" siguiente.

2.3.10. Señalización de las obras

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

2.3.11. Personal técnico

El contratista está obligado a dedicar a los trabajos (tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos) el personal técnico a que se comprometió en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero.

El personal así designado no será asignado a otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal a su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajos de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respeto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiese que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

2.4. Recepción de las obras

2.4.1. Recepción provisional

Una vez terminados los trabajos, se procederá al examen global por parte del director, el cuál, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en normal funcionamiento de las instalaciones.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

- Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de los equipos auxiliares.
- Prueba hidrostática de las áreas que así lo requieran.
- Comprobación de servicios auxiliares.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obra no podrá ponerse en funcionamiento por partes desde su inicio, a menos que, a juicio del ingeniero director, no se perjudique la integridad de la instalación y no se interfiera en la normal operación de otras unidades o procesos adyacentes.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco

convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.

2.4.2. Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones parciales y la definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza, reparaciones acusadas por el uso correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicio de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo del Contratista.

En caso de duda, será juez inapelable la Dirección Facultativa, sin que contra su resolución quepa ulterior recurso.

2.4.3. Plazo de garantía

Será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho periodo, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo este responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

2.4.4. Recepción definitiva

Finalizando el plazo de garantía, se procederá a la recepción definitiva, con las mismas formalidades señaladas en los artículos precedentes para la provisional; si se encontraran las obras en perfecto estado de uso y conservación, se darán por recibidas definitivamente y quedará el Contratista relevado de toda responsabilidad legal que le pudiera alcanzar, derivada de la posible existencia de vicios ocultos.

En caso contrario, se procederá de idéntica forma que la preceptuada para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percepción de cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, y siendo obligación suya hacerse cargo de los gastos de conservación hasta que la obra haya sido recibida definitivamente.

3. PLIEGO DECONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

3.1. Percepción económica del contratista

Como base fundamental de estas “condiciones generales de índole económica”, se establece el principio de que el contratista debe percibir el importe de los trabajos realizados, siempre que éstos se hayan ejecutado con arreglo y sujeción al proyecto.

3.2. Constitución de la fianza

Se establecen descuentos del cinco por ciento (5%) efectuados sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista. El total de las retenciones constituirán la fianza. Salvo en el caso en que la obra se adjudique por subasta, para cuyo caso la fianza se establecerá según Pliego General, Condiciones Generales de Índole Económica.

3.3. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, la Dirección Técnica, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por Administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que

tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.4. De su devolución en general

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de ocho (8) días, una vez firmada el Acta de la Recepción Definitiva de la Obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificación del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra aquél por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

3.5. De su devolución en caso de efectuarse recepciones parciales

Si el propietario creyera conveniente hacer recepciones parciales, no por ello tendrá derecho el Contratista a que se devuelva la parte proporcional de la fianza cuya cuantía total quedará sujeta a las condiciones preceptuadas en el artículo 3 precedente.

3.6. Precios unitarios

Todos los materiales que intervengan en la construcción de las obras objeto de este proyecto (aun en el caso de aumento de las unidades especificadas o unidades que puedan aparecer) serán de cuenta del contratista, no admitiéndose por tanto ningún aumento por este concepto.

A efectos de propuesta y plazo, el contratista no debe contar con los suministros de terceros, comprometiéndose a construir o instalar todos los materiales o equipos necesarios para la terminación de los trabajos en el plazo señalado.

3.7. Precios descompuestos

Una vez adjudicadas las obras el Contratista ha de presentar dentro de los quince días siguientes los precios descompuestos de las unidades solicitadas. La no-presentación indica que acepta en su día los precios descompuestos preparados por la Dirección.

La descomposición estará perfectamente detallada en cada unidad de obra, como a continuación se indica:

- a) Materiales, expresando las cantidades que en cada unidad de obra se precisen de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo de origen.
- b) Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas invertidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra.
- c) Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de la obra, expresando el precio del transporte por unidades, o número que la costumbre tenga establecido.
- d) Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad, sobre la suma de los conceptos anteriores en las unidades de obra que se precisen.
- e) Tanto por ciento de seguros sociales y cargas vigentes sobre el costo de la mano de obra, especificando en documento aparte la cuantía de cada concepto del seguro o carga.
- f) Tanto por ciento de gastos generales, sobre la suma de los conceptos anteriores.
- g) Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista, aplicado a la suma total de los conceptos anteriores.

La suma de todas las cantidades que importan los siete capítulos se entiende que es el precio unitario contratado.

El Contratista deberá asimismo presentar una lista de precios de jornales, de los materiales de origen, del transporte, del tanto por ciento que importan cada uno de los

seguros o cargas sociales vigentes y las partidas que se incluyen en el concepto de gastos generales, todo ello referido a la fecha de la suma del presupuesto.

El Contratista deberá facilitar junto con el precio base del material la marca y fabricante, junto con la fecha de la lista de precios utilizada como base de estudio.

3.8. Fijación de los precios unitarios no contratados

Los precios de unidades de obra, de los materiales, así como de la mano de obra que no figure entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre la dirección facultativa y el contratista.

El contratista los presentará descompuestos de acuerdo con lo establecido anteriormente siendo condición necesaria la presentación y aprobación de estos precios por la Dirección antes de proceder a ejecutar las unidades de obra correspondientes. En el caso de que transcurrido el plazo señalado por la Dirección de su ejecución, sin presentación supone que el contratista acepta los que la Dirección posteriormente fije.

3.9. Variaciones en los precios unitarios

En el caso de altas o bajas oficiales en el precio de los materiales, mano de obra o de cualquier otro concepto que modifique los precios unitarios base, el contratista tiene la obligación de comunicar en la fecha de dicha variación, por duplicado, a la dirección facultativa y al propietario dichas valoraciones, así como una valoración exacta hasta el día citado de la obrar ejecutada con su importe.

El Contratista sólo tendrá derecho a las alzas oficiales de mano de obra del personal que intervenga directamente en la obra o instalación, no afectando a la mano de obra de preparación de materia prima o detalles.

3.10 Obras complementarias – cambios de materiales

El Ingeniero Director, podrá si así lo considera necesario, ordenar obras complementarias no especificadas en los pliegos de condiciones ni en los presupuestos, pero que son necesarias para la buena terminación de las mismas.

Todos los trabajos se abonarán por medición. Cuando el contratista, incluso con la autorización del Ingeniero Director, emplease materiales de mayor precio que el señalado en el proyecto e introdujese alguna modificación que a juicio de la Dirección sea beneficiosa, o por no tener el material necesario ponga mayor cantidad, no tendrá derecho a percibir ninguna diferencia de precios, sino solamente lo estipulado en el presupuesto adjudicado.

3.11. Valoración y abono de los trabajos

3.11.1. Forma y abono de las obras

La forma de pago será la que se acuerda en el documento privado que firmen la Propiedad y el Contratista.

3.11.2. Abono de unidades de obras ejecutadas

El contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue la dirección facultativa, siempre dentro de las cifras a que ascienden los presupuestos aprobados.

3.11.3. Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las épocas o fechas que estipule el documento privado o contrato entre propiedad y contratista, éste último presentará a la dirección facultativa una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos.

3.11.4. Mejoras de obra libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluso con autorización de la Dirección Facultativa, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o en general, introdujese en ésta, y sin pedírsela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Técnica, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

3.11.5. Abono por partidas entera

No admitiéndole la índole especial de algunas obras su abono por sucesivas mediciones parciales, la Dirección Facultativa queda facultada para incluir estas partidas completas cuando lo estime justo, en las periódicas certificaciones parciales.

3.11.6. Abono por partidas alzadas

Caso, de que por no existir en el presupuesto precios unitarios que puedan emplearse por asimilación con las obras ejecutadas por partidas alzadas, éstas se abonarán previa presentación de los justificantes de su costo, (adquisición de materiales y lista de jornales debidamente controladas por la Dirección Facultativa).

3.11.7. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones, u otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean

de cuenta del Contratista, y si la Dirección Facultativa no los contratase con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales serán abonados por el Propietario por separado de la Contrata. A este efecto, la Dirección Facultativa designará la persona que deberá comprobar las listillas de jornales y vales de materiales y medios auxiliares en ellos se formarán dos relaciones, que, unidas a los recibos de su abono, servirán de documentos justificativos de las cuentas, en los cuales firmará el visto bueno la Dirección Facultativa.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el diez por ciento (10%) de su importe total, como interés del dinero adelantado y remuneración del trabajo y diligencia que ha tenido que prestar.

Si lo estipulado en este Art. estuviese recogido en contrato, firmado, entre la Propiedad y la Contrata éste prevalecerá frente a lo expuesto.

3.11.8. Liquidaciones parciales

Periódicamente el Contratista tendrá derecho a percibir una cantidad proporcional a la obra ejecutada en aquel período. A la vista del calendario de obra, se fijará el alcance de cada uno de los periódicos y las cantidades a percibir al final de ellos.

Estas cantidades tendrán el carácter de entrega a buena cuenta y el Contratista no podrá percibir las hasta que no haya dado su conformidad la Dirección Facultativa.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso, suspender los trabajos ni llevarlos con menos incremento del necesario para la terminación de las obras en el plazo establecido.

3.11.9. Liquidación general

Terminadas las obras se procederá a hacer la liquidación general, que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyan la obra.

3.11.10. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra expedidas por la Dirección Facultativa, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

El importe de estos pagos se entregará precisamente al Contratista en cuyo favor se hayan rematado las obras, o a persona legalmente autorizada por el mismo, nunca a ningún otro, aunque se libren despachos o exhortos por cualquier Tribunal o Autoridad para su retención pues se trata de fondos destinados al pago de operarios y no de intereses particulares del Contratista. Únicamente el saldo que la liquidación arroje a favor de éste y de la fianza, si no hubiese sido necesario retenerla para el cumplimiento de la contrata, podrá verificarse el embargo dispuesto por las referidas Autoridades o Tribunales.

3.11.11. Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo que el que les corresponda, con arreglo al plazo en que deban terminarse.

Cuando el Contratista proceda de dicha forma, podrá el Propietario rescindir la contrata.

3.11.12. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

1. Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto abonados de acuerdo con lo establecido en los Pliegos Particulares o con su defecto en los Generales en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización, en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
2. Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día previamente acordados.
3. Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al contratista.

3.11.13. Valoración en el caso de rescisión

Siempre que se rescinda la Contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en las obras con autorización de la Dirección Facultativa y la Contrata, y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores a que se hace referencia en el Pliego Particular de Condiciones Legales, o en su defecto, ha establecido en los "Pliegos de Condiciones Generales de índole legal y facultativa".

