

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha

Autor: Francisco Javier RIVADA NÚÑEZ

Fecha: Noviembre 2008





UNIVERSIDAD DE CÁDIZ  
FACULTAD DE CIENCIAS  
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
PROYECTO FIN DE CARRERA

**PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE  
ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DE MELAZAS DE  
REMOLACHA: RESUMEN**

AUTOR: Francisco Javier Rivada Núñez

## INTRODUCCIÓN

El ácido cítrico es un ácido orgánico muy frecuente en la naturaleza ya que es un compuesto intermedio en el ciclo de Crebbs, también está presente en gran cantidad de frutas. Fue aislado por primera vez por Scheele al mezclar zumo de limón con cal y disolviendo el precipitado con ácido sulfúrico. A principios del siglo XX la obtención del ácido cítrico se hacía a partir de limones, pero a mediados de siglo ese proceso se hizo cada vez menos rentable, optándose posteriormente, cada vez más, por la producción mediante la fermentación de un microorganismo.

El ácido cítrico es usado principalmente en la industria de la alimentación para la elaboración de bebidas y otros productos, también como saborizante y conservante, aunque tiene otras muchas propiedades por las que es utilizado en esta industria. El ácido cítrico también es utilizado en la industria farmacéutica, textil, cosmética, agrícola y de detergentes.

## MATERIAS PRIMAS USADAS

La fuente de carbono que utilizará el microorganismo para la fermentación será la sacarosa presente en las melazas de remolacha. Las melazas son un subproducto de la industria azucarera rico en azúcares y otros nutrientes beneficiosos. Para que el microorganismo crezca y se desarrolle adecuadamente se necesita, además de los que llevan las melazas, una serie de nutrientes suplementarios en proporción adecuada, además de agua y aire.

## MICROORGANISMO

Existe gran variedad de microorganismos que en condiciones adecuadas producen una alta cantidad de ácido cítrico, de entre todos ellos se ha optado por el *Aspergillus niger*, ya que es un microorganismo que da una producción elevada al usar melazas como medio de cultivo, además es el microorganismo mas estudiado y empleado industrialmente a la hora de producir ácido cítrico.

## FERMENTACIÓN

Tras el acondicionamiento y la esterilización del medio de cultivo dentro del equipo de fermentación, se introduce el starter o inóculo, el cual comenzará a crecer en un medio rico en nutrientes, aireado y agitado convenientemente, la aireación y agitación son esenciales para el correcto crecimiento del cultivo.

A lo largo del ciclo fermentativo, de 144 horas de duración, el microorganismo crecerá hasta alcanzar la fase terminal de desarrollo, donde tiene lugar en mayor medida la producción de ácido cítrico. Con el fin de maximizar la producción, se controla a lo largo del proceso una serie de factores como son temperatura, pH, grado de agitación, grado de aireación...etc, no controlar estos factores da lugar a una menor producción de ácido cítrico.

## SEPARACIÓN

Una vez terminado el proceso fermentativo se separa el ácido cítrico del resto de componentes del caldo post-fermentativo. En primer lugar, se separa el micelio, compuesto por células muertas de *Aspergillus niger*, del resto del caldo mediante un proceso de filtración. En segundo lugar se realiza el llamado proceso cal-sulfúrico que consiste en mezclar el caldo post-fermentativo con una lechada de cal, lo cual ocasiona que se forme la sal de calcio del ácido cítrico, el citrato cálcico, que precipita y se separa mediante otra filtración.

El citrato cálcico se descompone al mezclarlo con ácido sulfúrico, quedando ya el ácido cítrico libre y un residuo sólido de sulfato cálcico que se separa mediante filtración.

## PURIFICACIÓN

Tras el proceso cal-sulfúrico nos encontramos con el ácido cítrico ya separado de las impurezas del caldo post-fermentativo, pero se presenta en dilución con gran cantidad de agua. Para obtener el producto sólido de esta disolución se efectúa un proceso de evaporación y cristalización mediante el cual la disolución de ácido cítrico pasa a un evaporador de doble efecto que retirará el agua necesaria para que en el cristalizador la disolución llegue al punto de saturación y se formen los cristales de ácido cítrico.

Los cristales formados en el proceso de cristalización aun contienen humedad, la cual ha de ser retirada antes de proceder al empaquetamiento del producto, ya que el consumidor demanda un producto seco, por lo tanto, para retirar esta humedad, se realiza una centrifugación y posteriormente un secado del producto lo que retirará toda el agua sobrante quedando el ácido cítrico en forma granular listo para ser empaquetado para su transporte.

## CONCLUSIÓN

La creciente demanda mundial de ácido cítrico, debida al aumento de la demanda de alimentos, y el alto valor añadido de éste hacen pensar que la construcción de una planta de producción de ácido cítrico generará grandes beneficios económicos y sociales, aprovechando además un residuo industrial de alta producción como son las melazas de remolacha provenientes de la industria azucarera. La construcción, puesta en marcha y funcionamiento de la planta ha de respetar, entre otras, la legislación vigente en materia de seguridad y medio ambiente.

## DOCUMENTO PRIMERO: MEMORIA DESCRIPTIVA

# PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA

Autor: Francisco Javier Rivada Núñez

Tutor: Prof. Idefonso Caro Pina



# MEMORIA DESCRIPTIVA

## ÍNDICE:

1. ANTECEDENTES
2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO
3. ESTUDIO DEL PRODUCTO Y DEL MERCADO
4. EMPLAZAMIENTO
5. MATERIAS PRIMAS
  - 5.1. AGUA
  - 5.2. AIRE
  - 5.3. MELAZAS DE REMOLACHA
  - 5.4. INÓCULO
  - 5.5. NUTRIENTES
6. *Aspergillus niger*
7. PRODUCTOS
  - 7.1. ÁCIDO CÍTRICO
  - 7.2. SUBPRODUCTOS
8. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO
9. PROCESOS Y UNIDADES
  - 9.1. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO
    - 9.1.1. DEPÓSITO DE PRODUCTOS
  - 9.2. CELDAS DE INTERCAMBIO IÓNICO Y CARBÓN ACTIVADO
  - 9.3. ESTERILIZACIÓN
  - 9.4. FERMENTACIÓN
    - 9.4.1. SISTEMA DE AGITACIÓN
    - 9.4.2. SISTEMA DE AIREACIÓN

9.4.3. FACTORES A CONTROLAR ANTES Y DURANTE EL PROCESO

9.4.4. INFLUENCIA DE LOS MICRONUTRIENTES EN LA PRODUCCIÓN

9.5. FILTRACIÓN

9.5.1. FILTRACIÓN #1

9.5.2. FILTRACIÓN #2

9.5.3. FILTRACIÓN #3

9.5.4. FILTRACIÓN #4

9.6. LECHADA DE CAL

9.7. DESCOMPOSICIÓN DEL CITRATO

9.8. EVAPORACIÓN

9.8.1. CONFIGURACIÓN DEL EVAPORADOR

9.9. CRISTALIZACIÓN

9.10. CENTRIFUGACIÓN

9.11. SECADO

9.11.1. SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO

9.12. EMPAQUETADO

10. ALMACENAMIENTO

11. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

11.1. INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

11.2. SISTEMA DE CONTROL

12. SIMULACIÓN DE PLANTA

13. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

14. SEGURIDAD

14.1. PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

14.2. PROTECCIÓN ANTE EL RIESGO ELÉCTRICO

- 14.3. PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS Y GOLPES
- 14.4. PROTECCIÓN CONTRA EL RIESGO BIOLÓGICO
- 14.5. PROTECCIÓN ANTE EL RUIDO
- 14.6. PROTECCIÓN ANTE EL CALOR
- 14.7. OTROS RIESGOS
- 15. CONTROL DE CALIDAD
  - 15.1. CONTROL DE MATERIAS PRIMAS
  - 15.2. CONTROL DURANTE EL PROCESO FERMENTATIVO
  - 15.3. CONTROL DEL PRODUCTO TERMINADO
- 16. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
  - 16.1. RESIDUOS SÓLIDOS
  - 16.2. RESIDUOS GASEOSOS
  - 16.3. RESIDUOS LÍQUIDOS
  - 16.4. OTROS IMPACTOS
    - 16.4.1. RUIDOS Y VIBRACIONES
    - 16.4.2. IMPACTO VISUAL
  - 16.5. IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL
- 17. EMPLEADOS Y TURNOS DE TRABAJO
- 18. ESTRUCTURAS AUXILIARES
  - 18.1. ESTRUCTURA METÁLICA AUXILIAR
  - 18.2. MONTACARGAS
- 19. TRANSPORTE EN PLANTA
- 20. RÉGIMEN DE FABRICACIÓN
- 21. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OBRAS
- 22. EVALUACIÓN ECONÓMICA
- 23. BIBLIOGRAFÍA

## 1. ANTECEDENTES

El alumno y proyectista Francisco Javier Rivada Núñez, bajo la autorización del Prof. Ildefonso Caro Pina, ha redactado el siguiente proyecto, “PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DE MELAZAS DE REMOLACHA” con motivo de la elaboración del proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias de Puerto Real.

## 2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto trata de la construcción de una planta de producción de ácido cítrico mediante fermentación con el hongo *Aspergillus niger*. La principal materia prima serán las melazas de remolacha, subproducto de las plantas azucareras.

Aunque el proceso puede llevarse a cabo mediante innumerables cepas de microorganismos, la utilización del hongo *Aspergillus niger* es la más estudiada y empleada en la industria.

La empleo de melaza se justifica por ser una materia prima cercana y abundante además de ser un excelente medio de cultivo que permite el crecimiento de gran variedad de microorganismos.

Con este proyecto, además de la obtención de un producto de alto valor añadido, se aprovechará un residuo de una industria importante en la provincia de Cádiz, de esta manera, se consigue valorizar unos residuos de alta producción y se logra un menor impacto en el medio ambiente.

Otro motivo que justifica la elaboración de este proyecto es acrecentar la importancia económica de la zona al construir una planta que incorpora un nuevo producto, que usa los servicios e infraestructuras existentes y crea puestos de trabajo, beneficiando así a terceros y a la comunidad en general.

### 3. ESTUDIO DEL PRODUCTO Y DEL MERCADO

El ácido cítrico tiene múltiples aplicaciones pero se usa principalmente como acidulante de refrescos y bebidas, ya que les proporciona sabor y acidez, además, por sus características de secuestrante de metales, evita la turbidez y el deterioro de las propiedades de dichas bebidas. En otras industrias del sector alimenticio se usa, tanto el ácido cítrico como sus sales, como saborizante y conservante.

En el sector farmacéutico el ácido cítrico y sus sales se usan para la fabricación de pastillas o polvos efervescentes, también se aprovecha su efecto antioxidante, antimicrobiano y anticoagulante.

Otros sectores que usan ácido cítrico son: industria cosmética, industria textil, industria agrícola e industria de detergentes (principalmente para la elaboración de detergentes biodegradables).

Hoy en día China y, en menor medida, Canadá dominan la producción mundial de ácido cítrico. Estos países acaparan entre un 40% y 50% del mercado debido a sus bajos precios, comparados con las empresas europeas y estadounidenses, el resto del mercado está dominado por las compañías ADM, DSM Nutricional Products, Tate & Lyle, Jungbunzlauer y Cargill. Estas compañías no pueden competir en precio debido, además de la mano de obra, al alto coste de la energía y de la materia prima, que por malas cosechas, o su uso en otras alternativas como el biodiesel, empiezan a escasear.

Las presiones del mercado han provocado que entre los años 2007 y 2008, cinco plantas de producción de ácido cítrico en Europa y América hayan sido cerradas, mientras que en Canadá y China se han puesto en marcha tres. Actualmente se investiga por el gobierno de los Estados Unidos y la Unión Europea, la competencia desleal de China que vende incluso bajo precio de producción con el fin de desbanca a los demás competidores del mercado.

La demanda de ácido cítrico crece aproximadamente un 7% anual, con una producción de 600.000 toneladas al año y un valor de mercado de más de dos billones de dólares, el principal país productor es China que aumenta cada vez más en calidad y seguridad sus productos acercándose a los del resto del mundo.

## 4. EMPLAZAMIENTO

En cuestión de emplazamiento ha de valorarse, principalmente, el coste del suelo industrial en la localidad de ubicación de la planta y el coste de transportar la materia prima desde donde se origina hasta la planta. Ha de llegarse a una solución de compromiso entre ambos costes evaluados a lo largo de toda la vida útil de la planta.

Teniendo en cuenta que la fuente de la principal materia prima, las melazas, es la planta azucarera de Jerez, la planta debería ubicarse en dicho término municipal, al elevarse demasiado los costes de transporte si se sitúa en otro municipio de la región.

Estudiando las ofertas de suelo industrial en Jerez se ha optado por una parcela de 6.000 m<sup>2</sup> a 5,11 km de la azucarera. El precio, en principio, de dicha parcela es de 92,15 €/m<sup>2</sup>, dispone de red de alcantarillado, red de agua y está bien comunicada al encontrarse al pie de la carretera N-IV. La localización se muestra con más detalle en el apartado de planos.

**Terreno** [Contactar](#)

**Parcela/Terreno en Jerez de la Frontera (Cádiz) de 40 ha**

última actualización del anuncio: **07-Sep**. Visitas al anuncio: **214**

→ **Datos básicos de la parcela**

Precio: **36.860.000 € / 92,15 €/m<sup>2</sup>**

Superficie: **40 ha**

Tipo: **Solar industrial**

Desnivel: **Plano** 

**Edificabilidad:**

-Suelo Industrial de 400.000 m<sup>2</sup> - Situados en el Parque Tecnológico en Guadalcaçín, Jerez-TIENE PERMISOS DE OBRA--A pie de carretera-A 500 m del Aeropuerto de Jerez-Magnífica situación.

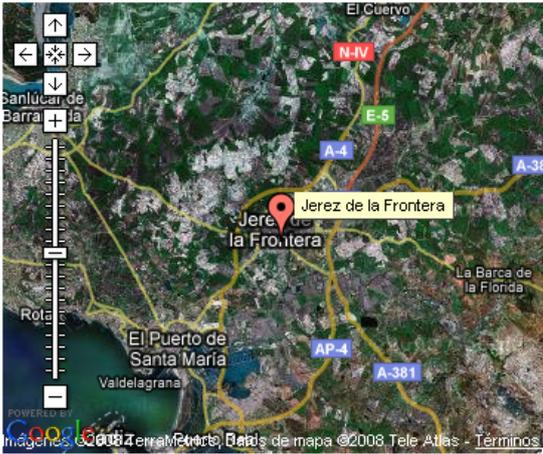
→ **Dirección:**

**Parque Tecnológico-Guadalcaçín-Cádiz**  
**Jerez de la Frontera**  
**Cádiz**

[Contactar con el vendedor](#)

→ **Observaciones:**

-Suelo Industrial de 400.000 m<sup>2</sup> - Situados en el Parque Tecnológico en Guadalcaçín, Jerez-TIENE PERMISOS DE OBRA--A pie de carretera-A 500 m del Aeropuerto de Jerez-Magnífica situación.



[Recibe en tu e-mail avisos de parcelas en Jerez de la Frontera](#)

## 5. MATERIAS PRIMAS

### 5.1. AGUA

El agua se usará para diluir las melazas de manera que se reduzca la densidad y viscosidad de éstas, haciéndolas aptas para el cultivo microbiano. El agua usada se deberá esterilizar para evitar el crecimiento de otros microorganismos que compitan por el alimento.

También será utilizada como refrigerante en la etapa de fermentación y en las etapas de filtración para el lavado de la torta y como fluido calefactor o refrigerante en las reacciones químicas. Además estará disponible para servicios auxiliares como limpieza, sanitario y contra incendios.

Para evitar fallos en el suministro de agua y obtener los caudales deseados, se utilizarán depósitos de almacenamiento que asegurarán el suministro de agua cuando esta sea requerida.

## 5.2. AIRE

Para la producción de ácido cítrico se utiliza un microorganismo que es el que, mediante su metabolismo, transforma la materia prima en producto. Dentro de las células se dará la reacción que transforma la sacarosa en ácido cítrico, esta reacción requiere oxígeno.

Como fuente de oxígeno, necesario para el metabolismo celular, se usará aire en exceso, que será suministrado por un compresor y conducido hasta los fermentadores. Un déficit o ausencia de oxígeno provocaría otro tipo de reacciones que darían otros productos distintos al que se busca obtener.

El aire deberá ser esterilizado, ya que podría transportar microorganismos que podrían alterar el proceso, para ello se usará un sistema de filtros, que además limpiarán el aire de polvo y suciedad.

### 5.3. MELAZAS DE REMOLACHA

La melaza es un subproducto de las continuas cristalizaciones de las aguas madres en una planta azucarera, es un líquido oscuro y denso compuesto principalmente por agua y sacarosa.

Por cada tonelada de remolacha tratada se producen aproximadamente 240 kilogramos de melaza, por lo que resulta un subproducto de gran proporción respecto al producto buscado.

Además de un 50% a 55% de sacarosa, las melazas contienen una gran variedad de nutrientes, lo que las hace ideales como medio de cultivo para multitud de microorganismos como el *Aspergillus niger*.