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el propietario aquellos de dichos medios auxiliares que señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto, los que considere necesarios para terminar las obras y no quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que sólo tendrá lugar el abono por este concepto

cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los dos tercios de las obras contratadas.

Las cimbras, andamios, apeos y demás medios auxiliares análogos, quedarán de propiedad de la obra si así lo dispone la Dirección Facultativa, siéndole de abono al Contratista la parte correspondiente en proporción a la cantidad de obras que falte por ejecutar según los cuadros de precios. Si la Dirección Facultativa resuelve no conservarlos, serán retirados por el Contratista. Se abonarán las obras ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, también los materiales acopiados al pie de la obra, si son de recibo y de aplicación para terminar ésta y en calidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, siempre que no estorben ni dificulten la buena marcha de los trabajos, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos, o cuando no están comprendidos en él, se fijarán contradictoriamente. También se abonarán al Contratista los materiales que, reuniendo las mismas circunstancias, se hallen acopiados fuera de la obra, siempre que los transportes al pie de ella, en el término que al efecto se le fije por la Dirección Facultativa.

En los casos en que la rescisión obedezca a falta de pago o retraso en el abono, o a suspensión por plazo superior a un año imputable al propietario, se concederá al Contratista, además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijarán la Dirección Facultativa en justicia y según su leal saber y entender, por ejecutar, ni bajará del importe, a juicio de la Dirección Facultativa de todos los gastos justificados que por cualquier motivo relacionado con las obras tuviera que hacer al Contratista, tales como derechos de contratos, custodia de fianza, anuncios, etc.

En los casos en que la rescisión sea producida por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las Condiciones Legales, no procederá mas que el reintegro al Contratista de los gastos por custodia de fianza, y formalización del contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles y herramientas destinados a las obras, ni otra indemnización alguna.

Cuando la rescisión se deba a falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrán tampoco derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización ni a que se adquiera por el propietario los útiles y herramientas destinados a las obras, pero sí a que se abonen las ejecutadas con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo y sean necesarios por la misma, sin acusar entorpecimiento a la buena marcha de los trabajos.

Cuando fuese preciso valorar obras incompletas, si el incompleto de su terminación se refiere al conjunto, pero las unidades de obras lo está en sí, entonces se medirán las unidades ejecutadas y se valorarán a los precios correspondientes del presupuesto. Si lo incompleto es la unidad de obra y la parte ejecutada de ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que le corresponda según la descomposición del precio que figura en el cuadro de proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo, se efectúe la descomposición en otra forma que la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios de dicho cuadro a cada una de las partes que la integran, quedando en esta suma así obtenida, comprendidos todos los medios auxiliares, etc.

A la valoración de las obras y de las unidades de obra incompletas es aplicable también el tanto por ciento de bonificación acordado sobre el precio de ejecución material, así como la baja que se hubiera obtenido en la adjudicación.

3.11.14. Acopios de materiales

Bien sea al inicio de las obras o después en cualquier momento durante el transcurso de las mismas, la entidad propietaria, cuando lo crea oportuno, podrá exigir al Contratista que previo pago de los mismos por la Propiedad, acopia parte o la totalidad de los materiales necesarios para la ejecución de las obras.

Por dichos materiales se abonará el precio que figure en los documentos del contrario.

3.12. Indemnización

3.12.1 Importe de la indemnización por retraso

El contratista por causa de retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras, abonará a la Propiedad una cantidad durante los días de retraso que no sobrepasen los dos meses siguientes al plazo de terminación. A partir de estos dos meses la cantidad a abonar por el Contratista en concepto de indemnización se doblará durante los días de retraso.

3.12.2 Demora de los pagos

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá derecho, además a percibir el abono de un cuatro y medio por ciento anual (4,5%), en concepto de interés de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

3.13. Otros pagos a cuenta del contratista

3.13.1 Arbitrios

El pago de arbitrios e impuestos, sobre vallas, alumbrados, etc. y por preceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan correrán a cargo del Contratista. El, no obstante deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que no sean previsibles en el momento de la oferta, a juicio de la Dirección Facultativa.

3.13.2 Copia de documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costo de los planos, pliegos de Condiciones y demás documentos de la contrata. Los gastos de copias de toda clase de documentos que los Contratistas o Industriales precisan, para redactar proposiciones de presupuestos serán de su cuenta.

3.13.3 Vigilante de obra

Será también por cuenta del Contratista el abono de jornales del vigilante de obras, en el caso de que el Ingeniero estime necesario su nombramiento, siendo nombrado directamente por la Dirección Técnica.

3.13.4 Seguro de obras

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva.

La cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro se ingresará en cuenta a nombre del Propietario para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción, y a medida que ésta se vaya realizando, en ningún caso, salvo conformidad expresa de Contratista, el propietario podrá disponer dicho importe para menesteres distintos de la construcción de la parte siniestrada. La infracción de lo anteriormente expuesto, será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. y una indemnización equivalente al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director.

En las obras de reforma o reparación, se fijará previamente la proporción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene se entenderá que el seguro a de comprender toda la parte del edificio a que afecta la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguro, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos en conocimientos del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

4. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES

4.1 El contrato y su adjudicación

La ejecución de las obras se contratará por unidades de obra, ejecutadas con arreglo a los documentos del Proyecto. Se admitirán subcontratas con firmas especializadas, siempre que estén dentro de los precios que fije el presupuesto del Proyecto.

La adjudicación de las obras podrá efectuarse por cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Subasta pública o privada.
- Concurso público o privado.
- Adjudicación directa.

4.2 Formalización del contrato

Los contratos se formalizarán mediante documento privado en general, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. El cuerpo de estos documentos, si la adjudicación se hace por subasta, contendrán un tanto del acta de subasta que haga referencia exclusivamente a la proposición del rematante, o sea la declarada más ventajosa: la comunicación de adjudicación, copia del recibo de depósito de fianza, en el caso de que se haya exigido, y una cláusula en la que se exprese terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del contrato, conforme a lo previsto en el P.G.C., en los particulares del proyecto y de la contrata, en los planos y en el presupuesto, es decir, en todos los documentos del Proyecto.

Si la adjudicación se hace por concurso, la escritura contendrá los mismos documentos, sustituyendo al acta de la subasta la del concurso.

4.3 Arbitraje obligatorio

Ambas partes se comprometen a someterse al arbitraje de amigables componedores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por Contrata y tres Ingenieros del Colegio Oficial correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

4.4 Jurisdicción competente

En caso de no haberse llegado a un acuerdo, por el anterior procedimiento, ambas partes quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones que puedan surgir como derivadas de su contrato, a las Autoridades y Tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese enclavada la obra.

4.5 Responsabilidad del contratista

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el proyecto (la Memoria tendrá consideración de documento del proyecto).

Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Técnica haya examinado y reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

4.6 Accidentes de trabajo

En casos de accidentes ocurridos a los operarios, con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos

respectos en la legislación vigente, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la propiedad, por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra, huecos de escalera, de ascensores, etc.

De los accidentes y perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. Será preceptivo que en el "Tablón de anuncios" de la obra y durante todo el transcurso figure el presente artículo "**Pliego de Condiciones Generales legales**", sometiéndolo previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

4.7 Daños a tercero

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran tanto en la el solar donde se efectúen las obras, como en las contiguas. Será, por tanto, de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quién corresponda y cuando a ello hubiere lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

4.8 Pago de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, enganches y acometidas provisionales de obra, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista.

Se exceptúan los pagos de Licencia Municipal y los enganches definitivos de suministro y evacuación, salvo que se pacte de otro modo en el contrato.

4.9 Obligaciones laborales

El Contratista es el único responsable del fiel cumplimiento de la vigente legislación laboral. Por tanto, todo el personal que intervenga en la obra estará dado de alta, con su cualificación correspondiente, en los Organismos Oficiales que sean indicados.

4.10 Copia de documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los planos, presupuestos y pliego de condiciones, y demás documentos del Proyecto.

La Dirección Facultativa, si el Contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma una vez confrontadas.

PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

1. NORMAS GENERALES

1.1. De carácter general.

- El contratista dará relación al Técnico Coordinador del Complejo Petrolífero de todos los equipos auxiliares, eléctricos y de motor, así como equipos de soldadura u oxicorte que vayan a introducir en Factoría.

- El contratista solicitará permiso al Técnico coordinador del Complejo Petrolífero para utilizar o manipular cualquier tipo de instalación, fija o móvil, equipos, herramientas, etc., que sean propiedad del Complejo Petrolífero.
- Los conductores de los vehículos del Contratista que deban circular por el interior de las instalaciones del Complejo, respetarán las limitaciones de velocidad indicadas, así como cualquier señalización vial. No les está permitido el acceso a zonas de trabajo delimitadas, salvo permiso especial del Departamento de Seguridad e Higiene. El estacionamiento de los vehículos lo efectuarán en la zona que se fije.
- Todos los empleados del Contratista respetarán las señales de seguridad instaladas en las zonas de trabajo y de tránsito.
- Cualquier excavación o demolición deberá ser autorizadas previamente por el Departamento de Seguridad e Higiene.
- Cualquier tipo de siniestro detectado por el personal del Contratista, deberá ser comunicado con toda urgencia al Departamento de Seguridad e Higiene.
- En caso que sea necesario poner en marcha el Plan de emergencia y Evacuación, que existe en el Complejo y en el que todas las personas que estén en el interior del recinto están integradas, todos los empleados del Contratista seguirán las indicaciones desglosadas en las páginas siguientes.
- Cualquier accidente de trabajo que sufra el personal del Contratista o Subcontratista deberá ser comunicado al Departamento de Seguridad e Higiene dentro del mismo día en que se produzca.
- Para la instalación de casetas de obras en el interior del Complejo, el Contratista solicitará permiso al Departamento de Seguridad e Higiene, indicando sus

dimensiones, el uso a que van a ser destinadas, y el tipo de material que se vaya a almacenar.

1.2. Equipos a presión.

1.2.1. Disposiciones generales

Dado que la totalidad de las líneas y equipos contemplados en el presente proyecto trabajan a presión superior a la atmosférica, se fijan las condiciones generales de fabricación, prueba, instalación, operación y funcionamiento de los mismos.

1.2.2. Referencias y normativas

Se tendrán como referencia y de obligado cumplimiento las siguientes disposiciones y normas:

- Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía (R/D 1244/1976 del 4 de abril, B.O.E. n° 128 del 29 de mayo) para todos los aparatos a presión en el ámbito de refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.
- Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE AP6) sobre refinerías de petróleo y plantas petroquímicas (O. 30-8-1982, B.O.E. del 10 de septiembre de 1982), (O. 11-7-1983, B.O.E. del 22 del julio de 1983). Los aparatos incluidos en el campo de aplicación de esta ITC, instalados en refinerías de petróleo cumplirán, además, las especificaciones que se indican en el Real Decreto 3143/1975 del 31 de octubre, referentes al Reglamento de Seguridad de refinerías de petróleo y parques de almacenamiento de productos petrolíferos.

1.2.3. Definiciones generales.

Con el fin de que la interpretación del presente pliego de condiciones sea clara e inequívoca, se proporcionan, de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, las siguientes definiciones:

- Aparato sometido a presión

Aparato cuya presión máxima de servicio es superior a la atmosférica. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición se aplica a:

1. Oxidador térmico.
2. Intercambiador de calor gas-gas de tubo y coraza.
3. Caldera de recuperación de calor.

- Tuberías

Líneas de conducción de fluidos a presión, no sometidas a fuego directo. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición afecta a todas las líneas recogidas en la memoria y en anexos.

- Sistemas

Conjunto de aparatos a presión, normalmente conectados en secuencia de proceso y susceptibles de ser probados a presión conjuntamente.

- Diseño mecánico

Consiste en la definición completa e inequívoca de un aparato a presión en función de los datos básicos de proceso, código

de diseño, característica de los materiales utilizados, proceso de fabricación y control de calidad.

o Ingeniería

Persona jurídica o técnico titulado competente que, mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de diseño de aparatos a presión, y a partir de los datos básicos necesarios, realiza el diseño mecánico de dichos aparatos. Estas ingenierías deberán estar inscritas en el Registro de Sociedades de Ingeniería o en el colegio oficial correspondiente, y cumplir los requisitos exigidos por la legislación vigente. Las ingenierías extranjeras que no dispongan de delegación en España debidamente legalizada deberán tener autorizado por la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnológica el correspondiente contrato de asistencia técnica, suscrito con el fabricante o con alguna ingeniería.

o Fabricante

Persona física o jurídica que, a partir de un diseño mecánico y mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de construcción de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, realiza el acopio de materiales, la fabricación y ensamblaje total o parcial de los componentes de los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrica el aparato.

- Reparador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de los códigos, normas de construcción y de reparación de aparatos a presión, dispone de personal cualificado y medios apropiados para reparar los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Reparadores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentren sus talleres de reparación.

- Instalador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de las normas de instalación de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, instala los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre el domicilio social o sus talleres.

- Usuario

Persona física o jurídica propietaria o explotadora de la refinería de petróleo o planta petroquímica donde se instalan los aparatos a presión.

- Inspector propio

Personal técnico competente designado por el usuario o contratado, con experiencia en la inspección de aparatos a presión de refinerías y plantas petroquímicas.

- Inspecciones y pruebas previas

Toda inspección anterior a la puesta en servicio o durante la misma de un aparato o sistema.

- Inspecciones y pruebas periódicas

Toda inspección y prueba posterior a la puesta en servicio de un aparato o sistema.

- Control de calidad

Se entiende como tal el de la ingeniería, fabricante o instalador, cuando una inspección o prueba previa se realiza bajo su competencia y responsabilidad.

1.2.4. Definiciones de ámbito técnico

- Presión de diseño (P_d)

Se entiende como el valor de la presión que se toma para el cálculo del espesor del aparato, a la temperatura de diseño. La presión de diseño no podrá ser menor que la presión máxima de servicio.

- Presión máxima de servicio (P_{ms})

Se entiende como la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento del proceso.

- Presión de precinto (P_t)

Se entiende como la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen al aparato o al sistema.

- Presión de prueba (P_p)

Se entiende como aquella presión a la que se somete el aparato o sistema para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Corresponde a la mayor presión efectiva que se ejerce en el punto más alto del aparato o sistema durante la prueba de presión.

- Temperatura de diseño (T_d)

Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato.

- Temperatura máxima de servicio (T_{ms})

Es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento.

1.2.5. Condiciones generales para todos los aparatos

Todas las prescripciones expresadas a continuación se aplicarán a los equipos de nueva instalación relacionados en el subapartado “aparato sometido a presión” del presente apartado del pliego de condiciones, y, de entre ellas, las correspondientes a inspecciones y pruebas, al resto de los equipos disponibles.

1.2.5.1. Manual de diseño

De acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, se entregará una copia al usuario del manual de diseño del aparato considerado, que comprenderá:

- a) Identificación de la ingeniería.
- b) Datos básicos de proceso necesarios para el diseño.
- c) Código de diseño o sistema de cálculo, ambos de reconocida solvencia técnica, y normas de construcción elegidas, cálculos justificativos, vida mínima estimada del equipo y demás especificaciones técnicas complementarias no contempladas por el código elegido y que la buena práctica requiera.
- d) Planos básicos normalizados según UNE, con indicación de los materiales a emplear y de los elementos que, por formar parte integrante del equipo a presión, puedan afectar a la seguridad del mismo.
- e) Especificación de prueba de presión.

La ingeniería que elabore el manual de diseño certificará que dicho manual cumple con el código de diseño elegido y que el aparato que se fabrique de acuerdo con él será adecuado para el fin al que se destina.

1.2.5.2. Certificados

Los materiales utilizados en la construcción de los elementos resistentes de los aparatos a presión deberán poseer los certificados de calidad correspondientes. Los materiales de aportación que se utilicen en las soldaduras de los componentes de los aparatos a presión estarán clasificados bajo norma de reconocida solvencia técnica.

1.2.5.3. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación deberán utilizarse unas normas de construcción, control y pruebas acordes con el código de diseño.

1.2.5.4. Legalización de aparatos a presión

Para cada aparato a presión construido, con excepción de las tuberías, el fabricante deberá elaborar un manual de construcción acorde al manual de diseño, del cual entregará copia al usuario, que comprenderá:

- a) Número de inscripción en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrique el aparato.
- b) Nombre, razón social y domicilio de la ingeniería.
- c) Planos constructivos complementarios de los básicos que figuren en manual de diseño, comprobados por la ingeniería si fuese requerido contractualmente para ello por el fabricante o el usuario.
- d) Certificados de calidad de los materiales de base y materiales de aportación y de los componentes del aparato empleado en su construcción, aprobados por el control de

- calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
- e) Procedimientos de conformado, soldadura, tratamientos térmicos y controles, calificación de procedimientos de soldaduras y soldadores, todo ello aprobado por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
 - f) Plano de situación de las zonas sometidas a control por ensayos no destructivos, ensayos requeridos, extensión de los mismos y resultados. Las placas radiográficas serán conservadas adecuadamente por el fabricante durante cinco años como mínimo, a partir de la fecha de fabricación del aparato.
 - g) Certificado de ensayos y pruebas realizados durante la construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante o una entidad colaboradora, indistintamente, y comprobados por la ingeniería si fuera requerida contractualmente para ello por el usuario.
 - h) Acta de la prueba a presión realizada por el fabricante y aprobada por el control de calidad del fabricante.
 - i) Certificado del fabricante del aparato, en el que se hará constar que éste ha sido construido de acuerdo con el manual de diseño, el código y normas utilizadas en su fabricación.

El fabricante, al solicitar de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía la placa de diseño, con su número de registro, presentará los documentos comprendidos en los puntos g), h) e i) anteriores.

El fabricante de un aparato a presión es responsable de que dicho aparato ofrezca las garantías debidas para el fin a que se destina.

1.2.5.5. Instalación

Por cada instalación el instalador deberá elaborar un expediente de instalación acorde con los manuales de diseño y construcción, del cuál entregará copia al usuario. Este expediente comprenderá:

- a) Número de inscripción en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre su domicilio social.
- b) Nombre, razón social y domicilio tanto del fabricante como del instalador.
- c) Relación de aparatos a instalar.
- d) Procedimientos de soldadura y calificación de la mano de obra, aprobados por el control de calidad del instalador.

El instalador de todo sistema a presión es responsable de cualquier deficiencia que pudiera observarse o derivarse de las operaciones de instalación.

1.2.5.6. Inspecciones y pruebas oficiales

Todos los aparatos a presión especificados en el subapartado “aparato sometido a presión” deberán ser sometidos a las inspecciones y pruebas previas a la puesta en servicio ya citadas.

1.2.5.7. Inspecciones y pruebas en el taller del fabricante

Se comprobará por el control de calidad del fabricante que cada equipo ha sido construido de acuerdo con los manuales de diseño y construcción, y quedará constancia de que se han cumplido cada uno de los requisitos previstos en los

citados manuales, en cuyo caso se someterán a las siguientes inspecciones y pruebas:

Examen visual y control dimensional del aparato. Al objeto de poder examinar debidamente el aparato, la placa se hallará desprovista de pintura o de cualquier recubrimiento que pueda disimular los posibles defectos.

Prueba de presión con el aparato completamente lleno de fluido de prueba. Si existiesen razones por las que dicha prueba no sea factible de realizar en el taller del fabricante, se realizará en el lugar de emplazamiento.

1.2.5.8. Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del equipo

Cada equipo se someterá a las siguientes inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento:

Examen visual y control dimensional del aparato, si no se ha realizado anteriormente en el taller del fabricante.

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, que la inspección detecte algún fallo real o aparente que así lo aconseje, que el ingeniero director tenga dudas sobre la capacidad de un equipo para resistir las condiciones de servicio previstas, que confluayan circunstancias inesperadas que las hagan recomendables, o siempre que la prueba no se haya efectuado en el taller del fabricante.

En caso de tener que realizarse la prueba de presión en el lugar de emplazamiento, se seguirán las siguientes condiciones:

- a) Observación del procedimiento de prueba descrito por el fabricante en el manual de construcción. Este deberá ser lo suficientemente detallado, incluyendo las condiciones de prueba, los equipos necesarios para su ejecución, los aparatos de medidas de control (debidamente contrastados

y con la sensibilidad adecuada, procurándose que la lectura se sitúe en el tercio central de la escala del aparato), sistema de llenado y vaciado y tiempo de mantenimiento de la presión de prueba, que en ningún caso será inferior a 30 minutos.

- b) Observación de las condiciones de seguridad durante las pruebas de presión, comprobándose que el equipo para pruebas es correcto y que las conexiones son las adecuadas a las presiones máximas que se van a alcanzar, así como la disposición de las medidas de seguridad suficientes para evitar no sobrepasar la presión de prueba, ni en ningún momento estar por debajo de la temperatura señalada en el manual diseño, ni dañar los elementos internos del aparato.

Se comprobará antes de la prueba que las estructuras y fundaciones que sustenten el aparato o sistema a probar estén en condiciones de resistir la carga a que van a ser sometidas.

Se cuidará que el personal se mantenga alejado durante el desarrollo de las pruebas de los fondos, tapas y piezas roscadas, y se evitará la presencia de personas ajenas a la prueba.