Las melazas se utilizan principalmente para la producción de bebidas alcohólicas, como medio de cultivo para fermentaciones y como alimento para el ganado. Su composición varía según las fuentes, aunque todas aceptan que poseen aproximadamente un 50% de azúcares fermentables, en cuanto al agua pueden contener entre un 16% y un 36%, también existe un porcentaje de cenizas comprendido entre 8% y 12%.

Composición de las melazas	
COMPONENTE	PROPORCIÓN
Sacarosa	53%
Agua	33%
Proteínas	3%
Cenizas	10%
Ácido Nicotínico	46,9 mg/kg
Ácido Pantoteico	64,9 mg/kg
Riboflavina	4,4 mg/kg
Tiamina	0,2 mg/kg
Biotina	3 ppm

Las cenizas consisten en una mezcla de óxidos metálicos, trazas de metales, cloruros, sulfuros y dióxido de carbono.

La producción de melaza en la provincia de Cádiz supera las 55.000 toneladas anuales, lo cual asegura el consumo de 10.000 toneladas anuales de la planta.

## 5.4. INÓCULO

Aunque puede no ser considerado como una materia prima, se va a considerar al inóculo como tal ya que se introduce antes de la fermentación y es indispensable para la formación de producto. La correcta preparación del inóculo es esencial para obtener unos buenos resultados en la fermentación posterior.

El inóculo de los fermentadores se preparará, en un principio, con *Aspergillus niger* del tipo ATTC 11414. Como se explicará más adelante, el volumen ideal de inóculo para la producción de ácido cítrico es de 1% del volumen de trabajo del fermentador donde se inocula, este volumen de inóculo debe contener entre 5,5 y 25 millones de esporas por litro.

Mencionar que, una vez en marcha la planta se debe experimentar tanto con otras cepas como con las condiciones de crecimiento con el fin de conseguir una cepa o mezcla de cepas que, una vez inoculadas, den la máxima producción para el proceso implantado, es decir unos microorganismos especializados para la planta.

Para la producción del inóculo de cada uno de los fermentadores presentes en la planta se va a proceder siguiendo una serie de pasos descritos a continuación:

### CULTIVO DEL MICROORGANISMO

Para la producción del inóculo se utilizará el hongo *Aspergillus niger* ATTC 11414, que será encargado a la ATTC (American Type Culture Collection). El microorganismo llega conservado en un medio compuesto por melaza esterilizada con un contenido en sacarosa del 10% y un pH de 5,8. Este cultivo de origen se siembra y reproduce dos veces por semana con el fin de obtener un stock de microorganismo, este stock ha de conservarse en una cámara frigorífica a 5°C.

Todos los medios de cultivo utilizados durante esta fase, así como placas Petri y resto de instrumental, han de ser esterilizados en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

### PRIMER INÓCULO

Seguidamente se va a preparar el inóculo del primer pre-fermentador, para ello se utilizará un matraz obturado con algodón en el que se prepara un medio de cultivo con la siguiente composición:

- 50 g de glucosa.
- 2g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .
- 1g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- 8 g de pepsina.
- 2 g de extracto de levadura.
- 20 g de agar.
- 100 ml de agua destilada.

Tanto medio de cultivo como matraces han de ser esterilizados en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

El matraz una vez preparado y con el microorganismo dentro se deja durante 18 horas en un agitador para proporcionar una buena aireación. Tras este tiempo puede observarse el crecimiento del *Aspergillus niger* en gruesas y cortas hifas.

### PRE-FERMENTADOR #1

En esta fase un fermentador de 20 L de capacidad será inoculado con el contenido del matraz anterior. Antes de que comience esta etapa es necesario preparar previamente el pre-fermentador con el siguiente medio de cultivo:

- 16 L de melazas diluidas (20% en peso de sacarosa), esterilizadas y desmineralizadas (por columna de intercambio iónico). Se pueden obtener de un fermentador tras la esterilización.
- 800 mg de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 540 mg de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .
- 360 mg de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- 180 mg de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- 180 mg de  $\text{ZnCl}_2$ .
- 180 mg de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Como se puede observar, no se suministra solamente la fuente de carbono, sino también cierta cantidad de metales traza que son esenciales para el adecuado crecimiento del microorganismo. La influencia de estos metales traza en el proceso de producción se discutirá en un apartado posterior. Todos los componentes del medio de cultivo deben estar esterilizados.

Una vez preparado el medio de cultivo se inocula con el contenido del matraz preparado en la fase anterior. Las condiciones de trabajo que debe tener el pre-fermentador serán las siguientes:

- Temperatura de 30° C.
- pH inicial de 6.
- La aireación debe de estar entre los 1  $\text{dm}^3/\text{min}$  y los 2  $\text{dm}^3/\text{min}$ , este parámetro deberá afinarse experimentalmente.
- Agitación de 200 rpm.

Según la bibliografía, para estas condiciones, el crecimiento de biomasa será, aproximadamente, como se muestra en la siguiente tabla:

Tiempo (h)	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
Peso de biomasa en seco (g/L)	0,1	0,3	0,5	0,7	1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3

Según estos datos la mayor cantidad de biomasa se produce entre las 36 y 48 horas de fermentación, posteriormente el crecimiento se reduce gradualmente hasta mantenerse constante (hay que tener en cuenta que estos datos no distinguen entre células viables y no viables). Se escogerá como tiempo para esta pre-fermentación 48 horas, pues es cuando el microorganismo estará en fase exponencial de crecimiento, de esta manera se introducirá en la siguiente pre-fermentación un microorganismo en la fase más prolífica de su crecimiento.

## PRE-FERMENTADOR #2

El producto del pre-fermentador anterior de 20 L servirá como inóculo de otro pre-fermentador de 600 L. Según este dato, el pre-fermentador de 600 L será cargado con un inóculo de más del 3%; aunque esto es perjudicial para la producción de ácido cítrico, no lo es para el crecimiento de la biomasa pues, según estudios consultados, a mayor volumen de inóculo más crecimiento se obtiene.

El medio de cultivo que se utilizará en este pre-fermentador será el siguiente:

- 480 L de melazas diluidas (20% en peso de sacarosa), esterilizadas y desmineralizadas (por columna de intercambio iónico).
- 24 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 14,40 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .
- 9,60 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- 4,80 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
- 4,80 g de  $\text{ZnCl}_2$ .
- 4,80 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

El tiempo de fermentación, en este caso, estará comprendido entre 2 y 3 días, el tiempo exacto deberá de afinarse una vez en marcha la planta. La concentración de células viables tras el tiempo de crecimiento deberá estar entre los 5,5 y 25 millones de esporas por litro. Una vez acabada esta pre-fermentación

ya está preparado el inóculo de uno de los fermentadores principales; este inóculo obtenido esta en cantidad ideal para que en el fermentador industrial se produzca la máxima cantidad de ácido cítrico.

En este apartado se han dado las directrices generales a la hora de preparar el inóculo de uno de los fermentadores, posteriormente, una vez puesta en marcha la planta, se deben de modificar estas directrices para optimizar el proceso de producción de los inóculos.

Por último comentar que el diseño de los equipos mencionados en este apartado y sus accesorios ( conducciones, bombas, agitadores, intercambiadores de calor, etc. ) no se han abordado en este proyecto, pues es competencia de otro u otros proyectos que se ocupen de diseñar una planta piloto de producción de ácido cítrico y no una planta industrial.

## 5.5. NUTRIENTES

Aunque las melazas son muy ricas en varios nutrientes muy beneficiosos para el crecimiento celular, será necesario suplementar algunos de estos nutrientes de manera que su carencia no se convierta en limitante para el crecimiento microbiano.

El medio de cultivo deberá contener los siguientes suplementos además de la sacarosa:

Componente	Concentración (mg/L)
Nitrógeno	2.500
Potasio	150
Sodio	150
Magnesio	1.100
Cobre	0,24
Zinc	1,50
Hierro	0,10

## 6. *Aspergillus niger*

Entre los microorganismos que dan una aceptable producción de ácido cítrico podemos encontrar numerosos tipos de hongos, levaduras e incluso bacterias, pero de todos ellos se ha elegido el *Aspergillus niger* debido a que puede crecer en medios de cultivo muy baratos, como las melazas de caña o remolacha y líquidos de maceración de maíz o trigo, con una producción de ácido cítrico muy elevada.

Otra característica del *Aspergillus niger* es su crecimiento en forma de esferas de 2 mm de diámetro, la cual se da a partir del quinto día de fermentación. A parte de ser una efectiva forma de reproducción, no aumenta la viscosidad del medio, lo cual favorece la agitación y la aireación (la forma globular consume menos oxígeno que la filamentosa) además da muchos menos problemas de crecimiento en paredes o en tuberías y la separación de biomasa formada por filtración es más efectiva.

Una de las cepas más usadas para la producción de ácido cítrico es la ATCC 11414, es la que se utilizará para este proceso.

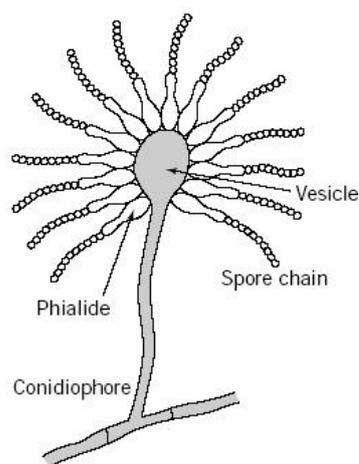


Figure 1. *Aspergillus niger*.

## 7. PRODUCTOS

### 7.1. ÁCIDO CÍTRICO

El ácido cítrico es un compuesto orgánico intermedio en el ciclo del ácido tricarbóxico, presente en todos los seres vivos. Se puede encontrar de forma natural en las frutas cítricas como piñas, melocotones, etc. Es un ácido orgánico de seis carbonos que fue descubierto originalmente al extraerlo del zumo de limón mediante adición de cal.

Es ampliamente utilizado en alimentación, bebidas, fármacos, cosméticos y textil. Otros usos menos frecuentes son tratamientos de aguas y recubrimientos metálicos. Se emplea como saborizante, conservante, prevención y eliminación de turbidez, antioxidante, mejorador de color, regulador de pH, secuestrante de metales, emulsionante, etc. Se muestra a la vista como un sólido translúcido y de forma granular, su sabor es fuertemente ácido pero no desagradable y es inodoro.

Aunque su uso principal es como acidulante, también se emplea como agente secuestrante de iones metálicos y para dar protección contra el desarrollo de sabores y olores extraños en ciertos ingredientes alimenticios. Un uso industrial de gran importancia es la fabricación de detergentes compatibles con los intereses ecológicos. También se utiliza en la limpieza química, en las mezclas de hormigón, en plastificantes, etc.

Se puede conseguir ácido cítrico de cualquier fruta cítrica extrayendo su zumo y añadiendo cal para que se forme citrato cálcico, el cual al ser insoluble precipita y puede ser recuperado por filtración. El ácido cítrico puede ser recuperado de su sal cálcica añadiendo ácido sulfúrico, de esta manera se forma ácido cítrico libre y sulfato cálcico o yeso, que precipita y se puede separar por filtración. Este proceso no es viable económicamente, excepto en algunos países iberoamericanos en los que aun se utiliza, por lo que se produce principalmente por fermentación.

Existen muchos microorganismos, incluyendo hongos, bacterias y levaduras, que pueden producir en buena medida ácido cítrico, sin embargo se suele utilizar la fermentación de glucosa o sacarosa por medio de *Aspergillus niger*. La fermentación más común para la producción de ácido cítrico es la de cultivo sumergido en discontinuo, la producción en continuo solo se ha estudiado a escala de laboratorio.

El ácido cítrico anhidro se produce en forma de cristales translúcidos y en forma de polvo blanco cristalino, carece de olor y tiene un fuerte sabor ácido. Es muy soluble en agua y alcohol. Se recomienda su almacenamiento en recipientes herméticos alejados del calor y la humedad (a 24 grados centígrados y 55% de humedad relativa).

Las características típicas de un ácido cítrico anhidro comercial son:

- Peso molecular: 192.13.
- Solubilidad en agua: 162 g/100 mL a 25° C.
- Pureza: 99.5 - 100.5 % mínimo.
- Humedad: 0.3% máximo.
- Carbonizables MFK: 100% máximo.
- Metales pesados: 5 ppm máximo.
- Plomo: 0.5 máximo.
- Cenizas: 0.05% máximo.
- Arsénico: 0.3 ppm máximo.
- Hierro: 5 ppm máximo.
- Oxalatos, sulfatos y nitritos: pasa la prueba.
- Retenido en tamiz malla 30: 1.0 % máximo.
- Pasa tamiz malla 100: 5.0% máximo.

## 7.2. SUBPRODUCTOS

Además del producto principal, el ácido cítrico, la planta generará ciertos residuos que pueden llegar a comercializarse y producir beneficio. En primer lugar el micelio, microorganismo muerto tras la fermentación y que se separa mediante filtración, es muy rico en proteínas y vitaminas por lo que tras ser secado y acondicionado puede venderse como suplemento alimenticio para el ganado.

En segundo lugar, el sulfato cálcico (yeso) formado al diluir el citrato cálcico con ácido sulfúrico, puede ser utilizado como aglomerante en la construcción o como material filtrante en la industria de la alimentación. Debido al gran volumen de la industria de la construcción en los últimos tiempos es muy probable que se pueda vender este producto en el mercado, si no fuera así habría que gestionarlo como residuo, lo cual sería problemático al producirse en gran volumen.

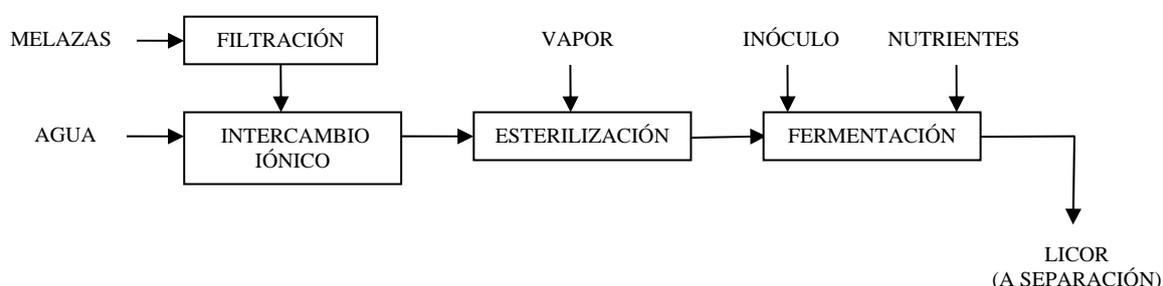
Por último, el líquido saturado proveniente del cristalizador puede comercializarse como cohesionante en la industria de la alimentación. Se sabe que existen en el mercado empresas que venden disoluciones de ácido cítrico que van desde el 20% al 50% en concentración. Existen plantas que recirculan esta disolución sobrante a una etapa anterior, ya sea al lecho de carbón activado o a la etapa de lechada de cal, esto más que una solución puede ser un problema ya que se introducen más impurezas en la corriente principal y se aumenta el gasto de cal, ácido sulfúrico y energía gastada en evaporador y cristalizador, por esta razón, en la planta, no se tratará ninguna recirculación. Si es tratada como producto, esta disolución se debe purificarse (ya que proviene de una cristalización y posee impurezas) y luego envasarse convenientemente, algo que no se tratará en este proyecto.

Éstos son los subproductos de la planta más importantes económicamente y habrá que estudiar el mercado para valorarlos como bien económico y no como un residuo a gestionar, pero, en principio, se tratarán como residuo, por lo que se contactarán con las empresas que se encargan de disponer de ellos y se reflejará el coste de esta disposición en el presupuesto general.

## 8. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso de producción de ácido cítrico anhidro se va a dividir en tres partes claramente diferenciadas: producción del ácido cítrico, separación del ácido cítrico de las impurezas del licor y, por último, purificación y conformado del producto.

### PRODUCCIÓN



En primer lugar, tendrán lugar una serie de etapas previas cuyo fin es acondicionar las materias primas principales de la fermentación: el agua y las melazas.

Antes de ser cargada en el fermentador, el agua se hace pasar por un lecho de desmineralización que retirará los iones disueltos presentes. En cuanto a la melaza, abandonará el depósito donde se almacena llegando a un filtro de tambor rotatorio a vacío, donde se separarán todos los sólidos que pudiera contener. Posteriormente también se retiran los iones disueltos presentes en la melaza mediante un lecho desmineralizador.

La carga de fermentador se completa con la adición de ciertos nutrientes suplementarios, tras lo cual, se produce la esterilización. Se introduce vapor por medio del sistema de aireación del fermentador procedente de la caldera. El vapor aumentará la temperatura del medio hasta los 100°C y mantendrá esta

temperatura durante el tiempo necesario para eliminar todo microorganismo que pueda competir por el sustrato.

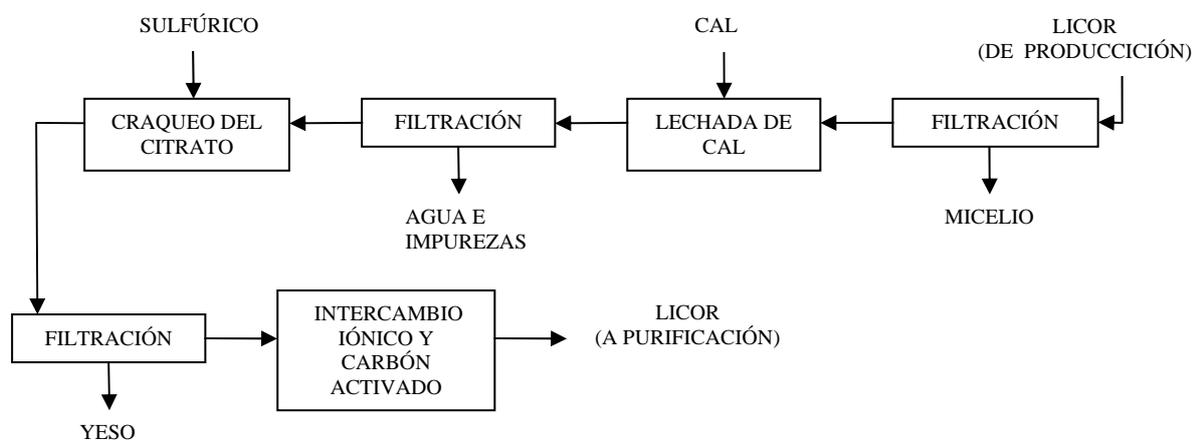
Una vez terminado el proceso de esterilización, comenzará a circular agua por el serpentín refrigerante y el sistema de agitación del fermentador entrará en funcionamiento, todo ello encaminado a disminuir la temperatura del medio hasta la temperatura idónea de fermentación. Una vez alcanzada la temperatura de fermentación, se introduce el inóculo; este momento marca el final de los procesos de preparación de la materia prima y el inicio del proceso fermentativo.

Una vez producida la inoculación, el microorganismo comenzará a crecer en el medio, consumiendo la sacarosa y fabricando ácido cítrico. El medio fermentativo estará agitado y aireado. La aireación es producida por un sistema de soplantes que introducen el aire exterior, unos filtros que lo limpian de impurezas y microorganismos y una tubería que lo conduce hasta el fermentador, por donde es introducido a través del sistema de palas de agitación. En esta fase, el serpentín de refrigeración del fermentador deberá estar en marcha ya que el proceso es exotérmico y se debe mantener la temperatura idónea.

La fermentación va a ser la etapa más duradera de todo el proceso que tiene lugar en la planta, aproximadamente 6 días. Durante el proceso fermentativo se controlarán distintas variables (temperatura, pH, etc.), para que transcurra de manera correcta y se produzca la mayor cantidad posible de ácido cítrico. Será un proceso de tipo discontinuo.

Tras el tiempo estipulado, el fermentador se descarga. El producto obtenido, el licor post-fermentativo, contiene ácido cítrico, agua y una serie de impurezas. Este licor se conduce por tubería hacia la siguiente etapa del proceso.

## SEPARACIÓN



Esta fase comienza con la llegada del licor post-fermentativo al filtro rotatorio a vacío con precapa, cuya función es separar el micelio (microorganismo muerto). La torta sólida que forma el micelio será enviada por medio de cinta transportadora hacia un depósito donde será almacenada. El líquido filtrado, compuesto por el licor post-fermentativo sin micelio, se transporta mediante tubería hacia el tanque de lechada.

En el tanque de lechada, el líquido que se va filtrando en la etapa anterior se irá mezclando con una lechada ya preparada. Se produce una reacción química que transforma el ácido cítrico, presente en el licor post-fermentativo, en citrato cálcico, el cual es sólido y precipita. Para que esta reacción se produzca adecuadamente es necesario un sistema de agitación que promueva la mezcla de sustancias y un serpentín refrigerante, ya que la reacción producida es exotérmica. La reacción de lechada se realizará en discontinuo.

Una vez acabado el proceso de lechada, la masa dentro del reactor se calienta hasta una temperatura cercana a la de ebullición. Esta función la realizará un vapor condensante que se hará circular por el interior del serpentín del reactor.

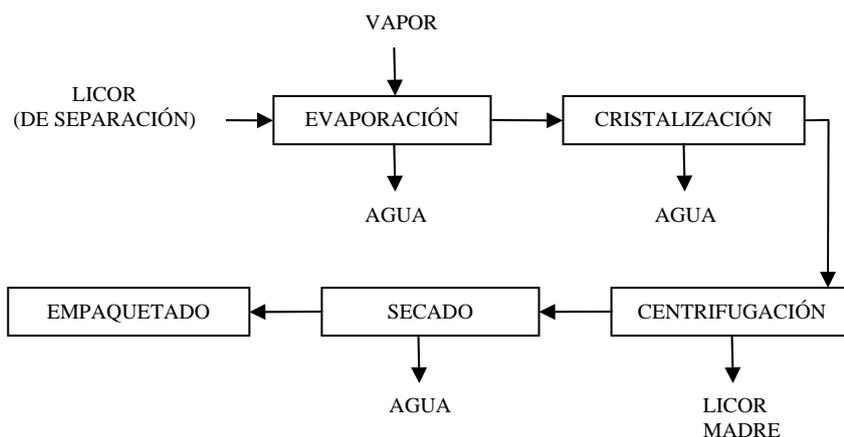
Una vez calentado el licor, será enviado por tubería hacia un nuevo filtro de tambor rotatorio al vacío. Este equipo separará el citrato cálcico en forma de torta y lo enviará mediante cinta transportadora hacia el reactor de descomposición del

citrato. El líquido filtrado (licor post-fermentativo sin ácido cítrico) es mandado por tubería hacia un depósito para su almacenaje.

En el reactor de craqueo, la torta de citrato cálcico se irá mezclando con una disolución de ácido sulfúrico, produciéndose una reacción química que forma yeso (el cual es sólido y precipita) y deja libre en disolución el ácido cítrico. En este reactor es fundamental una buena agitación para mezclar bien la torta sólida con el ácido sulfúrico, también existirá un serpentín de refrigeración que eliminará el calor producido durante la reacción. Como en el caso de la lechada, la reacción será de tipo batch o discontinuo.

Tras el craqueo del citrato cálcico, la masa reaccionante se conduce mediante tubería a un filtro de banda de vacío que separará el sulfato cálcico o yeso del líquido que contiene el ácido cítrico. El yeso se transporta mediante cinta hacia un depósito para su almacenaje, mientras que el líquido filtrado será conducido por tubería hasta un sistema combinado de desmineralización y carbón activado que eliminará ciertas impurezas que aún arrastra el producto.

## PURIFICACIÓN



La fase de purificación comienza cuando la disolución de ácido cítrico abandona la columna de intercambio iónico y carbón activado y es conducida hacia el siguiente equipo, que es un evaporador de doble efecto de película

descendente. En este proceso la disolución de ácido cítrico perderá agua mediante la acción de un calor cedido por un vapor condensante, quedando lo suficientemente concentrada como para poder entrar en el siguiente proceso.

En esta fase todos los procesos actuarán en continuo en contraposición a la fase de separación y de producción en la que había unidades que trabajaban en discontinuo.

La corriente que sale del evaporador se introduce en un equipo de cristalización de tipo MMSPR-DTB. En el interior del aparato se creará sobresaturación por vacío, lo que provocará la nucleación y la formación de cristales sólidos de ácido cítrico. Estos cristales, acompañados por el resto del licor que no ha cristalizado, abandonarán el cristizador camino de la siguiente etapa.

El magma procedente del aparato de cristalización será conducido hasta una centrífuga continua de canasta que separará los cristales recién formados de producto del licor y sus impurezas, abandonando el equipo prácticamente secos.

La corriente cristalina es conducida, mediante cinta transportadora, a un secador de lecho fluidizado donde los cristales de ácido cítrico pierden el agua restante, quedando totalmente secos. En esta etapa se le darán las características finales al producto.

Por último, la corriente de producto llegará a una máquina pesadora-ensacadora donde el ácido cítrico anhidro será introducido en sacos de 25 kg sellados herméticamente. Los sacos serán transportados mediante transpaletas hacia la zona de almacenaje donde esperarán su transporte para su posterior venta.

## 9. PROCESOS Y UNIDADES

### 9.1. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO

A la hora de gestionar el agua y melazas necesarias para el proceso se encuentran dos posibilidades: la primera es tomar el agua directamente de red y adquirir las melazas en el momento justo en que se inicia el ciclo de producción; la segunda es tener una serie de tanques de almacenamiento para ambas sustancias.

El no tener depósitos de agua obliga a adaptarse al caudal que sirve la red y arriesgarse a sufrir cortes en el suministro. Ambas cosas son inadmisibles pues el caudal necesario puede ser muy diferente del servido por la red y la no disponibilidad de agua puede resultar catastrófica. Por estos motivos será necesario disponer de depósitos que almacenen el agua de red y que permitan obtener el caudal necesario para la producción evitando las complicaciones de posibles cortes en el suministro de red.

Las melazas también se almacenarán en tanques para evitar pérdidas de tiempo entre ciclos, poder realizar varios ciclos de producción sin necesidad de adquirir melazas y poder aprovechar circunstancias de mercado, como comprar materia prima antes de que suba de precio o cuando sea más barata.

El tener tanques de almacenamiento tiene la desventaja de aumentar el coste de la planta, el de mantenimiento y el de diseño.

Se ha optado por el uso de depósitos de techo fijo debido a que los líquidos a almacenar no van a producir gases y habrá escasa sobrepresión, son más baratos que los de techo flotante y no deben soportar la carga de agua de lluvia.

### 9.1.1 DEPÓSITO DE PRODUCTOS

La planta va a producir una serie de sustancias como subproductos del proceso que tiene lugar, estas sustancias producidas deberán de ser almacenadas a la espera de su transporte o tratamiento, por lo tanto se requerirá una serie de depósitos para tal fin.

En lugar de usar una serie de depósitos comunes, ha de utilizarse un depósito para cada tipo de sustancia ya que, aquellas que puedan gestionarse como subproductos, deberán de permanecer lo más puras posibles a la espera de otros tratamientos. Esto también es aplicable a residuos; es mejor segregar en lo posible todos los residuos para que cada uno obtenga el tratamiento más adecuado a sus características, por lo tanto, cada tipo de residuo tendrá su propio depósito.

Los residuos que va a producir la planta y que no pueden verterse a la red de alcantarillado o tratarse como residuo sólido urbano, serán los siguientes:

- Cenizas y otras impurezas de la melaza, resultado de la filtración de ésta antes de ser fermentada.
- Micelio, microorganismo muerto, que ha de ser separado del licor post-fermentativo.
- Licor post-fermentativo separado del ácido cítrico tras la lechada de cal.
- Yeso, resultante de la reacción de descomposición del citrato.
- Licor madre, resultado de la cristalización y separado del ácido cítrico cristalizado.

Cada una de estas sustancias será almacenada en depósitos a la espera de su transporte. Como depósito se usará el mismo diseño que los de agua y melaza en caso de residuos líquidos, para residuos sólidos se utilizarán silos de almacenamiento. Todos los depósitos serán capaces de albergar el material producido por al menos dos ciclos fermentativos completos para tener cierto margen a la hora de su transporte.

## 9.2. CELDAS DE INTERCAMBIO IÓNICO Y CARBÓN ACTIVADO

Para poder obtener la producción máxima de ácido cítrico se debe introducir en el medio de cultivo una serie de nutrientes secundarios en determinada concentración. La influencia de la concentración de estos nutrientes en el rendimiento de la fermentación ha sido estudiada por muchos autores que han determinado que la falta o el exceso de alguno de estos suplementos tienen un efecto severo.

Teniendo en cuenta que el agua proviene de la red llevará incorporados algunos de estos nutrientes en mayor o menor medida, además de compuestos clorados y otros que no interesan para la fermentación, será necesario, pues, desmineralizar y mejorar la calidad del agua. La melaza obtenida también presenta una composición iónica que puede ser muy variable.

Hay dos soluciones para este problema, la primera y más común es hacer contactar el medio con una resina de intercambio iónico que retire estos iones, la segunda, es la adición de cianoferrato para hacer precipitar los iones de hierro, cobre, zinc y manganeso. La adición de cianoferrato queda descartada ya que se formarían una serie de productos tóxicos que posteriormente habría que tratar.

El fermentador en proceso será cargado con 56 toneladas de agua y melaza. Se dispondrá de dos equipos separados, por si hay averías o si se necesitan llenar en un momento dado dos fermentadores, cada uno deberá trasegar un caudal mínimo de  $5,6 \text{ m}^3/\text{h}$  para poder llenar un fermentador en 10 horas.

Se optará por un equipo de 2 columnas (resina catiónica, resina aniónica) que posea un sistema de regeneración de resinas integrado y la posibilidad, si cabe, de trabajo continuo para que los ciclos de recarga de las columnas no influyan en el proceso de intercambio iónico.

Además del mencionado, se necesitarán otros lechos desmineralizadores: el primero se necesita en la alimentación de agua de la caldera, pues estos

equipos sufren mucho con aguas no tratadas. Muchas calderas traen ya de fábrica un sistema para desmineralizar el agua, optándose por uno de estos equipos. El segundo será necesario tras la reacción de descomposición del citrato e incorporará una columna de carbón activado para, en primer lugar, eliminar las sustancias orgánicas solubles que puedan quedar y que darían mal color y olor al producto final y , en segundo, para eliminar iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  que quedan tras el proceso cal-sulfúrico.

### 9.3. ESTERILIZACIÓN

El medio de cultivo donde se inoculará el *Aspergillus niger* posee una gran variedad de células vegetativas y de esporas que deben ser eliminadas antes de la inoculación. Para ello se utilizará como agente esterilizante el calor, ya que un agente químico podría alterar la composición del medio.

Los métodos más usados industrialmente para la esterilización son: los intercambiadores de calor y la inyección de vapor. En el primero el medio de cultivo pasa a través de un intercambiador de calor de placas que eleva la temperatura a 121°C durante unos minutos para eliminar los microorganismos. En la segunda se inyecta vapor a 140°C en la disolución de nutrientes durante varios minutos.

La ventaja de usar intercambiadores es que el calor utilizado se recupera en un 90%, haciéndolos muy efectivos energéticamente, sin embargo, se suelen formar precipitados e incrustaciones que disminuyen el rendimiento de la unidad con el tiempo, aumentando las operaciones de mantenimiento y complicando el control del proceso.

El método que se utilizará será el de inyectar vapor a 140°C procedente de una caldera a través de la línea de aireación a la disolución de melazas y otros nutrientes cargada en el reactor. El vapor mantendrá la disolución de nutrientes a 100°C durante unos 25 minutos, así se conseguirá, además de esterilizar el medio de cultivo, esterilizar el interior del reactor. La introducción de este vapor sin duda alterará la dilución del medio, por lo que, a la hora de diluir las melazas habrá que tener en cuenta la cantidad de vapor que se introducirá para esterilizar.

Tras esterilizar cada fermentador en cada ciclo deberá hacerse un recuento de microorganismos en el medio, si éste no es satisfactorio se deberá proceder a esterilizar de nuevo el medio de cultivo.

## 9.4. FERMENTACIÓN

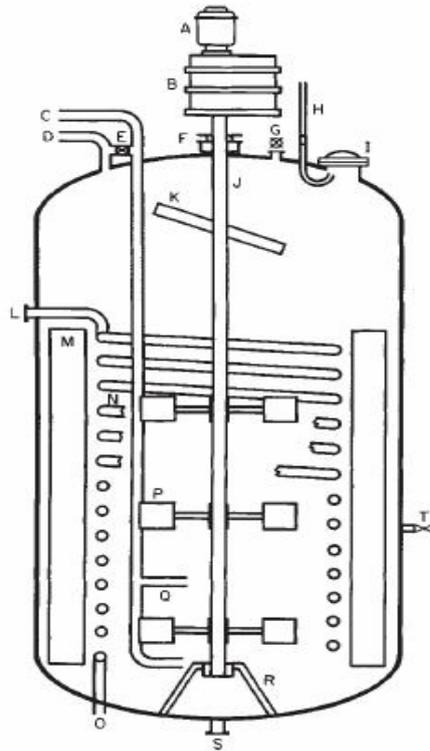
El fermentador es la unidad clave del proceso ya que es donde se va a producir el ácido cítrico a partir del crecimiento controlado de *Aspergillus niger*. En esta unidad van a influir numerosos factores: temperatura, agitación, concentración de oxígeno, nutrientes y pH son las más importantes.

El fermentador será llenado con las melazas, agua y nutrientes para posteriormente introducir el inóculo. El inóculo provendrá de otro fermentador de menor capacidad en el que se habrá desarrollado un cultivo crecido previamente en laboratorio. Es imprescindible inocular el microorganismo ya adaptado al medio y eliminar en lo posible el tiempo de latencia.

Se ha optado por el uso de fermentadores discontinuos que, aunque tienen una menor producción, tienen menor coste que los continuos y al estar su uso más implantado, se tiene una mayor experiencia en su manejo.