Los manómetros se instalarán fuera de la proyección vertical y se preferirá situarlos lateralmente o en posición superior.

Durante el llenado con fluido de prueba se cuidará de ventear bien el circuito para evitar que queden cámaras de aire o vapor.

- c) El fluido de prueba será agua a la temperatura ambiente, siempre que dicha temperatura no sea inferior a 10° C. El valor de la presión de prueba será el correspondiente a la siguiente expresión:

$$P_p \geq 1,25 \cdot P_d \cdot \frac{S_p}{S_d}$$

Donde “P_p” representa la presión de prueba, “P_d” la presión de diseño, “S_p” la tensión máxima admisible del material a la temperatura de prueba y “S_d” la tensión máxima admisible a la temperatura de diseño.

En el lugar de emplazamiento se realizará, antes de cualquier otra operación, una inspección visual tanto interior como exterior del aparato.

1.2.6. Placas

Todos los aparatos a presión comprendidos en el presente proyecto, con excepción de las tuberías, deberán ir provistos de placas de diseño e identificación, conforme a lo estipulado en el artículo 19 del Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía. En dichas placas se grabará:

Placa de diseño: presión de diseño, y en su caso, la presión máxima de servicio, número de registro del aparato y fecha de la primera prueba y sucesivas.

Placa de identificación: nombre o razón social del fabricante, contraseña y fecha de registro del tipo, número de fabricación y características principales.

Las placas de diseño e identificación se fijarán mediante remaches, soldadura o cualquier otro medio que asegure su inamovilidad, en un sitio visible del aparato, y en ningún caso podrán retirarse del mismo.

1.2.7. Elementos de seguridad

Todos los aparatos y sistemas comprendidos en el presente proyecto deben ir provistos de los elementos de seguridad que prescriban los códigos de diseño empleado y los adicionales especificados en el manual de diseño.

Todas las válvulas de seguridad deben ser de apertura total y sistema de resorte, debiéndose cumplir la condición de que la apertura total de la válvula deberá ser ayudada por la presión del fluido evacuado, de tal manera que la apertura asegure una sección de paso a través de la válvula igual al 80 % de la sección neta de paso en el asiento después de la deducción de la sección transversal de los obstáculos en el orificio, debido a las guías y a la forma del cuerpo de la válvula en la posición de apertura máxima.

No se permitirá el uso de válvulas de seguridad de peso ni de palanca de contrapeso.

La descarga de las válvulas de seguridad deberá realizarse de tal forma que impida eficazmente que el fluido evacuado pueda producir daños a personas o cosas.

Durante las inspecciones interiores periódicas de los aparatos o sistemas a presión la válvula o válvulas de seguridad que protejan dichos aparatos o sistemas se desmontarán y ajustarán para, a continuación, probarlas y precintarlas.

1.3. Pruebas para las tuberías

Para todas las tuberías contempladas en este proyecto se realizarán las siguientes pruebas y comprobaciones en el lugar de emplazamiento:

Examen visual, control de espesores e identificación de los materiales.

Primera prueba de presión, en el caso de no haber sido probadas en el taller.

1.4. Prueba de los sistemas antes de la puesta en marcha

1.4.1. Prueba hidrostática

Se deberá comprobar hidrostáticamente todas las líneas y equipos después de terminar la construcción del circuito, con los equipos interconectados entre sí (comprobación del sistema). El sistema se llenará con agua y se comprobará al menos a 1,25 veces la presión de diseño. El proceso está descrito en la memoria.

Las válvulas de control y placas de orificio deberán quitarse de servicio, así como los instrumentos. Las válvulas de seguridad estarán aisladas. Las secciones cuyas presiones de prueba sean diferentes serán separadas mediante juntas ciegas temporales.

Durante la prueba, se comprobará que no existen fugas, especialmente por las bridas atornilladas y por los asientos de las válvulas.

1.4.2. Lavado del equipo

Esta operación tiene por objeto eliminar cuerpos extraños que, durante el montaje, hayan podido quedar en las líneas o en los equipos, tales como virutas de metal o de madera. Estos restos pueden provocar durante la operación atascos en las líneas, bloqueos en válvulas o destrozar partes móviles de las bombas.

El lavado se llevará a cabo mediante circulación de agua, a la que previamente se habrá añadido la cantidad adecuada de inhibidor de corrosión.

Las bombas habrán sido alineadas, comprobadas y rodadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se instalarán en ellas filtros de aspiración, que deberán limpiarse tan a menudo como sea necesario. Mientras dure el rodaje de las máquinas se vigilarán estrechamente todos los aspectos relacionados con sobrecalentamientos, vibraciones, posibles fugas y consumo eléctrico de motores.

Durante el lavado en los puntos bajos, líneas desconectadas, etc., se debe purgar para eliminar materiales sólidos.

Cuando se observe que los filtros instalados en las bombas han dejado de ensuciarse y el agua que se purga aparece limpia, puede darse por concluida la operación de lavado. Se parará entonces la circulación y se drenará completamente de agua el sistema.

Por último, se instalarán las válvulas automáticas y las placas de orificio, verificándose su posición.

1.4.3. Comprobación de servicios auxiliares

1.4.3.1. Equipo eléctrico

Se comprobará la tensión de los equipos. Los motores eléctricos deberán ser rodados de acuerdo con las instrucciones del fabricante, desconectados del equipo impulsor.

1.4.3.2. Aire de instrumentos

Los colectores deben de ser soplados para la eliminación de la posible suciedad. Toda red debe de ser comprobada bajo presión.

1.4.3.3. Red contra incendios

Se comprobará la llegada de agua a los hidrantes, así como el libre y rápido acceso a los mismos.

1.4.3.4. Sistema de drenaje

Se comprobará que todos los drenajes y arquetas desalojan adecuadamente.

1.4.3.5. Seguridad

Se comprobará que todas las válvulas de seguridad estén instaladas sin discos ciegos ni cerrojos.

2. CONDICIONES TÉCNICAS RELATIVAS A LOS EQUIPOS.

2.1 Intercambiador de calor.

2.1.1 Descripción.

El intercambiador de calor será del tipo AES de acuerdo con los requerimientos del código TEMA clase “B” (tubular exchanger manufacturers association), las dimensiones del mismo serán:

1.300 mm/2.500 mm (diámetro y longitud), su posición será horizontal, constará de 1438 tubos de una longitud de 2500 mm de $\frac{3}{4}$ ”, BGW16, paso triangular y pitch 1”.

La presión y temperatura de operación y de diseño tanto por el lado de carcasa y por el lado de tubos se especifican en la lista de equipos que se adjuntan en el ANEXO.

El cambiador de calor deberá efectuar durante su operación normal, el intercambio de calor planeado, sin cambios de fase tal y como se indica en la hoja de especificaciones. También debe cumplir con los casos alternos de operación de acuerdo con los valores de caídas de presión permisibles mostrados en dicha hoja de especificaciones.

Las presiones de diseño para ambos lados del intercambiador, son las que se indican en la hoja de especificaciones y/o planos de fabricación.

La presión interna de diseño, deberá ser un 10 % mayor que la presión máxima de operación, y en ningún caso la diferencia de presión interna de diseño y la de operación máxima debe ser menor de 206.92 kPa.

Las temperaturas de diseño para ambos lados del intercambiador, son las reflejadas en la hoja de especificaciones adjuntada en el anexo.

Para las temperaturas mayores a 0 °C, la temperatura de diseño de metal de los espejos, tubos, partes del cabezal flotante y otros componentes internos sometidos a presión, debe ser igual o mayor al valor de la temperatura de diseño de lado tubos o envolvente.

El espesor o calibre de tubos, debe ser de pared mínima a menos que se indique otra cosa en la hoja de datos, requisición o planos.

Los tubos empleados en el diseño del cambiador de calor, deben ser tubos sin costura.

La manufactura de los tubos de transferencia de calor puede ser terminados en caliente o estirados en frío y el acabado superficial según en lo establecido en la especificación bajo la cuál se fabrican los mismos.

El espesor o calibre de tubos debe cumplir con los requerimientos para presión interna y externa especificados por el código ASME, Sección VIII, División 1 o equivalente y TEMA o equivalente.

Los tubos de transferencia deberán cumplir las características establecidas en la tabla D-7 o D-7M, de la sección 9 del estándar TEMA o equivalente.

Todos los materiales de construcción para los componentes del cambiador deben especificarse de acuerdo a la sección II del código ASME o equivalente y mostrarse en la hoja de especificaciones y/o planos. Los materiales deben seleccionarse según se obtenga un diseño que cumpla con las condiciones particulares de servicio.

Todos los materiales empleados en la construcción del cambiador deben de ser nuevos.

En cuanto a las bridas, todas serán de acero forjado cuando se empleen en dicho cambiador.

Los materiales de las placas de refuerzo y cuellos de boquillas hechos a partir de placa rolada, deben ser como mínimo de la calidad que el material del componente al cual se unirán.

La suportación de dicho equipo se realizara mediante cunas.

2.1.2 Inspecciones y pruebas.

Las inspecciones y pruebas tienen el propósito de asegurar que los cambiadores de calor son construidos conforme a los requisitos especificados en planos y dibujos aplicables.

Las inspecciones pueden ser del tipo:

Inspección radiográfica, las requeridas por el código ASME Sección VIII, pruebas de ultrasonidos y análisis químico.

Una de las pruebas de especial importancia, será la prueba hidrostática, cuya presión de prueba lado envolvente y lado tubos debe ser la establecida en la sección VIII división I del código ASME y estándar TEMA o equivalentes, especificándose en la hoja de especificaciones de dicho cambiador.

El agua a emplear en dicha prueba, deberá ser potable, con el fin de no causar daño, picadura ni ensuciamiento al cambiador. Después de la realización de dicha prueba, se debe drenar y secar completamente el cambiador.

Garantías:

Las garantías deben ser especificadas en las bases de licitación y el proveedor, contratista y/o prestador de servicios, debiéndose cumplir y ser extendidas por escrito.

El periodo de garantía mínimo, en materiales, manufactura, ensamble de las partes y desempeño funcional, debe ser de 12 meses en operación normal a contar desde la puesta en servicio o 18 meses después de la entrega del equipo y sus componentes.

2.1.3 Condiciones de operación.

Las condiciones de operación normales se especifican en la hoja de datos del intercambiador, aún así son:

Lado carcasa: circulación de fluido frío a precalentar, en este caso con un caudal de 30000 Kg. / H de gases COV a oxidar, entrando a una temperatura de 65 °C, y saliendo a 180°C, temperatura limitada por el LIE.

Lado tubos: circulación de fluido caliente que cede el calor, en este caso con un caudal de 30880 Kg. / H de productos oxidados procedentes de la caldera de recuperación, que entran por lado tubos a 300°C, y salen hacia chimenea a 190 °C.