A la hora de adquirir un fermentador hay que tener en cuenta que posea un sistema adecuado de aireación y agitación para un óptimo crecimiento celular. También es importante tener un control de temperatura y pH al ser estos parámetros cruciales para el proceso. Para que no se den acumulaciones de microorganismos y facilitar su limpieza, ha de tener paredes internas totalmente lisas, además debe poder funcionar asépticamente durante el ciclo de producción. También ha de buscarse un equipo con cierta versatilidad que permita hacer variaciones del proceso; debe de ser lo más sencillo de manejar y operar posible. Ha de tener una geometría similar a los otros de la planta de manera que se puedan hacer escalamientos y extrapolaciones.

Otros puntos a tener en cuenta son el coste de la unidad y sus posibles averías para prever en lo posible reparaciones y repuestos.



**FIG. 24-3** Conventional batch fermenter. A = agitator motor; B = speed-reduction unit; C = air inlet; D = air outlet; E = air bypass valve; F = shaft seal; G = sight glass with light; H = sight-glass clean-off line; I = manhole with sight glass; J = agitator shaft; K = paddle to break foam; L = cooling-water outlet; M = baffle; N = cooling coils; O = cooling-water inlet; P = mixer; Q = sparger; R = shaft bearing and bracket; S = outlet (steam seal not shown); T = sample valve (steam seal not shown).

En la anterior figura se muestra un esquema de un fermentador básico y las partes principales de las que está compuesto este tipo de equipos:

- A: motor de agitación.
- B: reductor de velocidad de agitación.
- C: entrada de aire.
- D: salida de aire
- E: válvula de aire en bypass.
- F: tapa del eje.
- G: cristal de visión con luz.
- H: línea de limpieza del cristal de visión.
- I: boca de hombre con cristal de visión.
- J: eje de agitación.
- K: palas rompe-espuma.
- L: salida de agua de refrigeración.
- M: deflector.

- N: serpentín refrigerante.
- O: entrada de agua de refrigeración.
- P: palas mezcladoras.
- Q: difusor.
- R: cojinetes y rodamientos del agitador.
- S: salida.
- T: válvula de ejemplo.

#### 9.4.1. SISTEMA DE AGITACIÓN

La agitación que requiere el sistema para la necesaria homogeneización del medio, vendrá dada por tres palas giratorias situadas en el eje central del fermentador, dispuestas en la parte de abajo, arriba y centro y girando aproximadamente a 70 u 80 rpm, aunque ha de ajustarse el valor óptimo una vez se encuentre en funcionamiento la planta.

Habrà una entrada de aire en el sistema de engranajes y que conectará con las palas de agitación. El aire entrará por estas palas a distintos puntos del fermentador, consiguiendo así una aireación más efectiva que teniendo una sola pala con entrada de aire. Se Tendrá así un mayor control de la entrada de aire en distintas zonas de la unidad.

#### 9.4.2. SISTEMA DE AIREACIÓN

El proceso necesita de un aporte de oxígeno importante ya que se consumirán 3 moles por cada mol de sacarosa. Para este aporte dentro del reactor se dispone de un sistema de aireación que proporciona una difusión homogénea de oxígeno. Es necesario evitar, en todo lo posible, las zonas muertas donde no lleguen burbujas y que restarían volumen útil de fermentador.

Existen dos claras posibilidades, usar oxígeno puro o utilizar el aire exterior. La primera posibilidad ahorra la esterilización necesaria para que ningún

microorganismo externo contamine el proceso, pero habría que adquirir regularmente el oxígeno gas, lo cual a la larga resultaría más caro. La segunda alternativa obliga a incorporar un sistema de esterilización del aire pero da libertad con respecto al suministro. Además la bibliografía consultada indica que el rendimiento del proceso en presencia de aire es ligeramente mayor que con oxígeno puro.

Se ha optado por utilizar aire del exterior como fuente de oxígeno, para la esterilización se usará un sistema de filtrado que retenga los microorganismos y partículas. El aire será introducido por soplantes y llegará a los filtros donde serán retenidas partículas y microorganismos para posteriormente ser conducido por una tubería hasta el fermentador, entrará en él y será difundido por el medio. De entre los diversos sistemas de filtración, debido al elevado volumen de aire requerido, se escoge un filtro de tipo cartucho.

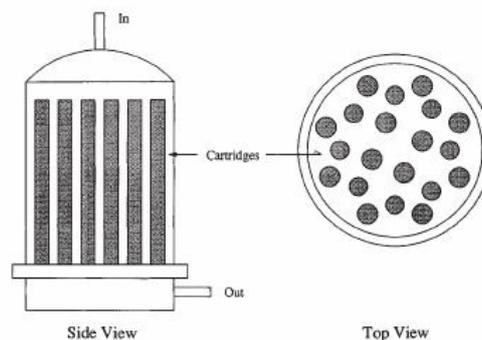


FIG. 24-18 Sketch of housing and membrane cartridges for air filtration. Typical cartridges are 76 cm long and 7.36 cm in diameter of polyvinylidene difluoride with 0.22- $\mu\text{m}$  pores.

#### 9.4.3. FACTORES A CONTROLAR ANTES Y DURANTE EL PROCESO FERMENTATIVO

Existirá una serie de factores clave a la hora de determinar la viabilidad del proceso fermentativo, tanto en el crecimiento adecuado de la biomasa como en la acumulación de ácido cítrico en las células. Estos factores serán los siguientes:

- Nitrógeno: para la producción óptima será necesario mantener una concentración de nitrato de amonio (la fuente de nitrógeno) alrededor del 0,20%, por encima o debajo de este valor la producción de biomasa y de ácido cítrico disminuyen notablemente.
- Tiempo de fermentación: el tiempo de fermentación óptimo es de 144 a 146 horas.
- Temperatura: la temperatura óptima es de 30 grados centígrados, por debajo de ella el metabolismo celular es bajo y la producción es menor y por encima de 30 grados centígrados disminuye el rendimiento en ácido cítrico y aumenta la producción de otros compuestos, principalmente ácido oxálico.
- Cantidad de inóculo: se ha demostrado que la cantidad de inóculo ideal es de un 1% del volumen efectivo del fermentador.
- Ferrocianida ( $K_4Fe(CN)_6$ ): 200 ppm es la concentración ideal de ferrocianida en el medio, si se añade. La adición de ferrocianida se realiza tras 24 horas de fermentación y su presencia es beneficiosa tanto en producción como en mantenimiento de la viabilidad de las células a lo largo del proceso.
- Durante el proceso fermentativo es importante mantener el rango de pH, numerosos estudios han demostrado que la mayor producción se obtiene para pH muy cercano a 6, valores entre 4 y 6 de pH dan una producción alta pero sensiblemente inferior, mientras que valores por encima de 6 aumentan la producción de ácido oxálico en detrimento del cítrico.

#### 9.4.4. INFLUENCIA DE LOS MICRONUTRIENTES EN LA PRODUCCIÓN

La concentración de los iones de manganeso, hierro, cobre y zinc en el medio de cultivo van a ser cruciales para la producción de ácido cítrico, hay otras concentraciones de elementos que afectan a la producción pero su efecto es mucho menor en comparación.

Los iones  $Mn^{2+}$  juegan un papel crucial a la hora de obtener una alta producción de ácido cítrico, manteniendo su concentración por debajo de 0,02 mM se obtiene máxima producción sin afectar al crecimiento de la biomasa.

Estudios han demostrado que la concentración de iones  $Fe^{3+}$  ha de mantenerse sobre 0,50 mg/L si el medio de cultivo contiene sacarosa, valores por encima o debajo de esta concentración influyen muy negativamente en la producción.

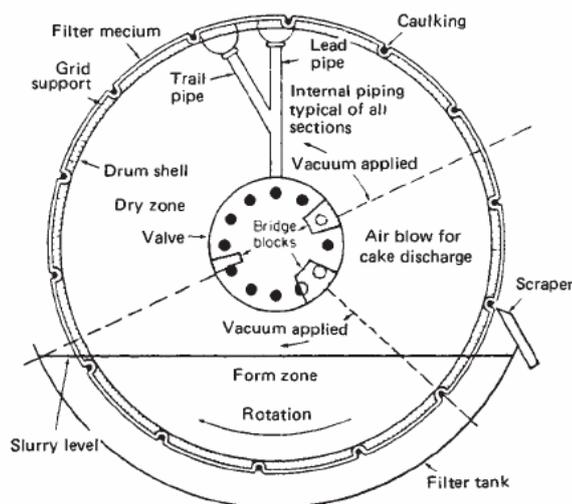
La presencia de  $Cu^{2+}$  en el medio en proporciones cercanas a 40 ppm beneficia la producción de ácido cítrico, además se ha encontrado que el cobre puede reducir el efecto negativo en la producción de concentraciones inadecuadas de hierro o manganeso.

La presencia de zinc es también crucial, ya que el  $Zn^{2+}$  actúa como regulador del crecimiento y de acumulación de ácido cítrico. Mientras que la concentración de zinc sobrepase los 2 $\mu$ M se está en fase de crecimiento, pero si desciende esta cifra el microorganismo entra en fase estacionaria y se empieza a acumular ácido cítrico.

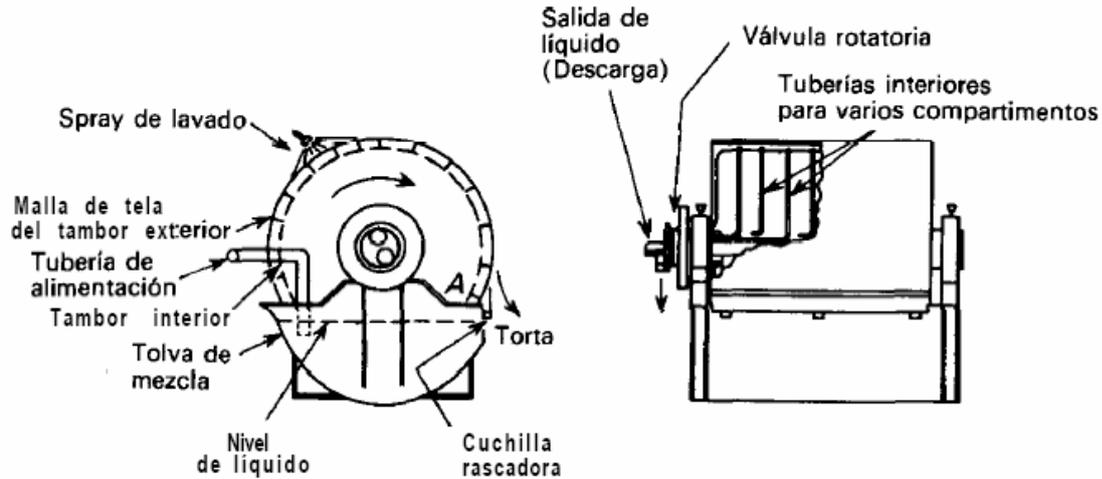
## 9.5. FILTRACIÓN

En diversas etapas del proceso se necesitará una unidad que consiga separar rápida y eficientemente una corriente compuesta por un líquido y un sólido, para ello, entre los distintos tipos de filtros, se ha escogido los de vacío debido, principalmente, a su gran capacidad, pequeño tamaño, posibilidad de trabajo en continuo y bajo coste de operación.

Dentro de los filtros a vacío se usarán principalmente los de tambor rotatorio, que consisten en un cilindro horizontal perforado recubierto por una tela filtrante, interiormente el cilindro está dividido en una serie de celdas interconectadas por una válvula y está sumergido parcialmente en una cuba con la suspensión a filtrar. Aplicando vacío a las celdas sumergidas se forma una torta más o menos gruesa dependiendo de la velocidad de rotación del tambor, posteriormente, la torta se retira por uno de los múltiples métodos que existen, el más común es una simple rasqueta, pero existen métodos más complicados según sean las características de la torta formada.



**FIG. 18-122** Schematic of a rotary-drum vacuum filter with scraper discharge, showing operating zones. (Schweitzer, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, p. 4-38. Copyright 1979 by McGraw-Hill, Inc. Used with permission of McGraw-Hill Inc.)



A la hora de diseñar una unidad de filtrado rotatorio a vacío existen numerosas variables a tener en cuenta: porcentaje de tambor sumergido, velocidad de giro del mismo, sistema de suspensión del líquido a filtrar en la cuba, tipo de separación tela-torta...por ello, a la hora de adquirir un equipo de filtración a vacío, la empresa suministradora ofrece su experiencia en la elección del equipo más apropiado para cada función. Como aproximación y guía se usará el simulador Super Pro Designer para obtener un área filtrante con las condiciones de alimentación y tiempo que se requieren.

### 9.5.1. FILTRACIÓN #1

La primera filtración a realizar se hace necesaria antes de que las melazas entren en la columna de intercambio iónico. Las melazas, provenientes de la industria azucarera, vienen con gran cantidad de sólidos no disueltos de amplia distribución de tamaño y características, los cuales han de ser separados antes de entrar en operaciones posteriores.

Para la eliminación de estas impurezas se dispondrá de un filtro rotatorio de vacío que retirará aproximadamente un 10% del peso de la melaza a filtrar en forma de torta. Introducidas las variables y corrientes del proceso, el simulador Super Pro Designer da un área filtrante necesaria de 22,71 m<sup>2</sup> (244,45 ft<sup>2</sup>), los filtros estándar de área similar usados para este tipo de menesteres tienen un

área de 250 ft<sup>2</sup> con descarga de torta por cuerdas, por lo que se usará uno con estas características.

### 9.5.2. FILTRACIÓN #2

Tras acabar el ciclo fermentativo, y antes de la lechada de cal, se debe separar el micelio (microorganismo muerto) del medio post-fermentativo, es importante separarlo en su totalidad y lo más limpiamente posible ya que se trata de un subproducto de la planta comercializable. Para el cumplimiento de esta tarea hay dos principales alternativas, la primera es una centrifugación usando centrifugas similares a las que se usan para separar levaduras (yeast centrifuge) aunque existe el problema de que, en este caso, el microorganismo es de mayor tamaño. La segunda alternativa, que es la seleccionada, es un filtro rotatorio de vacío con precapa.

El uso de una precapa es debido a que la torta formada por el micelio no es suficientemente porosa, incorporando una ayuda filtrante se incrementa la porosidad de la torta y aumenta el caudal de filtrado.

Como ayuda de filtración se usará diatomeas aunque existen otros productos comerciales de mejor resultado. La descarga de estos filtros será con rasqueta, además pueden trabajar prácticamente en continuo ya que aunque haya que reponer la precapa cada cierto tiempo, existen sistemas de cuchilla automatizados que separan con precisión la torta de la precapa, lo que disminuye en gran medida los costes y el tiempo de reposición.

Debido a la enorme cantidad de datos experimentales necesarios para el diseño de este equipo, por analogía se escoge un filtro rotatorio al vacío con precapa usado por otras plantas productoras de ácido cítrico: un filtro de tambor rotatorio al vacío de 55 m<sup>2</sup> de área filtrante que tratará un mínimo de 11 m<sup>3</sup> a la hora para un tiempo máximo de operación de 6 horas. Para estas mismas condiciones de operación y suponiendo una resistividad de la torta de 0,4, el

simulador Super Pro Designer da un área de filtro de 46 m<sup>2</sup>, por lo que se optará por la primera aproximación.

Según la bibliografía consultada, para las condiciones de operación que se han impuesto, tras las 144 horas de fermentación se producirá una concentración de biomasa de 20 gramos por litro pesada en seco, por lo que tras esta filtración se habrá retirado 1.120 kg de biomasa por cada fermentador y un total de 11,20 t de biomasa por ciclo, una producción que, como ya se comenta en otro apartado, puede producir un beneficio económico.

### 9.5.3. FILTRACIÓN #3

En esta etapa se separa el citrato cálcico producido por la lechada del resto del licor. Para ello se usará un filtro de tambor rotatorio a vacío que separará el citrato precipitado en forma de torta, quedando como residuo el resto del licor compuesto principalmente por agua, nutrientes, desechos de la fermentación, ácido cítrico e hidróxido cálcico sin reaccionar.

En esta unidad se ha de tener en cuenta que la filtración se va a realizar a una temperatura del licor cercana a la de su ebullición para así disminuir todo lo posible la viscosidad del licor y que éste no quede adherido a la torta. Como en el caso anterior. Se necesita un buen lavado de torta para que quede lo más limpia posible de licor ya que éste ya solo contiene impurezas.

Para un tiempo de operación de 12 horas y una porosidad de torta de 0,4 el simulador da un resultado de 48 m<sup>2</sup> de área de filtrado necesaria. En la industria del ácido cítrico, para plantas de gran producción, se usan dos unidades en serie de filtro rotatorio de 55 m<sup>2</sup> de superficie con descarga por cuerdas (string discharge). Aquí se usará un solo filtro de 55 m<sup>2</sup> con un tiempo de operación de 12 horas.