La temperatura de diseño lado tubo viene especificada en la hoja de datos de dicho cambiador y es de 337.78°C, y por lado carcasa de 215.56°C.

2.2 Oxidador térmico.

2.2.1 Descripción.

El Oxidador térmico que forma parte de este proyecto deberá ser de las siguientes dimensiones:

Longitud: 12.20 metros, posición horizontal y conectado mediante una junta sello con la caldera de recuperación de calor, el diámetro será de 2.45 metros, e irá protegido con materiales aislantes y material refractario.

Dicho Oxidador se compondrá de un quemador que deberá generar una potencia de 1025406 Kcal. / h., de manera que se genere una llama de longitud no superior a 3.3 metros.

El tiempo de residencia de los gases a oxidar deberá ser de al menos 2 segundos, y la temperatura en el interior de la cámara de 850 °C.

El material que compone la cubierta de dicho Oxidador térmico, será de acero al carbono, e irá protegido mediante un material refractario, en este caso será un hormigón refractario HF, este deberá tener un espesor de 0.1 metros, con una conductividad de $K1 = 1.5 \text{ Kcal. / m h } ^\circ\text{C}$.

En cuanto al material aislante, deberá ser un material poroso, de esta manera mejoraremos las propiedades de insolación, y cuyo espesor será de 0.2 m, cuya

composición en alúmina y sílice estará entorno al 40%. Este material estará en contacto con el material refractario, dicho material es el ladrillo de diatomeas, que es el último material aislante de que se compone dicha cámara.

El ladrillo de diatomeas será un compuesto de Kiesselguhr, concretamente será el D 5, de densidad entre 700-800 Kg. /m³.

Su espesor será de 0.20 metros, con porosidad de 65% y conductividad será de $K_2 = 0.14 \text{ Kcal. / m h } ^\circ\text{C}$.

Características que debe cumplir el hormigón refractario:

El tamaño de áridos que debe tener dicho hormigón refractario no debe superar los 4 mm, y se controlará por granulometría.

El tiempo de fraguado del hormigón deberá ser de 8 horas a la temperatura de entre 15 y 25 °C, a las 5 horas de su colocación comienza el fraguado y este proceso llevará 3 horas.

La colocación de este hormigón se deberá realizar a mano.

La puesta en servicio no deberá ser antes de las 48 horas del amasado.

El proceso de calentamiento será: desde 0 a 500 °C, a razón de 50 °C por hora, y a partir de superación de los 500°C de 100°C por hora.

Los encofrados que soportan dicho hormigón deberán ser aceitados previamente a la ejecución del hormigonado, con el fin de facilitar el desencofrado que se realizará a las 24 horas después del amasado.

Desde el comienzo del fraguado, se mantendrán húmedas las partes externas de dicho hormigón, lo que se llama curar el hormigón.

Hay que prever juntas de dilatación cada 1 a 1,5 metros, para tener en cuenta la retracción residual, resultado de la expansión del árido y de la contracción del cemento.

Éstas juntas podrán ser de madera, las cuales se quemarán posteriormente, o pueden ser de chapa, las cuales será necesaria su posterior retirada.

2.2.2 Condiciones de operación.

Las condiciones normales de operación son las siguientes:

Caudal de COV a oxidar de 30000Kg. / h, con aire necesario para su oxidación de 880 Kg. H.

La temperatura normal de oxidación será de 850°C, para ello deberá existir un sistema de control que detecte la presencia de la llama, así como varios sensores de temperatura que me detectarán una temperatura inferior o superior a 850 °C, de manera que se lleve a venteo esta corriente gaseosa por supuesto cerrando la alimentación de la misma a nuestra instalación.

El sistema de control en lo referente al funcionamiento del Oxidador térmico, viene expresado en la memoria de este proyecto, y también en el documento de planos.

La presión de operación de dicho Oxidador será de 2 atm, el piloto funcionará quemando fuel gas, cuya temperatura será de 40°C, la temperatura de los gases a quemar será de 180°C.

El quemador deberá estar equipado con válvulas, filtro, presostato, manómetro, 2 válvulas piloto, válvula de control de presión datos que vendrán especificados en el documento de planos.

2.3 Líneas.

En el documento de anexo, estas líneas vienen perfectamente identificadas y también se incluyen las hojas de datos.

En cuanto al diseño de dichas líneas, nos acogemos al código de diseño ASME B 31.3.

La línea de aire circulará por la A 151 S, de acuerdo con el código ASME, tendrá un sobre espesor de corrosión de 2.5 mm, siendo el material básico de esta línea acero al carbono calmado.

Distinguimos dos líneas para la tubería A 151 S, una de 14 “y otra de 4”, para el aire de combustión y el aire para la puesta en marcha respectivamente.

En esta hoja de especificaciones, se tendrá toda la información, en cuanto a bridas y accesorios se refiere, tanto en materiales como en operación de las mismas.

La clase de tuberías, definida por ASME, para las líneas de fuel gas, tanto para la puesta en marcha como el piloto, son las A 152 de 4 “ y 1/2 “ con tres mm de sobre espesor de corrosión.

De la misma manera que en las líneas anteriores, se utilizarán aquellos accesorios y bridas que se reflejen en la hoja de especificaciones.

Para el resto de las líneas se actuará de la misma manera, y en los anexos, vienen especificados todas las líneas, sus condiciones de operación y diseño y velocidades óptimas.

En cuanto al aislamiento de las líneas, que por su energía calorífica, requieran de aislamiento para la conservación de calor, tanto por razones de necesidades de proceso como por razones de seguridad, nos acogemos a la especificación de aislamientos de tuberías ESP-4205-1, de CEPSA.

Se deberán soportar las líneas siempre que se produzca un cambio de dirección, o encontremos un accesorio que pueda producir algún tipo de tensión debido a vibración o fenómenos similares, dichos apoyos a utilizar podrán ser del tipo que se muestra en el anexo VII.

El aislamiento que se utilizará deberá ser una manta de fibra de vidrio, chapas de aluminio para sostener dicho aislante y protegerlo de las condiciones adversas, y finalmente debemos afianzar dicha chapa mediante lazadas de un material de acero galvanizado, con una máxima separación de 300 mm, según dicha especificación.

Los solapes de las chapas de sustentación del material aislante, han de ser de al menos 500 mm, y cuando se trate de tuberías en disposición vertical dicho solape debe configurarse de manera que en caso de lluvia, el agua no pueda entrar a través de dichos solapes, así pues, la chapa de cota superior solapará de forma que su superficie quede expuesta al medio externo, y su cara interna en contacto con la chapa de inferior cota.

Es decir los solapes siempre se configurarán a favor de agua.

Las líneas que quedarán afectadas a dicho aislamiento serán: OTR- 18"-COV-001-A152-C, OTR- 20"-COV-002-A152-C, OTR- 24"-PO-004-A152-C, OTR- 24"-PO-005-A152-C, OTR-14"-AIR-001-A151-C, OTR- 4"-AIR-002-A151-C.

2.4 Caldera de recuperación.

En este documento, se definen los requisitos necesarios para la óptima elección de la caldera de recuperación.

Esta caldera deberá intercambiar un calor de 19314597 KJ. / h, con una entrada de productos oxidados a una entrada de 850°C, para que a la salida se obtenga una corriente de estos productos oxidados a 300°C.

Para ello se contará con una bomba que proporcione un caudal de 13774 Kg. / h de agua, y se producirá un vapor de media de 13118 Kg. /h a 18 Kg. /cm², y 210 °C.

La zona de entrada de agua, es decir, la alimentación, deberá ser por la parte superior de la virola o zona frontal, y deberá descargar fuera de toda zona de cordones o soldaduras expuestas a temperaturas elevadas.

El diseño, inspección, pruebas y fabricación de esta caldera de recuperación deberá ser acorde a la sección 1 del código de calderas y recipientes a presión del código ASME.

Además la empresa proveedora de dicha caldera deberá adjuntar un sistema de control de la misma que se ajuste a los demás equipos de dicha instalación, con el objeto del buen funcionamiento de la misma, proporcionar la seguridad adecuada tanto de la instalación como de los elementos que la componen y el personal que pueda verse afectado por efecto de fallo de la misma.

La caldera deberá poseer al menos un manómetro que sea legible y que en todo momento presente la presión de la caldera.

De manera general todos los accesorios asociados a esta caldera seguirán los requisitos del código ASME.

3. NORMAS ESPECÍFICAS RELATIVAS AL ÁREA DE TRABAJO.

- Deberá cumplir estrictamente lo establecido en la “Ley de Prevención de Riesgos Laborales”, con los Reglamentos desarrollados por la misma, así como cualquier otra Ley, Norma, Reglamento, etc., que estén en vigor y que sean aplicables a los trabajos que estén desarrollándose.
- Para realizar trabajos en áreas de riesgos especiales de incendio, eléctricos, higiénicos (procesos especiales, pintura, soldadura, centro de transformación, almacén de productos químicos, etc.) se deberá contar con la autorización del Departamento de Seguridad e Higiene, que dará las instrucciones oportunas en cada caso.
- El Técnico Coordinador de la obra será el que tramite todas las peticiones de autorización a los distintos departamentos (seguridad e higiene, mantenimiento, servicios generales, servicios de vigilancia, etc.).
- El personal deberá utilizar siempre los Equipos de Protección Individual (EPI) y los Medios de Protección Colectiva, adecuados a los riesgos a los que estén expuestos, se estará a lo que indique el Departamento de Seguridad e Higiene.
- Las zonas de trabajo de las contratas deberán estar determinadas, para que el personal no interfiera en las áreas en proceso de modificación. Para ello se deberán limitar y señalar éstas mediante cintas y/o mamparas.
- Las alargaderas eléctricas deberán cumplir con lo establecido en el “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión”, debiendo estar las mangueras, clavijas y bases en perfectas condiciones. El tendido de éstas se realizará por zona que no sean de paso, ni exista riesgo de rotura por caídas de objetos o arrollamiento por vehículos.
- En las operaciones que impliquen emisiones ambientales molestas (polvos, nieblas, gases, ruido, vibraciones, etc.) para las personas presentes en zonas

próximas, se deberá aislar la zona o procurar realizarlas fuera de la jornada normal de trabajo.

- Se deberá controlar o recoger cualquier derrame que se produzca para evitar caídas y resbalones.