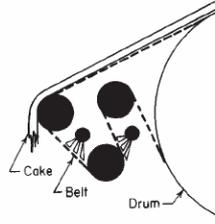


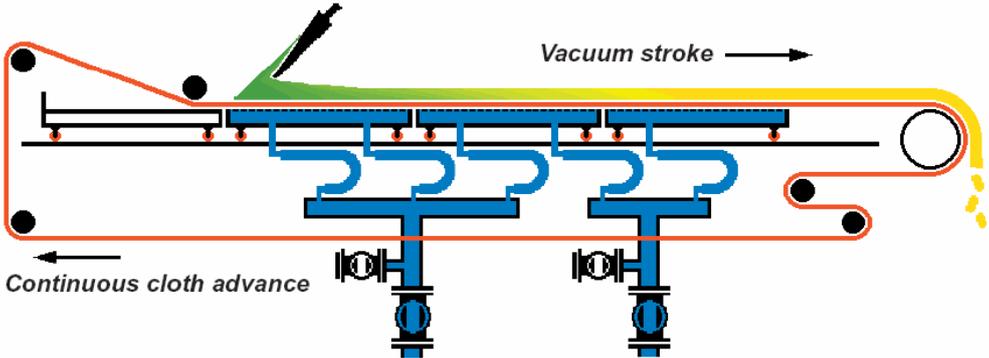
FIG. 18-123 Cake discharge and medium washing on an EIMCO belt filter. (EIMCO Process Equipment Co.)

#### 9.5.4. FILTRACIÓN #4

Tras la descomposición del citrato cálcico con ácido sulfúrico, el ácido cítrico quedará libre en disolución, pero se formará una gran cantidad de sulfato cálcico (yeso) que ha de separarse del producto. Para este fin se podría utilizar también un filtro de tambor, pero se formará mucha cantidad de yeso (más de 3 t por fermentador) y todo debe ser lavado adecuadamente para separar el ácido cítrico que quede adherido, por ello, en lugar de usar un filtro de tambor, en esta etapa se usará un filtro de banda horizontal de vacío, ya que estos filtros, además de tener la misma eficacia que los de tambor, tienen un lavado mucho más efectivo al poder tratar más cantidad de torta en el mismo tiempo, además de capacidad para configurar el tipo de lavado necesario para cada situación así como incorporar un sistema de secado de torta por camisa de vapor.

El inconveniente de este tipo de filtro es el gran tamaño que ocupa al tener de 2 a 3 metros de ancho y de 10 a 30 metros de largo, además de ser más lento que los de tambor.

Se seleccionará pues un filtro de banda de vacío con un sistema de lavado en contracorriente en dos etapas (el más efectivo) y de secado de torta por camisa de vapor con capacidad suficiente para tratar todo el volumen del tanque de disolución con ácido sulfúrico en no más de 6 horas. La fase líquida obtenida contiene agua, ácido cítrico y yeso en muy baja proporción además de iones disueltos de sulfato y calcio. La torta separada contendrá una ínfima proporción de producto.



## 9.6. LECHADA DE CAL

Tras separar el micelio del licor post-fermentativo el ácido cítrico se encuentra contaminado por nutrientes sin consumir y otros productos del metabolismo que las células han desechado. Para separar el ácido cítrico se utilizará el denominado proceso cal-sulfúrico, usado por primera vez por Scheele para extraer el ácido cítrico de los limones. El otro método de purificación del ácido cítrico, el de extracción con disolventes orgánicos, queda descartado debido a la materia prima utilizada, la cantidad de impurezas presentes en las melazas disminuiría en gran medida la eficacia de la extracción.

En esta etapa, el licor entrará en un tanque agitado donde se mezclará con la lechada paulatinamente. La agitación y la lenta incorporación favorecerán la reacción que formará el citrato cálcico a partir del ácido cítrico y el hidróxido de calcio.

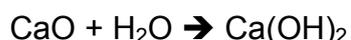
La lechada de cal que se usará estará formada por dos partes de agua y una de cal, es decir un 33% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , y tendrá una densidad de, aproximadamente, 1.221 g/L. La reacción que va a tener lugar es:



De la ecuación se deduce que por cada kilogramo de ácido cítrico se necesitan 0,58 kilogramos de cal, como en cada fermentador se producirán 9,30 t de ácido cítrico como máximo, serán necesarias 5,38 t de cal que provendrán de 13,21 m<sup>3</sup> de lechada. Se tomará como volumen de lechada 14 m<sup>3</sup> para tener un exceso de cal ya que ésta vendrá generalmente con impurezas. El rendimiento de la reacción estará en torno al 95%, pero se supondrá que es de un 100% para así sobredimensionar las unidades posteriores. Se producirá pues, redondeando, 12,07 toneladas de citrato cálcico.

Como silo de cal viva se utilizará un depósito de 120 m<sup>3</sup> que proporcionará autonomía para varios ciclos. El silo deberá estar equipado con vibradores de pared, tolva interior de recogida, dosificador de bandeja vibrante y dosificador electromecánico de salida, todo ello necesario para dosificar correctamente la cal que se utiliza.

Previamente a la incorporación del licor, en el reactor de lechada se ha de apagar la cal viva, es decir, convertirla en cal apagada mediante la reacción:



Para la reacción de apagado se mezclarán, redondeando, 5,70 toneladas de cal con 11,40 toneladas de agua para producir la lechada de cada carga de licor. Tras la reacción se descargará el citrato cálcico, y el reactor se preparará para el siguiente lote, teniendo en cuenta que para la reacción de apagado se requiere un tiempo de 6 horas.

Por último, el reactor utilizado deberá poseer un sistema de agitación de tres palas para asegurar la perfecta dilución de la lechada y el licor post-fermentativo, además será necesario un serpentín interno que retire el calor que se va produciendo, ya que la reacción es exotérmica, y que posteriormente, tras finalizar el proceso de formación del citrato, aumente la temperatura del licor hasta cerca de la ebullición (aproximadamente 90°C) para que la posterior filtración del citrato sea lo más efectiva posible.

Tras la separación del micelio en la etapa anterior, en el reactor de lechada se introducirá 55 m<sup>3</sup> de licor post-fermentativo que será mezclado con 14 m<sup>3</sup> de lechada, para un total de 67 m<sup>3</sup> de masa reaccionante. Se va aumentar este volumen un 25% para darle a la planta la capacidad de, en un momento dado, poder recircular a esta etapa el licor madre, procedente de la cristalización y separado en la centrifugación, así como otros efluentes que pudieran haber sido contaminados o mal tratados pero que aun contengan ácido cítrico extraíble. El volumen efectivo del reactor será de 83,75 m<sup>3</sup>, para evitar problemas de espumas o acumulación de gases se optará por un volumen de reactor de 90 m<sup>3</sup>.

## 9.7. DESCOMPOSICIÓN DEL CITRATO

Tras separar el citrato cálcico del licor post-fermentativo el proceso cal-sulfúrico ha de completarse añadiendo ácido sulfúrico al citrato cálcico, lo que provocará que se forme ácido cítrico libre, que se queda solubilizado, y sulfato cálcico o yeso, que precipita. La reacción que va a tener lugar será la siguiente:



El ácido sulfúrico provendrá de una disolución al 10% en peso la cual contendrá un exceso del 5% en el ácido para tener la seguridad de que todo el citrato se transforma. Esta reacción es exotérmica por lo que ha de mantenerse refrigerado el reactor y no permitir que supere los 60°C ya que a partir de esa temperatura la conversión disminuye.

Se supondrá que tras la lechada se filtra todo el citrato producido, lo cual no es cierto ya que la filtración tendrá un rendimiento que rondará el 97%, de manera que el sistema quede sobredimensionado. Se obtendrá pues 12,07 t de citrato cálcico que, según la estequiometría de la reacción, se combinarán con 7.124,89 kilogramos de ácido sulfúrico, aumentando esta cifra en un 5%, que es el exceso que se comentaba anteriormente, se obtiene 7.481,14 kg de ácido sulfúrico. Este ácido provendrá de una disolución al 10%, y su densidad será de 1.066 g/L por lo cual será necesario tomar 70,18 m<sup>3</sup> de ácido sulfúrico al 10%.

La torta de citrato cálcico vendrá acompañada de agua, además la molécula de citrato se puede encontrar tetra o tri hidratada, esta cantidad de agua se evaluará como un 30% de la masa total de citrato obtenida, es decir, el citrato estará acompañado por 4.023 L de agua. La densidad del citrato es 1.636 g/L lo que da un volumen de 7,38 m<sup>3</sup>. Sumando todos los volúmenes resulta 81,58 m<sup>3</sup>. Para evitar problemas de espumas o acumulación de gases se optará por un volumen de reactor de 90 m<sup>3</sup>.

Para la operación se usará un tanque de acero, que necesita ser revestido interiormente de polietileno y fibra de vidrio, ya que se va a dar en él una

neutralización. Deberá de estar provisto de un sistema agitador, para mejorar el contacto entre el citrato y el ácido sulfúrico, y de serpentín refrigerante que mantenga la temperatura adecuada, ya que la reacción que tiene lugar es exotérmica. Las conducciones de ácido sulfúrico serán de acero revestido internamente de polipropileno ya que el ácido sulfúrico diluido ataca y corroe el metal.

El ácido sulfúrico comercial se vende en gran variedad de concentraciones, desde 98% hasta 10% o 1 M. La ventaja de comprar el ácido a 98% es que se necesitan menos transportes de camiones hacia la planta y unos depósitos menores, además éstos pueden ser de metal ya que a tan alta concentración el ácido sulfúrico no lo corroe, la contrapartida es que el ácido sulfúrico a 98% es un material peligrosísimo para trabajar que, constantemente, da problemas en plantas en todo el mundo ya que hay que tener excepcional cuidado en su transporte, depósito, dosificación y manipulación; un escape de esta sustancia es un accidente muy grave ya que se forman vapores muy tóxicos. Además para diluir esa concentración del 98% hasta el 10% requerido se necesitaría otra unidad para dilución, la cual no se puede realizar a la ligera ya que es una reacción fuertemente exotérmica y peligrosa por las salpicaduras ácidas en la que el ácido pasa de no atacar el metal a corroerlo.

El inconveniente de comprar el ácido sulfúrico diluido es que aumenta el número de transportes, lo cual aumenta los costes y provoca una mayor dependencia de los suministros, además se requiere un volumen mayor de almacenaje al estar diluido y los tanques han de ser de polipropileno reforzado con fibra de vidrio. Las ventajas son que es un material menos peligroso de trabajar, que no necesita dilución previa y se introduciría directamente al reactor de craqueo. Los costes de inmovilizado son menores pero los de suministros aumentan. Se ha seleccionado esta última opción, por lo que se dispondrán de 14 depósitos de 70 m<sup>3</sup> de ácido sulfúrico de polipropileno para así tener abastecimiento para dos semanas aproximadamente.

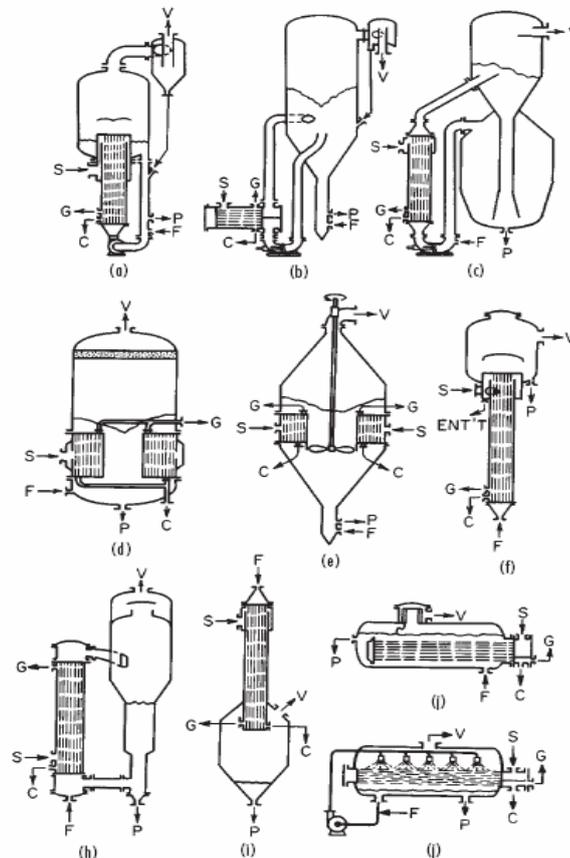
Además de ácido cítrico en el proceso se obtendrá sulfato cálcico o yeso, este yeso puede ser vendido como material de relleno en construcción

principalmente y, en menor medida, en el sector alimenticio como filtrante. El problema será encontrar mercado para vender todo el yeso producido, ya que se obtiene en grandes cantidades. Existen plantas de ácido cítrico que logran colocar su yeso en mayor o menor medida en el mercado, disminuyendo así su impacto medioambiental, pero también se da el caso de plantas que tienen que disponer como residuo de él perdiendo valor añadido del ácido cítrico que producen. Comparado con esas plantas, la que en este proyecto se dibuja produce mucho menos yeso y como la industria de la construcción abarca un gran volumen de trabajo en la provincia, se espera dar salida a todo el yeso producido.

## 9.8. EVAPORACIÓN

Tras separar el sulfato cálcico del ácido cítrico quedará una disolución de baja concentración de éste debido a la gran cantidad de agua usada durante la separación. Antes de proceder a cristalizar el producto se hace necesario concentrarlo para que, posteriormente, puedan formarse los cristales. El objetivo será alcanzar una concentración en ácido cítrico en torno al 67%, que es la que se utiliza en la industria como alimentación del cristizador, partiendo de una concentración aproximada del 10% obtenida tras la reacción de descomposición del citrato cálcico.

Para esta tarea la opción más empleada industrialmente es la evaporación, que consiste en la separación de un disolvente volátil de un soluto no volátil por vaporización del disolvente, agua en este caso. El calor necesario lo aportará un vapor condensante procedente de la caldera.



**FIG. 11-122** Evaporator types. (a) Forced circulation. (b) Submerged-tube forced circulation. (c) Oslo-type crystallizer. (d) Short-tube vertical. (e) Propeller calandria. (f) Long-tube vertical. (g) Recirculating long-tube vertical. (h) Falling film. (i,j) Horizontal-tube evaporators. C = condensate; F = feed; G = vent; P = product; S = steam; V = vapor; ENT'T = separated entrainment outlet.

Existen varios tipos de evaporadores en el mercado, la elección de uno u otro vendrá determinada por una serie de consideraciones:

- **Concentración de la alimentación:** debido a la baja concentración de la corriente de alimentación objetivo, la viscosidad será muy similar a la del agua lo que dará coeficientes de transferencia de calor bastante altos. Se debe elegir un tipo de evaporador en el que el líquido circule a alta velocidad o con alta turbulencia ya que al evaporarse se pierde transferencia de calor al aumentar la viscosidad por aumento de la concentración.
- **Solubilidad:** mientras avanza la evaporación la concentración del líquido va aumentando y se puede alcanzar el límite de solubilidad y darse precipitación. Como la solubilidad aumenta con la temperatura, ésta debe permanecer elevada dentro del evaporador.
- **Descomposición térmica:** el producto puede descomponerse si sufre un cambio brusco de temperatura o un calentamiento prolongado, de manera que el evaporador debe garantizar un corto tiempo de residencia del líquido para minimizar este efecto. Tanto este factor como el del anterior punto pueden dar lugar a incrustaciones que disminuyan el coeficiente de transferencia de calor, por lo que la limpieza del aparato adquiere más importancia.
- **Presión y temperatura:** a menor presión o vacío en el evaporador, menor será el punto de ebullición, que además irá aumentando conforme aumente la concentración, lo que se conoce como elevación del punto de ebullición. Para la disolución que se está tratando esta elevación se puede despreciar.

Se ha elegido un evaporador de tipo película descendente, que es, por otra parte, el más común en la industria de la alimentación. Las razones de esta elección son las siguientes:

- Evaporación poco agresiva con cortos tiempos de residencia, minimizando así la descomposición térmica del producto.
- Alta eficiencia energética debido a la distribución tubular y la posibilidad de acoplar múltiples efectos.
- Son de fácil manejo y se ajustan rápidamente a variaciones de las condiciones del proceso, facilitando la obtención de un concentrado uniforme. Tienen, generalmente, un arranque rápido y fácil.
- Dan una gran facilidad de limpieza, ya que una vez acabado el proceso se pueden configurar rápidamente en modo limpieza, de forma que ésta coincida con las paradas, ahorrando tiempo y manteniendo el equipo en estado óptimo. La limpieza es muy importante para mantener el coeficiente de transferencia de calor del equipo en su valor real.

El evaporador de película descendente está formado por un intercambiador de calor de tubos verticales y un separador de fases. La alimentación se introduce por la parte superior y se distribuye homogéneamente por el interior de los tubos generándose una película descendente igual para todos los tubos. La distribución uniforme es crucial, ya que si hay tubos con mojado insuficiente aparecen problemas de rendimiento y ensuciamiento. Dentro de los tubos el producto cae y se evapora parcialmente cayendo el concentrado por la parte inferior del evaporador, mientras que el vapor condensado se envía o bien a un condensador o bien como vapor vivo a otro evaporador.

#### 9.8.1. CONFIGURACIÓN DEL EVAPORADOR

Para un evaporador de simple efecto, y si la alimentación entra a la temperatura de ebullición, con un kilogramo de vapor vivo se obtiene un kilogramo de agua evaporada. Pero si el evaporador es de doble efecto, por cada kilogramo de vapor vivo se obtiene un kilogramo de agua evaporada por cada efecto, esto

quiere decir que a mayor número de efectos mejor rendimiento se obtiene del vapor utilizado. Sin embargo, un número de efectos mayor acarrea también un mayor coste de inmovilizado y de control. Para este caso, la solución más usual industrialmente es un doble efecto, por lo que se usará esta configuración.

Existen varios sistemas de alimentación al evaporador, estos son:

- Alimentación directa: la dirección del vapor y del líquido de alimentación coinciden y el condensado circula a presiones decrecientes.
- Contracorriente: la dirección de la alimentación es opuesta a la del vapor vivo, la alimentación entra al último efecto.
- Paralelo: la alimentación entra simultáneamente a todos los efectos.

Aunque la alimentación en contracorriente da mejores resultados de transferencia de calor y eficiencia energética, disminuyendo el área de transferencia necesaria, se ha de bombear la corriente de un efecto a otro, lo que acarrea un inmovilizado mayor. Se ha optado por una alimentación directa que, además, es más respetuosa con el producto.

Por último, la alimentación entrará a 40°C, no entrará a la temperatura de ebullición, ya que, aunque se ahorre en área de transferencia, habría que introducir un intercambiador de calor para aumentar la temperatura de la alimentación hasta cerca de su ebullición, aumentando el coste y control del inmovilizado.

## 9.9. CRISTALIZACIÓN

Tras concentrar la disolución de ácido cítrico en el evaporador se necesita transformarla en un producto sólido con las características comerciales apropiadas. El mercado demanda una alta pureza de producto y un tamaño específico y uniforme. El producto final será ácido cítrico anhidro.

En esta etapa lo importante será el rendimiento en cristales y la pureza de los mismos, pero también es de gran importancia el aspecto y tamaño. Un tamaño uniforme es importante para que no se formen agregados ni aglomeraciones una vez envasado, además los cristales intervienen en operaciones posteriores de secado, transporte y almacenado, en las cuales también interesa un tamaño de cristal uniforme. Por todas estas razones se debe hacer un control de la distribución del tamaño de cristal (CSD) según la regla de tamizado americana.

Para que en el equipo de cristalización se formen los cristales se necesita una disolución sobresaturada, dependiendo del método para conseguir la sobresaturación se tiene un tipo u otro de cristalizador. La sobresaturación se puede conseguir térmica o adiabáticamente, el uso de una condición u otra dependerá de la variación de la concentración de saturación con la temperatura del soluto. Para el caso del ácido cítrico el método adiabático es el empleado, ya que su solubilidad aumenta poco con la temperatura, por lo que el método isotérmico ofrecería un bajo rendimiento.

Otra característica a introducir es el flujo en el interior del cristalizador, se utilizará un flujo de magma circulante, ya que es el más efectivo y más usado industrialmente. El magma es el nombre que recibe la mezcla bifásica formada por el licor madre y los cristales de todos los tamaños contenida en un cristalizador, aunque también es el nombre que recibe la corriente de producto cristalizado al no salir seco. En los cristalizadores de magma circulante todo el magma circula a través de ambas etapas de cristalización y sobresaturación sin separar el líquido del sólido, la alimentación se introduce a la corriente entre estas dos zonas.

Es necesario que el equipo tenga un dispositivo de clasificación de tamaño para retener los cristales más pequeños y que no salgan de la unidad, para evitar la segregación de tamaños, el producto final no debe contener más de un 5% de cristales inferiores a la malla 30 o superiores a la malla 100 (entre 0,599 y 0,152 milímetros). Los cristales más finos también deberán de ser retirados de la zona de cristalización para que los demás puedan crecer adecuadamente y alcanzar el tamaño deseado en un menor tiempo.

Como en la mayoría de cristalizadores, el equipo debe de tener un sistema que cree turbulencia o agitación para promover la nucleación secundaria (la que se produce por choques con aspas, tubos o paredes) mejorando el proceso de creación de cristales. Lo más usual en los equipos son los agitadores internos con tubo de aspiración, placas deflectoras y una bomba externa que provea de una circulación forzada del magma por las zonas de sobresaturación y cristalización.

El tipo más común de cristalizador usado para este proceso es el de vacío; consta de un recipiente cerrado en el que se mantiene vacío por medio de una bomba de vacío tipo eyector de vapor, la alimentación saturada se introduce a una temperatura superior a la de ebullición a la presión ejercida, se enfría espontáneamente hasta la temperatura de equilibrio evaporándose parte del disolvente, creando sobresaturación e iniciando la nucleación y el crecimiento de los cristales de ácido cítrico.

Otra forma de operación que se ha de elegir es trabajar en continuo o en batch. Los cristalizadores de tipo batch suelen usarse para pequeñas producciones o casos en los que el producto tiene muy alto valor añadido, en este caso se utilizará un cristalizador continuo de tipo MSMPR (mixed suspension, mixed product renewal) que son los más usados industrialmente para este tipo de procesos. Entre los diversos tipos de MSMPR se elegirá el cristalizador tipo DTB (draft tube baffle) pues es el que cumple los requerimientos de diseño explicados hasta este punto.

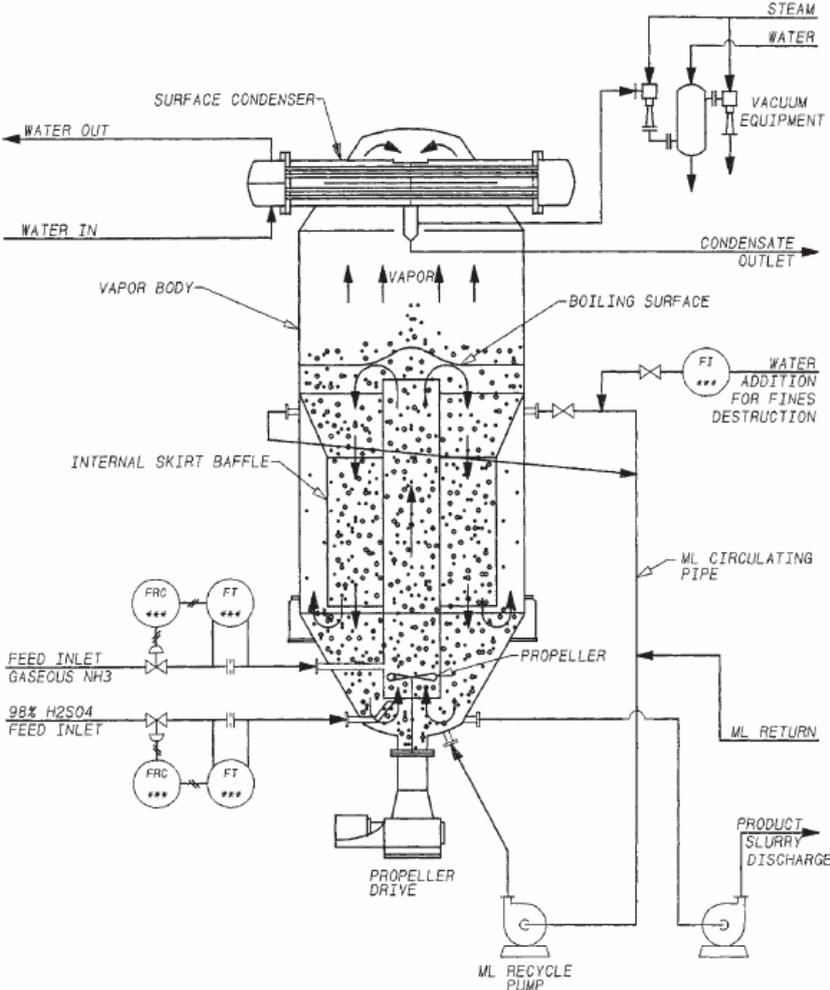


FIG. 18-68 Swenson reaction type DTB crystallizer. (Swenson Process Equipment, Inc.)

## 9.10. CENTRIFUGACIÓN

Tras la etapa de cristalización se obtiene un licor saturado en ácido cítrico que acompaña a los recién formados cristales. Se necesita separar esta mezcla bifásica ya que lo que interesa, como producto, son los cristales de ácido cítrico lo más puros y secos posibles. Para esta separación se plantean dos alternativas: la sedimentación o la filtración. La primera opción queda descartada; aunque más sencilla y económica, la sedimentación ofrecería mucho tiempo de contacto entre los cristales y el licor que tienen pegado en su superficie, lo que se traduciría en una deformación del cristal por absorción de licor y la impurificación de los mismos ya que el licor madre posee un alto grado de impureza.

La filtración que se plantea se podría abarcar de dos formas: la primera sería un filtro industrial, se podría usar, por ejemplo, de nuevo, un filtro de tambor rotatorio de vacío que formaría una torta con los cristales y separaría el licor madre. La segunda opción planteada, que es la que más se utiliza industrialmente, es un filtrado por centrifugación; utilizando una fuerza centrífuga de varios cientos de G se separaría el cristal sólido del licor madre. Se ha optado por la segunda opción, ya que en esta fase la viscosidad del licor hace que se requiera una fuerza de separación bastante más grande que en un filtro convencional y también se requiere una alta rapidez de operación para que el tiempo de contacto licor- cristal sea el mínimo posible. Otra razón por la que se toma la segunda opción es que muchos equipos de cristalización ya incorporan, o están preparados para, una centrifugación posterior, ya que la no separación del magma en el cristalizador conlleva una separación posterior de ambas fases.

Se utilizará una centrífuga de tipo canasta, con un tambor giratorio en el que se introduce la alimentación. En su interior se sitúa una cesta que contiene una serie de mallas, estas mallas deben de permitir el paso del líquido y retener los cristales, el tamaño de paso de la malla debe ser 100 (escala americana de distribución de tamaño de partícula) de manera que queden atrapados todos los cristales que interesan.

Existen centrífugas que operan en continuo o en discontinuo. En las discontinuas al tiempo de operación que se necesita para la separación hay que añadir el tiempo de aceleración al arrancar, el de deceleración al parar y los tiempos de carga, descarga y acondicionamiento del equipo. Debido a lo complejo de su ciclo, requieren muchos controles, mucho mantenimiento y un coste de inmovilizado y operación altos. Sin embargo, con este tipo de centrífugas se obtiene una separación eficaz y con bajo consumo energético además de un mayor respeto por los cristales que las continuas.

En las continuas la velocidad de giro es constante, sin paradas ni aceleraciones, por lo que requieren menos control y mantenimiento. Su coste de operación e inmovilizado es menor que la discontinuas pero tienen un mayor consumo energético y dan más rotura de cristal.

De todas las centrífugas comerciales revisadas la más apropiada para el proceso que nos ocupa es la Mercone C-400, una centrifuga continua de canasta. La Mercone posee un tambor troncocónico, de manera que la fuerza centrífuga hace subir el cristal por el tambor hasta ser descargado seco por la parte superior. Su velocidad de giro se puede regular entre 500 y 3.600 rpm de manera que se puede aumentar la velocidad para tratar un caudal mayor, pueden trabajar con un máximo de 150 gal/min (34 m<sup>3</sup>/h). Se utilizarán dos equipos que se repartirán la producción de manera que si uno está en mantenimiento el otro pueda ocuparse de todo el caudal.

## 9.11. SECADO

Se usará una unidad de secado para eliminar toda el agua posible que quede en los cristales de ácido cítrico tras la centrifugación. Los cristales entrarán al secador con una humedad máxima de 5% y perderán agua hasta contener un máximo de 0,5% de agua. Esta etapa es necesaria ya que el consumidor demanda un producto seco y además se evita que el producto se apelmace en los envases.

La etapa de secado es la última que se realiza en planta antes del empaquetado y definirá las características finales del producto. Se sitúa después de la centrifugación porque eliminar agua por medios mecánicos es siempre más rentable que por medios térmicos, por lo que se usa para eliminar la escasa humedad que persiste tras un método de separación mecánica.

Con la operación de secado se puede eliminar tanto agua externa al sólido como la contenida internamente aunque solamente interesa la superficial, ya que el producto es anhidro.

Debido a la gran variedad de materiales que se secan y a los muchos equipos que se utilizan, no existe una única teoría de secado común. Los secadores rara vez son diseñados por los usuarios, se adquieren en empresas especializadas en ingeniería y fabricación de este tipo de equipos.

Los diferentes tipos de secadores a elegir se diferencian tanto en la forma de flujo de los sólidos en el interior como en la forma de transmitir el calor. Los secadores adiabáticos o directos hacen contactar el sólido con un gas caliente que elimina la humedad. En los secadores no adiabáticos o indirectos el sólido está en contacto con una placa caliente que obtiene su calor por transmisión con un vapor al otro lado del sólido. Entre estas dos opciones se optará por un secador adiabático con circulación a través, en el cual el gas circula a través de un lecho de cristales soportados por una rejilla; la velocidad del gas es baja de manera que el lecho se fluidiza y no se arrastran los cristales.

Los secadores adiabáticos son más económicos a pesar de que son menos eficientes térmicamente que los no adiabáticos. Sin embargo, en los adiabáticos se produce muy frecuentemente arrastre de polvo en la corriente de gas, lo que obliga a disponer de un sistema que atrape este polvo, esto encarece el equipo a veces; si el equipo de separación es demasiado complicado, podría resultar más rentable poner un secador no adiabático en lugar de uno adiabático.

También hay que tener en cuenta que los no adiabáticos deben usarse si las partículas son demasiado finas para aguantar una corriente gaseosa o son muy reactivas químicamente (pueden reaccionar con la corriente gaseosa). En cambio para materiales sensibles al calor, como en este caso, han de usarse temperaturas suaves y tiempos de retención cortos.

Otra cuestión a tener en cuenta es si el secador opera en continuo o en discontinuo, pero las operaciones en discontinuo sólo se usan para producciones menores a 200 kg/h, para producciones mayores es recomendable el sistema en continuo.

#### 9.11.1. SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO

Aunque el secador de tambor rotatorio también suele utilizarse para el secado de ácido cítrico, suele dar problemas de arrastre de polvos, por lo que frecuentemente suelen tomarse otras alternativas, la más común es un secador de lecho fluidizado.

En este tipo de secador los cristales de ácido cítrico se encontrarán fluidizados por el aire de secado. La mezcla sólido-gas se produce casi instantáneamente y la transmisión de calor es muy efectiva. La alimentación se introduce, en este tipo de equipos, por la parte superior del lecho mientras que el producto seco se va retirando por una zona cercana al fondo del lecho. Como lo único que interesa es secar superficialmente, el tiempo de retención rondará los 20 a 30 segundos, poco tiempo, lo que además es beneficioso para el producto.

En los secadores industriales de ácido cítrico la corriente de aire se introduce en el aparato a 60°C, se lleva la humedad del cristal que abandona la unidad a 23°C aproximadamente. Sería conveniente que el secador incorporase un sistema de limpieza automático para facilitar las tareas de mantenimiento. Por otra parte, en este tipo de secadores se necesita un sistema para separar el polvo que arrastra el gas, lo más usual es utilizar un filtro de mangas que suele estar incorporado en la unidad. También es importante que opere con seguridad y economía energética, además de tener fácil mantenimiento y control de la contaminación producida.

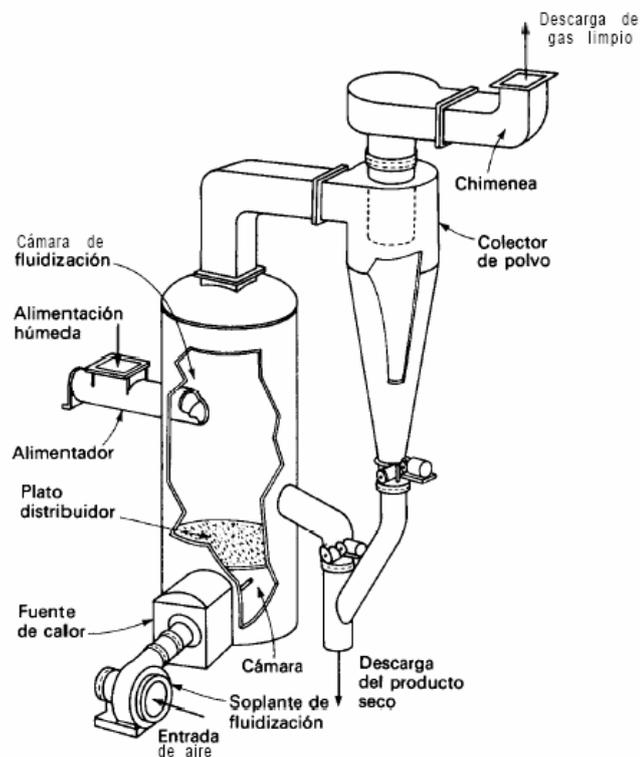


Figura 25.13. Secadero continuo de lecho fluidizado.