4. NORMAS PARA PREVENIR INCENDIOS.

- La aplicación o manipulación de sustancias inflamables, supone la obligación de acotar la zona y la prohibición, mediante señalización visible, de fumar o generar chispas a menos de 10 mts del lugar en el que se esté aplicando o manipulando.
- Las alargaderas, portátiles, mecanismos eléctricos, etc., que se usen en lugares cerrados o poco ventilados en los que se esté trabajando con inflamables, deberán ser antideflagrantes.
- En las operaciones en que se tenga que utilizar la soldadura por arco o oxicorte, se deberá extremar las precauciones, no estando en el área donde se apliquen estos métodos la presencia de material combustible o inflamable.
- El almacenamiento de productos inflamables deberá reducirse a la mínima expresión, cumplir con todas las normas de seguridad establecidas para este tipo de material y comunicar su presencia al Departamento de Seguridad e Higiene.
- Deberán seguirse las pautas impuestas por la refinería en la que serían instalados los equipos objeto del presente proyecto.

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

El sistema de protección contra incendios constará de tres puntos hidrantes, de colectores horizontales de diámetro nominal de 6", con tres mangueras, y tres lanzas de 2.5", 3.5" y 4.5" de diámetro, su disposición será de acuerdo a la indicada en el documento Planos.

Deberá ser tal que, proporcione un caudal constante y sin oscilaciones, por ello sólo deberá constar de dos posiciones, (abierta/cerrada), su conexión será roscada y deberá cubrir el área que consta tanto en el documento Anexo (anexo I) y en el documento Memoria.

El material que conforma las lanzas, podrá ser de latón acabado en cromado o similar. Según fabricante se deberá proporcionar su peso, longitud y mantenimiento a aplicar.

La red exterior y el abastecimiento de agua son existentes, no estando dentro del alcance de dicho proyecto.

Antes del visto bueno al sistema de protección contra incendios, se deberá realizar una prueba de presión a dicho sistema, así como una prueba de caudal en un volumen de 180 l y cronometrando el proceso, que por supuesto deberá llevarse a cabo a la presión constante de trabajo de cada una de las lanzas.

6. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO.

El sistema de alumbrado se ha diseñado cumpliendo con los requisitos del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, ITC-BT-26.

El nivel luminoso que se proporcionará al área de procesos de la Planta de Oxidación Térmica, será de 200 lux, de acuerdo con la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajos, siendo la superficie total a iluminar de 315 m², además para actividades intermitentes o de inspección se aconseja una intensidad de iluminación de 100 a 300 lux.

Se contarán con tubos antiexplosivos, debido al ambiente susceptible de posible accidente por inflamación de sustancias volátiles o similares, además de luminarias de emergencia con una autonomía de 1 hora de duración como tiempo mínimo, según legislación vigente.

El sistema obedece a una tensión de 220 voltios, 50 Hz de frecuencia, 80% de humedad relativa, ambiente de grupos de gases tipo I, según norma CEI 79-12.

El material de los soportes y armaduras que componen las luminarias deberán ser resistentes a ambientes corrosivos, salinos y petroquímicos.

Las luminarias a utilizar han sido calculadas para ser soportadas mediante pedestal, así que se compondrán de una base de hormigón, una placa de sujeción, tramos rectos y curvos de tubo de acero rígido sin soldadura y galvanizado por inmersión en caliente. (Además de todos los elementos necesarios para llevar a cabo la sujeción del sistema, como pueden ser pernos de anclaje, arandelas, tuercas, bridas, etc.)

En el documento Planos se detallan las dimensiones de todos los elementos que componen el pedestal con la luminaria montada, así como el número y disposición de las luminarias que forma parte del proyecto.

Dicho sistema es una prolongación de la iluminación que se está llevando a cabo en la Planta de Hidrodesulfuración III.

Se deberán evitar cambios de iluminación o contrastes entre la iluminación general y la dirigida, también debemos evitar deslumbramientos, ya que estos pueden ocasionar accidentes.

En cuanto al mantenimiento de dichas lámparas fluorescentes, se deberán reponer cada 6000 horas de uso, y para mejora del rendimiento de las mismas, se limpiarán cada 3000 horas dado que el rendimiento lumínico baja debido al depósito de polvo en las mismas.

También se inspeccionarán el estado de los soportes, anclajes, tapas de registro, de manera que se compruebe el grado de oxidación o corrosión similar, también debemos comprobar otros aspectos como: caja de conexiones eléctrica, amarres, sistema de programación de encendido y si la iluminación es realmente la adecuada o si debemos proporcionar mas o menos intensidad luminosa.

7. NORMAS DE TRABAJO PARA ELEVACIÓN Y MANUTENCIÓN.

- El personal deberá poseer la formación adecuada en el manejo de los elementos (grúas, carretillas, etc.) que se utilicen en las tareas de manutención encomendadas, prohibiéndose expresamente su uso a las personas no cualificadas para ello.
- Deberá conocer perfectamente la naturaleza del material a manipular, en lo referente a formas, dimensiones, peso, etc., en caso de dudas deberán consultar con el Técnico Coordinador del Complejo. Asimismo, se tendrá muy presente el posible riesgo de incendio, explosión, intoxicación, etc. de las cargas.
- En función de las cargas a manipular, visibilidad, estado del piso, condiciones atmosféricas, etc., se deberá extremar las precauciones.

- Cuando sea necesario retirar las barandillas de los pasillos peatonales para efectuar una maniobra, se volverá a colocar inmediatamente terminada ésta.
- Se realizará una comprobación previa todos los días, antes de empezar la jornada de trabajo, de todos los elementos de las carretillas, grúas y vehículos especiales (dirección, frenos, claxon, luces, posibles pérdidas de aceite, carga de baterías, presión de los neumáticos, etc.) absteniéndose de fumar durante estas operaciones.
- Se deberá tener un conocimiento exhaustivo de las normas y prohibiciones que rigen en las diferentes zonas del Complejo en las que se desarrollarán las labores de mantenimiento.
- No se deberá transportar ni elevar a personas en las carretillas o grúas.
- No utilizar jamás palets rotos o deteriorados.
- Siempre que se estacione, se deberán bajar la uñas de la carretilla. Nunca estacionar en sitios de poca visibilidad.
- No se deberá ocupar jamás los pasillos ni los accesos a los medios contra incendios.
- No se deberá utilizar nunca los medios de elevación y/o transporte por encima de su capacidad nominal.
- Está terminantemente prohibido manipular cargas por encima del personal y se procurará transportar las cargas lo mas cerca del suelo posible, por el riesgo que conlleva de caída de la misma y de vuelco de la carretilla o grúa al desplazar su centro de gravedad.

- Está totalmente prohibido utilizar cualquier elemento endoaural (walkman, radio, etc.) que distorsione la percepción del operario de señales o indicaciones acústicas.
- Los fosos se deberán proteger mediante barandillas, vallas o cualquier otro medio que prevenga el riesgo de caída.

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS

DOCUMENTO N° 4: PRESUPUESTO.

PROYECTO BÁSICO.

INDICE

1. Introducción	3
2. Alcance de los trabajos	4
2.1. Ingeniería, compras y supervisión.....	4
2.2. Suministros y montajes.....	4
2.2.1. Obra civil y estructura metálica	4
2.2.2. Tuberías	4
2.2.3. Equipos.....	4
2.2.4. Electricidad.....	5
2.2.5. Instrumentación	5
3. Unidades de obra	5
3.1. Capítulo I: Acondicionamiento del terreno y obra civil	5
3.1.1. Mediciones	5
3.1.2. Precio unidad.....	6
3.1.3. Cuadro de precios descompuestos.....	7
3.2. Capítulo II: Instalación de equipos.....	8
3.2.1. Mediciones	8
3.2.2. Precio unidad.....	11
3.2.3. Cuadro de precios descompuestos.....	11
3.3. Capítulo III: Instalación y montaje del sistema de tuberías.....	13
3.3.1. Mediciones	13
3.3.2. Precio unidad.....	16
3.3.3. Cuadro de precios descompuestos.....	16
3.4. Capítulo IV: Instalación y montaje del sistema eléctrico	19
3.4.1. Mediciones	19
3.4.2. Precio unidad.....	20
3.4.3. Cuadro de precios descompuestos.....	20
3.5. Capítulo V: Instalación y montaje del sistema de monitoreo.....	21
3.5.1. Mediciones	21
3.5.2. Precio unidad.....	21
3.5.3. Cuadro de precios descompuestos.....	21

4. Presupuesto por ejecución material	22
5. Presupuesto por ejecución por contrata	23
6. Presupuesto total del proyecto.....	23

1. Introducción.

El presente estudio corresponde a la Estimación de Inversión del Proyecto “Diseño de una Planta de Oxidación Térmica de COV con capacidad de oxidación de 30 00 Kg. / h”, que incluye la instalación de un oxidador (Oxidador Térmico, OTR-OT-001), un precalentador de gases de COV fríos, (intercambiador de calor, OTR-E-001), caldera de recuperación (OTR-C-001), un ventilador (OTR-V-001) así como los servicios auxiliares.

La documentación que se ha empleado en esta estimación es:

Ingeniería Básica: “Oxidación Térmica de COV con Sistema Recuperativo”.

Empresas suministradoras de equipos principales y accesorios.

Empresas de montaje mecánico y eléctrico.

Para calcular el presupuesto de dicho proyecto, tenemos que determinar primero el presupuesto por ejecución de material (P E M), que incluye el precio de todas las unidades de obra, es decir, la suma de los precios totales de cada unidad de obra, a este precio se le añade el Beneficio industrial y obtendremos el presupuesto de ejecución por contrata (P E C), a este precio de ejecución por contrata se le suma el IVA del 16% al P E C, de manera que obtendremos el Presupuesto Total del Proyecto.

El Presupuesto se presenta en las distintas unidades de obra, ordenando las mismas de manera temporal, con el fin de permitir la localización de cada unidad de obra con facilidad, obteniendo toda la información presupuestaria de cada una de dichas unidades de obra.

2. Alcance de los trabajos.

2.1. Ingeniería, Compras y Supervisión.

Se ha valorado la ejecución de la ingeniería de detalle, así como la gestión de compras, y la supervisión de la obra.

En este apartado se ha valorado el visado del proyecto oficial, la dirección facultativa y el estudio de seguridad.

2.2. Suministros y montajes.

2.2.1. Obra civil y estructuras metálicas:

Para la valoración de la inversión necesaria se han tenido en cuenta los siguientes trabajos:

Se realizarán las obras civiles necesarias para la implantación de los nuevos equipos en la zona asignada de Refinería, como pueden ser el movimiento de tierras, replanteos, compactación del terreno, cimentaciones, pavimentado, etc..

2.2.2. Tuberías:

Montaje y suportación de las líneas indicadas en los anexos.

2.2.3. Equipos:

- Suministro y montaje de 1 Oxidador Térmico (OTR-OT-001).
- Suministro y montaje de 1 Intercambiador gas-gas (OTR-E-001).
- Suministro y montaje de 1 caldera de recuperación de calor (ORT-C-001).
- Suministro y montaje de 1 ventilador industrial (ORT-V-001).