## 9.12. EMPAQUETADO

Esta es la etapa final del proceso que, aunque a priori no lo parezca, es de las más importantes, pues el envase es lo primero que ve el consumidor y presenta el producto ante él. Además el envase es necesario para preservar el producto convenientemente.

Aparte del envoltorio, el producto debe contener una etiqueta en la que aparezca la fecha de producción, la de caducidad y el lote y código de producto. El código de producto será archivado en la planta para poder conocer los datos de productos reclamados.



FIG. 21-48 Label example printed by a high density dot matrix printer. (Courtesy of SATO AMERICA, Inc., 2761-A Marine Way, Mountain View, CA 94043.)

Antes de introducir el producto en los sacos, se necesita un sistema de pesado que dosifique la cantidad y que posteriormente introduzca la cantidad pesada en sacos de 25 kg de polietileno. Tras este proceso, una máquina selladora cerrará los sacos herméticamente. La unidad de llenado debe de contener un sistema extractor de polvo ya que se producirá cierta cantidad de éste por el roce entre los cristales. También es conveniente un sistema de detección de metales sobre las bolsas para evitar la introducción de metal accidentalmente en el producto.

La elección de una máquina u otra dependerá de la exactitud y dimensión de las pesadas a realizar, que es lo que determinará la velocidad de operación.

Todas las máquinas consultadas en el mercado pueden operar a mayor velocidad que la de producción por lo que en ese aspecto se puede seleccionar una maquina que dé bastante holgura.

## 10. ALMACENAMIENTO

Se debe evitar la exposición del producto al sol, temperaturas extremas o ambientes contaminantes. El almacenamiento y transporte deben realizarse en ambientes de humedad relativa alta (se recomienda una humedad relativa inferior al 60%). Al abrirse un saco, debe consumirse inmediatamente o empaquetarse nuevamente en sacos de polietileno protegidos por recipientes herméticos por ser un producto alimenticio. El producto debe ser almacenado en lugares libres de plagas, insectos, polvo, agua o humedad, combustibles o cualquier sustancia química o biológica que pueda alterar el producto en cualquiera de sus propiedades físico - químicas.

No se debe transportar el ácido cítrico en vehículos que no ofrezcan garantías de conservación física y química. Deberán estar exentos de todo residuo u olor que puedan alterar el envoltorio o el producto. No debe transportarse con otros productos sólidos o líquidos de cualquier naturaleza que no sean de grado alimenticio o farmacéutico.

Los sacos de producto se almacenarán en pallets estándar para facilitar el traslado y almacenado. Los pallets además servirán para transportar y almacenar otras sustancias intermedias en la producción. Los pallets sin usar se apilarán en una zona especial habilitada para tal fin. Se deben conservar al menos 20 pallets vacíos para reponer las roturas.

No deben apilarse más de 400 kg por pallet, la carga nunca deberá superar el metro de altura y no se apilarán uno encima de otro para prevenir derrumbamientos o deformaciones por presión. No se transportará más de un pallet por transpaletas. Tras dos años de servicio todos los pallets serán renovados completamente, para evitar su rotura por desgaste. Podrán ser gestionados como residuos sólidos urbanos al ser químicamente inertes.

## 11. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Los sistemas de instrumentación y control son claves para una operación fácil y segura de la planta. Debido a que el proceso de fabricación es de tipo discontinuo, se requerirá un sistema de control para modificar las condiciones de operación de los equipos en función de la etapa de proceso de la que se trate, en aspectos como la capacidad de refrigeración o la presión de trabajo.

### 11.1. INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El control de las numerosas variables implicadas en el proceso (temperatura, pH y presión principalmente) requiere la utilización de un importante número de instrumentos para la medida de dichas variables. Las características de esta planta relacionadas con la erosión y la corrosión (trabajo con suspensiones de sólidos, valores de pH, presencia de sales,...) limitan la aplicación práctica de estos sistemas, ya que no todos los instrumentos de medida son válidos o fiables en todas las condiciones de trabajo. El equipo elegido debe ser seguro y sencillo, de fácil ajuste y limpieza.

#### TEMPERATURA

El conocimiento en todo momento de la temperatura de operación de los equipos de la planta es crucial, ya que de ella depende en gran medida el rendimiento del proceso al tener gran influencia en las reacciones que tienen lugar y en las operaciones de intercambio de calor.

En la planta se emplearán termopares tipo t. Están formados por Cu y constantán (aleación de Cu y Ni); el rango de temperaturas es de  $-270^{\circ}\text{C}$  hasta  $400^{\circ}\text{C}$ ; la precisión es de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  ó  $\pm 0.75\%$ , con carcasa de acero inoxidable apto para la industria alimentaria; aguantan condiciones de atmósfera oxidante,

reductora, condiciones de vacío, temperaturas criogénicas y vapores metálicos. La señal de salida vendrá dada en intensidad de corriente de 4 mA a 20 mA.

## PRESIÓN

Tanto en la fermentación como en las reacciones químicas se producen gases que pueden dar lugar a sobrepresiones perjudiciales para el sistema, además otros equipos, como los evaporadores, trabajan con presiones diferentes a la atmosférica, por lo tanto es obligatorio conocer en todo momento la presión de trabajo de estos equipos.

Los medidores de presión deberán ir colocados, como instrumentación adicional a la necesaria en los lazos de control, en los siguientes puntos del proceso:

- Aspiración e impulsión de todas las bombas, para comprobar el correcto funcionamiento de éstas. Van conectadas a una válvula de regulación en bypass, para el control del flujo del fluido impulsado por la bomba.
- Entradas y salidas de los sistemas que transmitan calor como el evaporador o los serpentines de calefacción o refrigeración: para controlar el ensuciamiento y las pérdidas de carga.
- Fermentador, en la parte superior, fuera de la cota máxima alcanzada por el líquido, para controlar la presión existente dentro del equipo.

## MEDIDORES DE FLUJO

Es importante conocer el caudal de sustancia que circula de un equipo a otro de la planta, para ello se necesita algún sistema de medición del flujo. Los medidores seleccionados para el proceso son, en función de la naturaleza del fluido:

- Fluidos limpios: rotámetro.
- Fluidos con sólidos: medidor de coriolis.
- Sólidos: válvulas rotatorias con forma de cruz ubicadas en la salida de la tolva de almacenamiento de los sólidos.

## MEDIDORES DE NIVEL

Se usarán medidores de nivel para controlar el volumen de los depósitos de la planta y conocer su estado de llenado. Los dispositivos de nivel empleados en el proceso, también en función de la naturaleza del fluido, son:

- Medidores eléctricos para suspensiones con cristales y sólidos
- Medidores de presión para líquidos limpios.

## pH

Mantener un pH adecuado es muy importante tanto en la fermentación como en las reacciones de lechada y craqueo del citrato, por lo que se usarán sensores de electrodo de vidrio para controlar el pH dentro de cada una de las unidades involucradas. El sensor mide el pH mediante diferencias de potencial con un error de  $\pm 0,03$  ó  $\pm 0,1\%$  de pH.

## OXÍGENO

Para controlar el correcto crecimiento de la biomasa dentro del fermentador así como conocer el avance de la fermentación, se usará un sensor de conductividad térmica que proporcionará la relación entre el oxígeno y el dióxido de carbono presentes en el medio.

## OTROS PARÁMETROS

- Análisis de biomasa: para controlar que crece el microorganismo adecuado y en la proporción adecuada.
- Análisis de gases de salida: para evitar contaminación.
- Detección de espumas: controla la acción de antiespumantes para evitar la proliferación de espumas.

### 11.1.7. VÁLVULAS DE CONTROL

Las válvulas de control, que se colocarán como instrumentación adicional, serán las siguientes.

- Válvulas de seguridad en los cuerpos de las bombas, que permitan la evacuación de fluidos en caso de roturas o fugas.
- Válvulas para la desconexión del proceso de las bombas o de otros equipos, en caso de reparación o avería.
- Válvulas anti-retroceso que eviten el flujo inverso en la descarga de las bombas.
- Válvulas manuales en bypass para las válvulas de regulación automáticas, que permitan continuar la operación de la planta en caso de que las válvulas de regulación automáticas fallen, y deban repararse o cambiarse. Durante la operación normal estas válvulas permanecerán cerradas.
- Válvulas de accionamiento neumático conectadas a las líneas de suministro de agua, cal y ácido sulfúrico para la dosificación de estos compuestos en los equipos en los que se especifique. Estas válvulas serán controladas de forma remota por el sistema de control.

## 11.2. SISTEMA DE CONTROL

Los lazos de control se efectuarán, principalmente, para llevar a cabo el llenado y vaciado de los distintos tanques, el control del tiempo que permanece el lote procesado en un equipo determinado (ya que el proceso es discontinuo), la temperatura de trabajo, el ajuste del pH y el mantenimiento de una presión de trabajo adecuada. Normalmente los equipos comerciales poseen ya los instrumentos necesarios para su control así como la compatibilidad necesaria para la integración del equipo dentro de un proceso mayor.

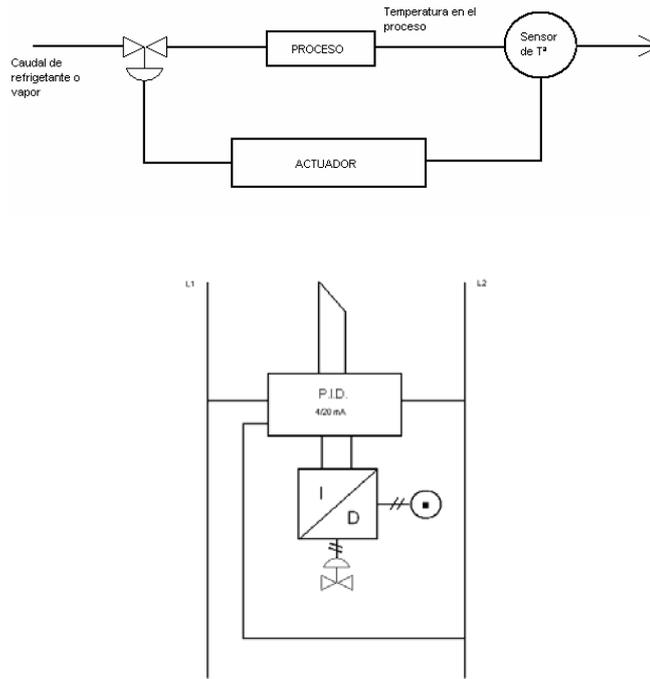
En todas las etapas, los tanques llevarán un medidor de nivel para asegurar que no se supera su capacidad y determinar si alguna de las válvulas de admisión o escape está defectuosa. Además, todas las válvulas de admisión y escape dispondrán de dos actuadores adicionales al automático: uno manual semiautomático de activación remota y otro manual de activación mecánica.

A continuación se definen los lazos de control más importantes del proceso:

### TEMPERATURA

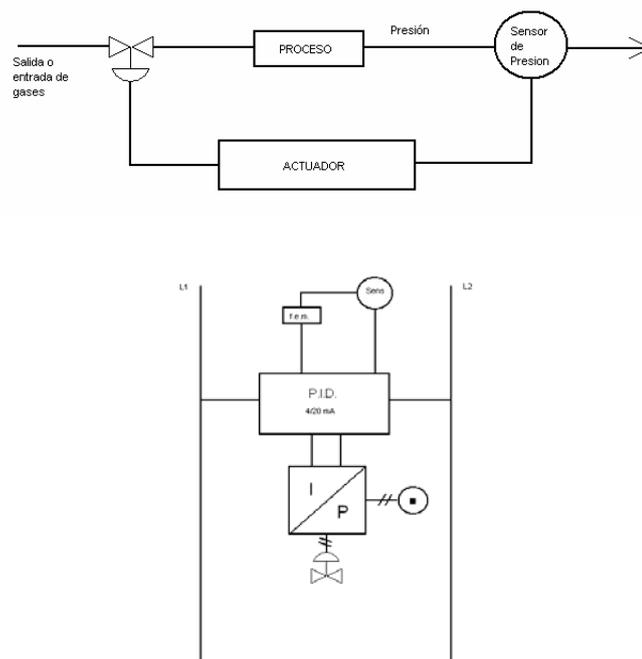
La temperatura a controlar será diferente según la operación considerada: fermentación, lechada, craqueo, evaporación, etc. Se utilizará un sistema de control P.I.D. (proporcional, integral, derivativo). La señal de salida estará en función de intensidad de corriente y será transformada en presión para accionar una válvula neumática gracias a un convertidor que dará una salida de entre 3 bar y 15 bar. La válvula abrirá o cerrará el caudal de refrigerante o vapor dependiendo de la unidad en la que se encuentre el control.

Las consignas a controlar será la temperatura estipulada para cada proceso con un rango de medida de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  con un error del  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Los lazos y conexión serán de la siguiente manera:



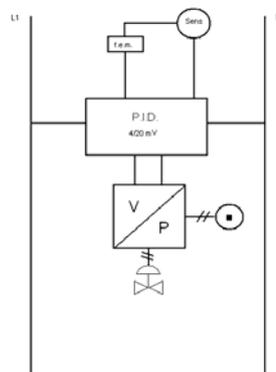
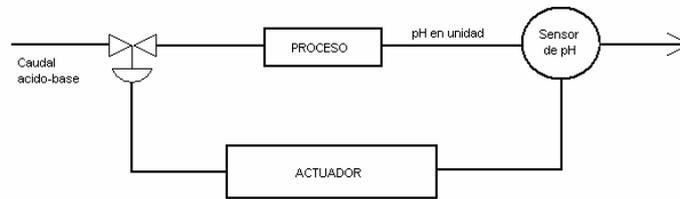
## PRESIÓN

Se instalará una sonda interna de presión absoluta y un controlador P.I.D. para anticiparse a las variaciones de los sistemas que trabajen a presión. Una válvula de regulación neumática influirá en la entrada o salida de gases para mantener la presión adecuada en todo momento. El lazo de presión y su conexión se muestra a continuación:



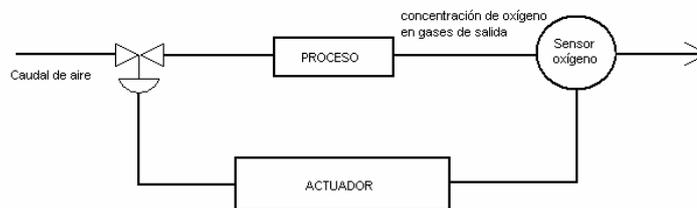
## pH

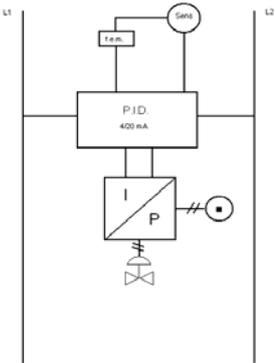
El controlador P.I.D. actuará con un rango de voltaje que será convertido en 3 bar a 15 bar de presión para accionar una válvula neumática que controlará la entrada de ácido o base dependiendo de la unidad en la que se encuentre.



## OXÍGENO

Un sensor de conductividad térmica con salida en intensidad alimentará el control P.I.D. que mandará la señal a un convertidor de intensidad-presión que accionará la válvula de entrada de aire.





## 12. SIMULACIÓN DE PLANTA

Los avances informáticos y el conocimiento de procesos han permitido la creación de programas que simulan el comportamiento de una planta de manera tan específica o tan general como se desee. Los simuladores más simples están realizados en hojas de cálculo con programas como Excel e incluyen los algoritmos y tablas necesarias para entender el proceso de forma general, existen otros programas más específicos como el Super Pro Designer, Chemcad o Hisys que además incluyen bases de datos y algoritmos que aplican automáticamente obteniendo una mayor cantidad de información del sistema.

Para todos los simuladores el funcionamiento es similar: se introducen las variables de entrada del proceso, el simulador las relaciona con una serie de algoritmos y se obtienen unas variables de salida. Las respuestas obtenidas deben ser interpretadas correctamente y verificadas ya que se trata de un símil del proceso real y en la realidad puede tomar otros valores diferentes.