2.2.4. Electricidad:

Todos los equipos serán expuestos a tierra y conectados a la malla de tierra existente.

En la zona asignada de implantación se ampliará la instalación de alumbrado.

2.2.5. Instrumentación:

Se ha considerado el suministro y montaje de los instrumentos, válvulas y cableados de manera aproximativa.

En la zona de implantación se instalarán nuevas cajas de conexionado.

3. Unidades de obra.**3.1 Capítulo I: Acondicionamiento del terreno y obra civil.****3.1.1 Mediciones.**

Nº ref.	Designación	Nº de partes iguales	Dimensiones				Resultados	
			Long. (m)	Anch. (m)	Alt. (m)	Diámet. (m)	Parcial	Total
3.1.1.1	Movimiento de tierras.							
	Excavación (m ³)	1	26	15	1		390	
	Relleno con escollera (m ³)	1	26	15	0.5		195	
	Relleno con albero (m ³)	1	26	15	0.5		195	
	Compactación escollera (m ²)	1	26	15			390	

	Compactación albero (m ²)	1	26	15			390	
	Replanteo	4	26	15			4	
3.1.1.2	Pruebas de calidad.							
	Prueba de Proctor	2					2	
	Medidas de densidad mediante nuclear	4					4	
	Probetas de hormigón para zapatas	5					5	
3.1.1.3	Drenaje.							
	Aguas de proceso.(acometidas)	1					1	
	Aguas pluviales.(acometidas)	1					1	
3.1.1.4	Protección contra incendios.							
	BIE	3					3	
	Líneas hacia hidrantes	2	15		0.1524		2	
3.1.1.5	Pavimentación.							
	Pavimentado	1	26	15			390	
	compactación	1	26	15			390	
	Prueba de aglomerado	2					2	
3.1.1.6	Cimentación.							
	Excavación (m ³)	6	3	2	0.5		3	
	Zapatas	6	3	2	1.70		6	
3.1.1.7	Estructura metálica.							
	Rack de tuberías y soporte	1					1	

3.1.2 Precio de la unidad.

El precio de dicha unidad asciende a la cantidad de "Cincuenta y cuatro mil novecientos noventa y uno ". (54991.00€)

3.1.3. Cuadro de precios descompuestos.

Nº ref.	Designación	Nº unidades	Precio unitario (€)	Importe	
				Parcial	Total
3.1.3.1	Movimiento de tierras.				
	Excavación (m³)	390	2.60	1014	
	Relleno con escollera (m³)	195	5.33	1040	
	Relleno con albero (m³)	195	5.83	1138.2	
	Compactación escollera (m²)	390	0.86	336.56	
	Compactación albero (m²)	390 * 2	0.86	673.13	
	Replanteo	4	7.5	30	
					4231.89
3.1.3.2	Pruebas de calidad.				
	Prueba de Proctor	2	50	100	
	Medidas de densidad mediante nuclear	4	45	180	
	Probetas de hormigón para zapatas	5	36	180	
					460
3.1.3.3	Drenaje.				
	Aguas de proceso.(acometidas)	1	1160	1160	
	Aguas pluviales.(acometidas)	1	1250	1250	
					2410
3.1.3.4	Protección contra incendios.				
	BIE	3	189.5	568.5	

	Líneas hacia hidrantes	2	10000	20000	
					20568.5
3.1.3.5	Pavimentación.				
	Pavimentado (m ²)	390	13.333	5200	
	Compactación (m ²)	390	0.86	335.4	
	Prueba de aglomerado	2	60	120	
					5655.4
3.1.3.6	Cimentación.				
	Excavación (m ³)	12	5.50	66	
	Zapatatas	6	1100	6600	
					6666
3.1.3.7	Estructura metálica.				
	Rack de tuberías y soportes	1	15000	15000	
					54991,00

3.2 Capítulo II: Instalación de equipos.

3.2.1 Mediciones.

N° ref.	Designación	N° de partes iguales	Dimensiones				Resultados	
			Long. (m)	Anch. (m)	Alt. (m)	Diámet. (m)	Parcial	Total
3.2.1.1	Oxidador térmico.							
	Equipo	1	12.20			2.54	1	
	Replanteo	1					1	
	Transporte	1					1	
	Grúa (h)	5						
	Montaje	1					1	

Conexionado/ Accesorios								
	Conexión junta-sello	1				1.960	1	
	Orificios inyectoros	4				0.0508	4	
	Reductor quemador	1				0.609	1	
	Brida quemador	1				0.609	1	
	Manguito termopar	3				0.0508	3	
	Venteo	1					1	
	Boca hombre	2				0.609	2	
	Orificio drenaje	2					2	
	Montaje apoyos cunas	2	2.280	0.250		2.540	2	
	Brida F.G	1				0.0381	1	
	Brida F.G piloto	1				0.0127	1	
	Bridas aire combustión	2					2	
	Orificios detectores llama	2				0.0508	2	
Material aislante								
	Hormigón refractario	1					1	
	Ladrillo diatomeas	1					1	
	Juntas de dilatación	8					8	
Instrumentación								
	Detector de llama	2					2	
	Termopar	3					3	
	Instrumentación quemador	1					1	
	Sight glass	1					1	
	Indicador de presión	1					1	
Pruebas Hidráulicas								
	Pruebas Hidráulica	1					1	
3.2.1.2	Intercambiador de calor.							
	Equipo	1	5.40			1.30	1	
	Replanteo	1					1	
	Transporte	1					1	

	Grúa (h)	5					5	
	Montaje	1					1	
	Conexionado/accesorios							
	Manguito	2				0.0508	2	
	Venteo	1					1	
	Brida tubuladura 18"	1					1	
	Brida tubuladura 20"	1					1	
	Brida tubuladura 24"	2					2	
	Apoyo cunas	2	1.240	0.20			2	
	Instrumentación							
	Termopar	2					2	
	Indicador presión	1					1	
	Prueba hidráulica							
	Prueba hidráulica	1					1	
3.2.1.3	Caldera.							
	Equipo	1					1	
	Replanteo	1					1	
	Transporte	1					1	
	Grúa (h)	5					5	
	Montaje	1					1	
	Prueba hidráulica	1					1	
3.2.1.4	Ventilador.							
	Equipo	1					1	
	Replanteo	1					1	
	Transporte	1					1	
	Grúa (h)	2					2	
	Montaje	1					1	

3.2.2 Precio de la unidad.

El precio de dicha unidad asciende a la cantidad de "Trescientas ochenta y tres mil novecientos ochenta y seis". (383986,00. €)

3.2.3. Cuadro de precios descompuestos.

N° ref.	Designación	N° unidades	Precio unitario (€)	Importe	
				Parcial	Total
3.2.3.1	Oxidador térmico.				
	Equipo	1	102000	102000	
	Replanteo	1	50	50	
	Transporte	1	350	350	
	Grúa (h)	5	60	300	
	Montaje	1	31000	31000	
	Conexión junta-sello	1	620	620	
	Orificios inyectoros	4	99	396	
	Reductor quemador	1	285	285	
	Brida quemador	1	365	365	
	Manguito termopar	3	126	378	
	Venteo	1	189	189	
	Boca hombre	2	360	720	
	Orificio drenaje	2	99	198	
	Montaje apoyos cunas	2	3700	7400	
	Brida F.G	1	125	125	
	Brida F.G piloto	1	45	45	
	Bridas aire combustión	2	75	150	
	Manguitos para detectores llama	2	126	252	

	Hormigón refractario	1	4870	4870	
	Ladrillo diatomeas	1	5590	5590	
	Juntas de dilatación	8	250	2000	
	Detector de llama	2	679	1358	
	Termopar	3	96.2	192.4	
	Instrumentación quemador	1	3980	3980	
	Sight glass	1	75	75	
	Indicador de presión	1	45	45	
	Pruebas Hidráulica	1	750	750	
					163683.4
3.2.3.2	Intercambiador de calor.				
	Equipo	1	58000	58000	
	Replanteo	1	50	50	
	Transporte	1	350	350	
	Grúa (h)	5	60	300	
	Montaje	1	28000	28000	
	Manguito	2	126	252	
	Venteo	1	189	189	
	Brida tubuladura 18"	1	290	290	
	Brida tubuladura 20"	1	325	325	
	Brida tubuladura 24"	2	365	730	
	Apoyo cunas	2	3606	7212.14	
	Termopar	2	96.50	193	
	Indicador presión	1	112	112	
	Prueba hidráulica	1	750	750	
					96753.14
3.2.3.3	Caldera.				
	Equipo	1	85000	85000	
	Replanteo	1	50	50	
	Transporte	1	350	350	
	Grúa (h)	5	60	300	

	Montaje	1	30000	30000	
	Prueba hidráulica	1	750	750	
					116450
3.2.3.4	Ventilador.				
	Equipo	1	5806	5806	
	Replanteo	1	50	50	
	Transporte	1	60	60	
	Grúa (h)	2	42	84	
	Montaje	1	1100	1100	7100
					383986,00

3.3 Capítulo III: Instalación y montaje del sistema de tuberías.

3.3.1 Mediciones.

N° ref.	Designación	N° de partes iguales	Dimensiones				Resultados	
			Long. (m)	Anch. (m)	Alt. (m)	Diámet. (m)	Parcial	Total
3.3.1.1	Tuberías de procesos y servicios auxiliares.							
	Acero al carbono calmado 18''(A152)(COV)	9.65	9.65			0.4572	9.695	
	Acero al carbono calmado 20''(A152)(COV)	15.25	15.25			0.508	15.25	
	Acero al carbono calmado 24'' (A152)(PO)	32.37	32.37			0.6096	32.37	
	Acero al carbono ½''(FG Piloto)(A152)	19	19			0.0127	19	
	Acero al carbono calmado 4'' (FG puesta en marcha)(A152)	19	19			0.1016	19	
	Acero al carbono	15	15			0.0508	15	

	2" (Gas inerte)							
	Acero al carbono calmado 14" (A151S)(aire para puesta en marcha)	20	20			0.3556	20	
	Acero al carbono calmado 4" (A151S)(aire para combustión de COV)	20	20			0.0508	20	
3.3.1.2	Accesorios.							
	Codo 90° acero al carbono 18"	5	0.685			0.4572	5	
	Codo 90° acero al carbono 20"	6	0.760			0.508	6	
	Codo 90° acero al carbono 24"	11	0.910			0.609	11	
	Codo 90° acero al carbono 1/2"	3				0.0127	3	
	Codo 90° acero al carbono 4"	7				0.1016	7	
	Codo 90° acero al carbono 14"	4				0.3556	4	
	Codo 90° acero al carbono 2"	1				0.0508	1	
	Te 18"	1				0.4572	1	
	Te 24"	1				0.609	1	
	Te 1/2"	1				0.0127	1	
	Te 4"	1				0.1016	1	
	Brida acero al carbono 18"(cuello)	9					9	
	Brida acero al carbono 20"(cuello)	5					5	
	Brida acero al carbono 24"(cuello)	13					13	
	Brida acero al carbono 14"(cuello)	2					2	
	Brida acero al carbono 4"(cuello)	4					4	
	Brida acero al carbono 2"(cuello)	2					2	

Brida acero al carbono 1/2"(cuello)	2					2	
Tapa roscada 4"	3					3	
Tapa roscada 14"	1					1	
Placa orificio 18"	1					1	
Válvula mariposa acero al carbono 18"	2					2	
Válvula seguridad acero al carbono 18"	1					1	
Válvula mariposa acero al carbono 24"	1					1	
Válvula seguridad acero al carbono 24"	1					1	
Válvula de retención 2"	1					1	
Válvula de bola 2"	2					2	
Válvula de bola 4" neumática	3					3	
Válvula de bola 4" autorregulable	1					1	
Válvula de bola 4" manual	1					1	
Válvula de bola 4"	3					3	
Válvula de cierre 4"	6					6	
Válvula de globo 4"	1					1	
Válvula de seguridad 4"	1					1	
Válvula de seguridad 1/2"	1					1	
Válvula de bola 1/2"	1					1	
Válvula de bola 1/2" neumática	2					2	
Válvula de bola 1/2" autorregulable	1					1	
Válvula de bola	1					1	

	14" manual							
	Válvula de bola 14" neumática	1					1	
3.3.1.3	Instrumentación.							
	Termopar	2					2	
	Manómetro	7					7	
	Transmisor temperatura	4					4	
	Interruptores de presión	3					3	
	Transmisor de presión	1					1	
3.3.1.4	Generalidades.							
	Aislamiento térmico	1					1	
	Replanteo	1					1	

3.3.2 Precio de la unidad.

El precio de dicha unidad asciende a la cantidad de "Setenta y tres mil ciento ochenta y siete ". (73187,00 €)

3.3.3. Cuadro de precios descompuestos.

Nº ref.	Designación	Nº unidades	Precio unitario (€)	Importe	
				Parcial	Total
3.3.3.1	Tuberías de procesos y servicios auxiliares.				
	Acero al carbono calmado 18"(A152)(COV) (m)	9.65	210	2026.5	
	Acero al carbono calmado 20"(A152)(COV) (m)	15.25	285	4346.25	
	Acero al carbono calmado 24" (A152)(PO) (m)	32.37	320	10358.4	
	Acero al carbono	19	60	1140	

	½”(FG Piloto)(A152) (m)				
	Acero al carbono calmado 4” (FG puesta en marcha)(A152) (m)	19	90	1710	
	Acero al carbono 2” (Gas inerte) (m)	15	65	975	
	Acero al carbono calmado 14” (A151S)(aire para puesta en marcha) (m)	20	140	2800	
	Acero al carbono calmado 4” (A151S)(aire para combustión de COV) (m)	20	90	1800	
					25156.15
3.3.3.2	Accesorios.				
	Codo 90° acero al carbono 18”	5	390	1950	
	Codo 90° acero al carbono 20”	6	418	2508	
	Codo 90° acero al carbono 24”	11	598	6578	
	Codo 90° acero al carbono 1/2”	3	65	195	
	Codo 90° acero al carbono 4”	7	85	595	
	Codo 90° acero al carbono 14”	4	285	1140	
	Codo 90° acero al carbono 2”	1	78	78	
	Te 18”	1	395	395	
	Te 24”	1	580	580	
	Te 1/2”	1	60	60	
	Te 4”	1	90	90	
	Brida acero al carbono 18”(cuello)	9	270	2430	
	Brida acero al carbono 20”(cuello)	5	295	1475	
	Brida acero al carbono 24”(cuello)	13	380	4940	

	Brida acero al carbono 14"(cuello)	2	220	440	
	Brida acero al carbono 4"(cuello)	4	110	440	
	Brida acero al carbono 2"(cuello)	2	70	140	
	Brida acero al carbono 1/2"(cuello)	2	60	120	
	Tapa roscada 4"	3	45	135	
	Tapa roscada 14"	1	89	89	
	Placa orificio 18"	1	330	330	
	Válvula mariposa acero al carbono 18"	2	450	900	
	Válvula seguridad acero al carbono 18"	1	465	465	
	Válvula mariposa acero al carbono 24"	1	680	680	
	Válvula seguridad acero al carbono 24"	1	695	695	
	Válvula de retención 2"	1	60	60	
	Válvula de bola 2"	2	65	130	
	Válvula de bola 4" neumática	3	115	345	
	Válvula de bola 4" autorregulable	1	110	110	
	Válvula de bola 4" manual	1	105	105	
	Válvula de cierre 4"	6	105	630	
	Válvula de globo 4"	1	130	130	
	Válvula de seguridad 4"	1	130	130	
	Válvula de seguridad 1/2"	1	65	65	
	Válvula de bola 1/2"	1	50	50	
	Válvula de bola 1/2" neumática	2	65	130	
	Válvula de bola 1/2" autorregulable	1	60	60	
	Válvula de bola 14" manual	1	225	225	

	Válvula de bola 14" neumática	1	240	240	
	Placa orificio 18"	1	435	435	
					30293
3.3.3.3	Instrumentación.				
	Termopar	2	96.99	193.98	
	Manómetro	7	76.99	538.93	
	Transmisor temperatura	4	835	3340	
	Interruptores de presión	3	52.3	156.9	
	Transmisor de presión	1	1109	1109	
					5338.8
3.3.3.4	Generalidades.				
	Aislamiento térmico	1	11300	11300	
	Replanteo	1	1100	1100	
					12400
					73187,00

3.4 Capítulo IV: Instalación y montaje del sistema eléctrico.

3.4.1 Mediciones.

N° ref.	Designación	N° de partes iguales	Dimensiones				Resultados	
			Long. (m)	Anch. (m)	Alt. (m)	Diámet. (m)	Parcial	Total
3.4.1.1	Equipos eléctricos.							
	Cuadro eléctrico	2					2	
	Panel de control	2					2	
3.4.1.2	Materiales eléctricos.							
	Cableado eléctrico							
	Luminaria							

	Paneles alumbrado							
	Cable instrumentación							
	Postes para luminarias	16					16	

3.4.2 Precio de la unidad.

El precio de dicha unidad asciende a la cantidad de "Ciento diez mil ciento quinientos ochenta euros". (110580 €)

3.4.3. Cuadro de precios descompuestos.

Nº ref.	Designación	Nº unidades	Precio unitario (€)	Importe	
				Parcial	Total
3.4.3.1	Equipos eléctricos.				
	Cuadro eléctrico	1	18000	18000	
	Panel de control	2	15000	30000	
3.4.3.2	Materiales eléctricos.				
	Cableado eléctrico			30000	
	Luminarias	47	30	1410	
	Paneles alumbrado	24	210	5040	
	Cable instrumentación			20000	
	Postes para luminarias	26	250	6500	
	(incluyendo montaje)				110580

3.5 Capítulo V: Instalación y montaje del sistema de monitoreo continuo.

3.5.1 Mediciones.

N° ref.	Designación	N° de partes iguales	Dimensiones				Resultados	
			Long. (m)	Anch. (m)	Alt. (m)	Diámet. (m)	Parcial	Total
3.5.1.1	Sistema de monitoreo continuo.							
	Analizador extractivo	1					1	
	Sistema de adquisición de datos	1					1	
	Sala ambientalmente controlada	1					1	
	Sistema de monitoreo y acondicionamiento	1					1	
	Instrumentación							
	Obra civil asociada							

3.5.2 Precio de la unidad.

El precio de dicha unidad asciende a la cantidad de "Ciento treinta y seis mil euros". (136000 €)

3.5.3. Cuadro de precios descompuestos.

N° ref.	Designación	N° unidades	Precio unitario (€)	Importe	
				Parcial	Total
3.5.3.1	Sistema de monitoreo continuo.				
	Analizador extractivo	1	18000	18000	

	Sistema de adquisición de datos	1	22000	30000	
	Sala ambientalmente controlada	1	35000	35000	
	Sistema de monitoreo y acondicionamiento	1	16000	16000	
	Instrumentación		15000	15000	
	Obra civil asociada		30000	30000	
					136000

4. Presupuesto por ejecución material

El Presupuesto por Ejecución Material será:

P E M	
UNIDAD DE OBRA	PRECIO (€)
Acondicionamiento del terreno y obra civil.	54991.79
Instalación de equipos.	383986.54
Instalación y montaje del sistema de tuberías.	73187.95
Instalación y montaje del sistema eléctrico.	110580
Instalación y montaje del sistema de monitoreo continuo.	136000
TOTAL ACUMULADO	758746,00

Asciende el **Presupuesto por Ejecución Material** del Proyecto “Diseño de una Planta de Oxidación de COV con capacidad de oxidación de 30000Kg. /h”, a la cantidad de **“SETECIANTAS CINCUENTA Y OCHO MIL SETECIENTAS CUARENTA Y SEIS EUROS.”** (758746.00€).

5. Presupuesto por ejecución por contrata.

Para la realización del Presupuesto por Ejecución por Contrata, aplicaremos la suma del 15% del P E M al mismo, obteniendo el P E C.

El 15% del P E M será: 113811.94 €

Así pues el P E C es 872558.22 €

Asciende el Presupuesto por Ejecución por Contrata del Proyecto “Diseño de una Planta de Oxidación de COV con capacidad de oxidación de 30000Kg. /h”, a la cantidad de **“OCHOCIENTAS SETENTA Y DOS MIL QUINIENTAS CINCUENTA Y OCHO”**, (872558,00 €).

6. Presupuesto total del proyecto.

Para el cálculo del Presupuesto Total del Proyecto, sumaremos al P E C el IVA del 16% quedando el precio final del Proyecto como sigue:

IVA corresponde a 139609.31 € de manera que el Presupuesto Total del Proyecto será de: 1012167.53 €

Asciende el Presupuesto Total del Proyecto “Diseño de una Planta de Oxidación de COV con capacidad de oxidación de 30000Kg. /h”, a la cantidad de “**UN MILLÓN DOCE MIL CIENTO SESENTA Y SIETE**”, (1012167,00 €).

El coste total del proyecto será de:

1012167,00 Euros

El Puerto de Santa Maria, a 26 de diciembre de 2006

Fdo:

Ignacio Aguirre Fernández-Prada