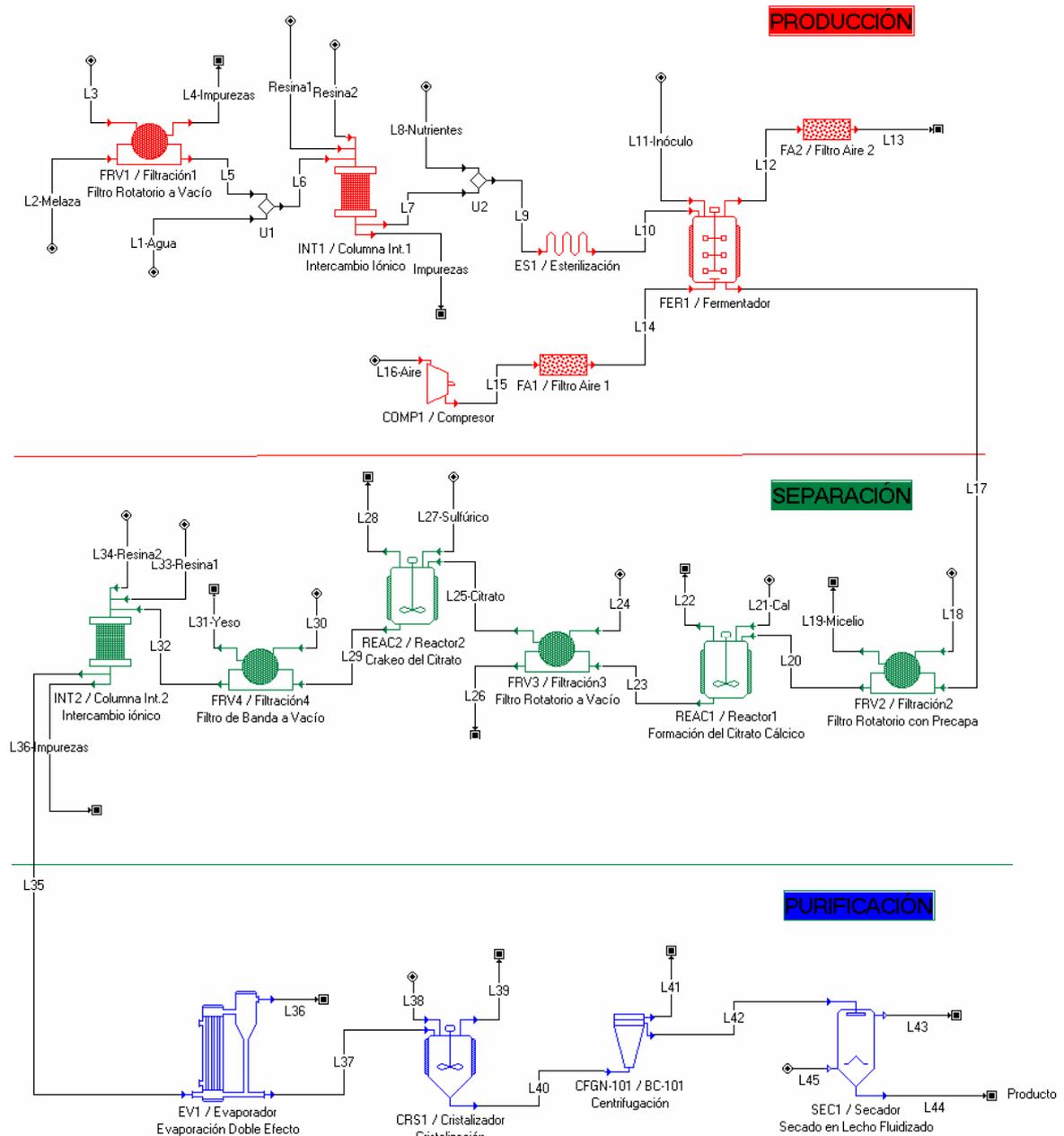
Si se tiene experiencia y conocimiento del proceso que se simula, se pueden tomar decisiones a priori para la mejora de la planta, también se pueden obtener datos a posteriori sobre qué ocurriría si una de las variables que controlan el proceso cambiase ligera o drásticamente y qué resultados o qué características tendría entonces el producto.

Entre los simuladores comerciales enunciados anteriormente se ha escogido el Super Pro Designer ya que es un programa sencillo, intuitivo y muy versátil. Las soluciones dadas por éste se contrastan con los balances realizados en cada sección.

Por motivos estéticos en el simulador sólo se incluye uno de los fermentadores. Un modelo real incluiría todos los fermentadores, pero la complejidad del dibujo y su dificultad de comprensión entorpecerían la propia función de la simulación. Con este artificio se puede, por ejemplo, averiguar qué

pasaría si la temperatura de fermentación aumenta o que ocurriría si la concentración de azúcares es más elevada de lo normal.

A continuación se muestra una pantalla del simulador realizado para la planta y que se ha incluido en este proyecto:



### 13. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Las unidades que se han estado definiendo hasta ahora ocuparán un espacio real en el plano de la planta, su ubicación debe ser adecuada tanto en espacio ocupado como en accesibilidad para la mano de obra y siempre en el orden correcto que marca el proceso. En este apartado se habla de los planos de la distribución en planta que se encuentran en la sección “Planos”.

La distribución se ha realizado conforme al diagrama de flujo, que es el que marca, de formas generales, como se van a colocar los equipos. Las unidades de proceso se dispondrán de forma lógica y ordenada de forma que ocupen el mínimo espacio posible, ya que éste es limitado, pero respetando una separación mínima entre equipos para no tener problemas de accesibilidad o de seguridad y tener las corrientes del proceso suficientemente separadas entre sí.

Otra consideración a tener en cuenta son los equipos especialmente peligrosos, como la caldera o los compresores de aire, que deberán estar apartados del resto de unidades por sus características especiales de riesgo.

La distribución se ha hecho repartiendo los equipos de función similar en zonas concretas, equipos similares deben de estar cercanos ya que tendrán necesidades parecidas. Las zonas que se han ideado son las siguientes:

- Fermentación: área principal y más grande que contiene los fermentadores. Esta zona es la más complicada de la planta por el gran número de líneas (melaza, agua, aire, vapor...) que posee.
- Separación y purificación: aquí se sucederán los procesos post-fermentativos, será la zona más concurrida por los trabajadores por el corto tiempo de ciclo de cada equipo.

- Caldera: estará separada del edificio principal debido al riesgo de manejo de este equipo, sólo debe estar expuesto el personal necesario para la operación de la caldera, con la protección adecuada.
- Línea de aire: debido al gran ruido que provocan los compresores en continuo funcionamiento esta zona debe estar aislada del resto.
- Depósitos: en el exterior se situarán los tanques de almacenamiento de agua, melazas, residuos, cal y ácido sulfúrico. Se separarán los tanques de distinta naturaleza, los de sulfúrico deberán estar más alejados del resto pero cercanos a los de cal por si hay escapes y con sus correspondientes cubetos de protección.
- Almacén: en este lugar se guardarán tanto las materias primas secundarias (principalmente nutrientes para la fermentación) como el producto ya terminado en espera de su transporte para venta.
- Laboratorios: en esta zona se controlará la calidad de la materia prima y el producto así como el inóculo y preparación de los nutrientes.
- Oficinas: donde trabajarán los administrativos.
- Sala de control: donde se controlará la marcha del proceso.
- Talleres: será el lugar donde se reparará la maquinaria y se guardarán los repuestos de las mismas.

Por seguridad la planta ha sido dividida en distintas zonas para así imponer medidas de seguridad colectivas en lugar de individuales, aislando en lo posible las posibles fuentes de riesgo.

## 14. SEGURIDAD

La seguridad, como en todos los ámbitos del trabajo, será muy importante y debe tener cabida en este proyecto tanto por temas legales como por cuestión moral.

La total seguridad es imposible de alcanzar, siempre existirá riesgo de que se produzca un accidente, pero lo que si puede hacerse es disminuir todo lo posible ese riesgo y también, si llega a producirse accidente, minimizar sus consecuencias. Por lo tanto, en primer lugar se deben identificar los riesgos que están presentes, evaluar su intensidad para minimizarlos y medir las consecuencias de que estos riesgos se materialicen en accidente y, por último, las medidas a tomar si el accidente llega a producirse.

Se dará prioridad a reducir la probabilidad de que se materialice el accidente, en segundo lugar se intentarán minimizar las consecuencias en la mayor medida posible y, por último, si se realiza el accidente, reducir el daño que se produce en lo posible.

Los criterios de seguridad se van a dividir en dos partes claramente diferenciadas: seguridad durante la construcción de la planta y seguridad durante la vida útil de la misma.

Durante la construcción de la planta tendrán cabida gran variedad de trabajos, cada uno con su distinto riesgo y consecuencias: albañilería, fontanería, electricidad, montaje, transportes, etc. Aunque la seguridad de los trabajos subcontratados dependa de las empresas, se debe de dar una serie de indicaciones generales para la planificación de estos trabajos y la disminución de su riesgo.

La mayoría de las condiciones de seguridad durante la construcción están relacionadas con la forma y orden de realizar los trabajos por lo que estas normas

se incluirán en el pliego de condiciones, donde se describirá la forma de realizar cada obra y las normas de seguridad a tener en cuenta.

## 14.1 PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

Para que se produzca fuego deber de darse a la vez los tres componentes del triángulo del fuego: combustible, comburente y foco de ignición. Si además de los tres componentes se añade reacción en cadena resulta el tetraedro del incendio. Las medidas de prevención están encaminadas a evitar la aparición de un vértice del triángulo y los mecanismos de extinción eliminarán uno de los componentes del tetraedro del incendio.

El riesgo de incendio y explosión en la industria química es muy alto ya que las probabilidades son grandes y las consecuencias de accidente son muy altas.

Examinando el triángulo del fuego, el comburente es imposible de eliminar ya que se trata del oxígeno del aire y el foco de ignición puede ser cualquier chispa eléctrica o pequeña llama que aporte la energía de activación necesaria. Debido a esto último se debe actuar sobre el combustible para reducir el riesgo. Los principales combustibles en la planta serán los sacos de producto, el material de laboratorio y en menor medida los materiales aislantes.

Como medida de disminución de consecuencias se ha optado por un Sprinkler conectado a un depósito permanentemente lleno de agua. La temperatura del incendio fundirá la ampolla del equipo liberando el agua sobre el incendio. El agua disminuirá la temperatura y reducirá el oxígeno atacando dos de los vértices del tetraedro del incendio, energía de activación y comburente.

También deben de colocarse, según la legislación, extintores en los puntos idóneos, para poder extinguir los incendios incipientes antes de que crezcan. Deberá de haber extintores disponibles para cada tipo de fuego.

El calor producido en la caldera y en los fermentadores estará completamente controlado con sistemas de detección de fuego latente para que puedan ser detenidos antes de que las consecuencias sean perjudiciales para el proceso. Además, al ser procesos localizados que se dan en el interior de

unidades y no haber material combustible en los alrededores, no podrá haber incendio ya que se elimina un vértice del tetraedro de incendio.

Para reducir el riesgo de chispa por carga estática se utilizará calzado de goma y se hará una toma de tierra para todas las unidades.

Se indicará en los planos el punto de reunión en caso de incendio, debiéndose hacer 1 o 2 simulacros al mes. El protocolo a seguir en caso de incendio es el siguiente:

1. Identificar el incendio, ya sea visual o por alarma. Llamada a los bomberos.
2. Entrarán en marcha los aspersores. Deben de funcionar ya que el depósito siempre debe contener un mínimo del 50% de agua de su capacidad y la bomba que alimenta el sistema debe ser redundante. El funcionamiento correcto de bombas y estado del depósito debe comprobarse en cada simulación de incendio.
3. Evacuación ordenada de la planta hacia el punto de reunión.

Por último, para complementar la labor de los Sprinklers, existirán dos bocas de incendios totalmente equipadas.

## 14.2 PROTECCIÓN ANTE EL RIESGO ELÉCTRICO

EL riesgo eléctrico siempre estará presente en la planta ya que todas las unidades consumen energía y estarán conectadas a la red eléctrica.

Se define el riesgo eléctrico como la posibilidad de que la corriente eléctrica circule por el cuerpo humano y para que exista, en primer lugar, debe crearse un circuito eléctrico en el que el cuerpo humano sea un elemento del mismo y, en segundo lugar, que exista una diferencia de potencial.

Las consecuencias del paso de una corriente por el cuerpo humano dependen de la intensidad de la corriente y del tiempo que dure este circuito, cuanto mayor sean ambos, mayores serán las consecuencias. También influye la humedad del cuerpo y del ambiente. Las consecuencias más graves son: dificultad o parada respiratoria y fibrilación ventricular que puede llegar a ser irreversible, así como quemaduras graves.

Se distinguirá entre contacto directo e indirecto. Se producirá contacto directo cuando la persona entre en contacto con partes activas de materiales o equipos, se producirá contacto indirecto cuando la persona entre en contacto con partes puestas accidentalmente en tensión. Se tomarán las siguientes medidas:

- Alejar las partes activas de la instalación.
- Aislar dichas partes activas.
- Limitación de la intensidad en caso de contacto.
- Corte de corriente en caso de producirse una tensión de defecto.

Según la clasificación del reglamento eléctrico de baja tensión se tomarán las siguientes medidas:

- Toma de tierra: los aparatos se conectarán a tierra mediante una conexión de baja resistencia. En caso de fallo la mayoría de la intensidad se canaliza a tierra al tener esta conexión menor resistencia que el cuerpo humano.

- Aislamiento de protección: el equipo se recubre con un aislamiento eléctrico suplementario.
- Tensión de seguridad: se usan tensiones pequeñas para que, en caso de contacto, circulen intensidades pequeñas no dañinas. El problema es que se limita demasiado la corriente que se puede utilizar.
- Diferenciales: si la intensidad que entra al circuito y la que sale del mismo es diferente por defecto en la instalación, el diferencial corta la corriente.
- Magnetotérmicos: limita el consumo de corriente y corta el circuito si esta sobrepasa cierto valor.

### 14.3 PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS Y GOLPES

Existe otro factor de riesgo que puede provocar diversos accidentes laborales así como amplia variedad de lesiones, que pueden llegar a ser muy graves. Se tratará cada uno de estos tipos de accidente para disminuir su riesgo.

Las caídas se podrán dar únicamente en lo alto de los depósitos o los reactores o fermentadores, por eso se ha dispuesto de una estructura metálica auxiliar para acceder a la parte superior de los fermentadores en lugar de una única escalera o construir otra planta superior, disminuyendo así el riesgo de caídas. Las estructuras llevarán barandillas y para acceder a las partes más altas los empleados deben usar arnés de seguridad.

La circulación de camiones y transpaletas por la planta es una fuente de riesgo de atropello. Las transpaletas deberán de estar equipas con la señalización lumínica adecuada obligatoria así como el pitido característico que denotan inequívocamente la presencia de la maquina en movimiento.

De las estructuras y equipos elevados pueden desprenderse objetos que pueden ocasionar golpes. Para objetos de gran tamaño se dispone de una red en la estructura metálica, los objetos menores pasarán por esta red, por eso se impone la obligación al personal de llevar casco protector.

Para reducir las consecuencias se deberá tener un botiquín perfectamente equipado y actualizado que deberá de ser revisado periódicamente.

## 14.4 PROTECCIÓN CONTRA EL RIESGO BIOLÓGICO

De acuerdo con el Real Decreto 664/1997 del 12 de mayo, se entiende por agente biológico los microorganismos, incluidos los modificados genéticamente, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar una infección, alergia o toxicidad. Esta normativa los clasifica en:

- Grupo 1: los que tienen poca probabilidad de causar enfermedad.
- Grupo 2: pueden causar enfermedades, pero es poco probable que se propaguen, existiendo profilaxis o tratamiento eficaz.
- Grupo 3: aquellos que pueden causar enfermedades graves existiendo riesgo de propagación, pero hay profilaxis o tratamiento eficaz.
- Grupo 4: Pueden causar enfermedad grave, con gran riesgo de propagación y no existe profilaxis o tratamiento eficaz.

El microorganismo usado no presenta ningún peligro para la sociedad o los trabajadores de acuerdo con los grupos anteriores y no se incluye en la tabla de microorganismos patógenos. A pesar de ello se tomarán una serie de medidas:

- Prohibido fumar, comer, beber, aplicarse cosméticos o llevarse las manos a la boca en los laboratorios.
- Vestimenta adecuada: guantes, botas, filtros respiratorios...
- Acceso restringido a personal autorizado.
- Esterilización de residuos peligrosos. Las materias contaminadas deben ser esterilizadas antes de tirarlas en autoclave.
- El material viable ha de ser manipulado en cabinas de seguridad biológica (flujo laminar, cabinas estancas).

- Medidas ingenieriles: Uso de sobrepresiones, barreras fungicidas (antibióticos, luz UV) en conductos de salida, filtración de aire.
- Almacenamiento seguro de los agentes biológicos.
- Disponibilidad de agentes esterilizantes.
- Control y mantenimiento de los equipos de trabajo.
- La superficie de los puestos de trabajo debe ser impermeable, fácil de limpiar y resistente a ácidos, bases, disolventes y desinfectantes.
- Facilidades para el lavado y desinfección del personal.

Existen medidas más drásticas pero la escasa peligrosidad de los microorganismos que se manejan las hace innecesarias.

## 14.5 PROTECCIÓN ANTE EL RUIDO

Todas las máquinas: motores, bombas, alarmas, sirenas... son fuentes de ruido, el cual, además de definirse como un sonido molesto, se considera una clase de contaminación. El ruido se define como un sonido no deseado, inarticulado y confuso cuya intensidad varía con el tiempo.

El sonido se transmite por medio de ondas de presión, luego necesita un soporte material para propagarse. Se caracteriza por la frecuencia (medida en hertzios) y su nivel de energía está caracterizado por los siguientes parámetros:

- POTENCIA ACÚSTICA ( $P_w$ ): Cantidad de energía acústica que emite un foco en la unidad de tiempo (W). El nivel más bajo que se percibe es  $P_{w_0}=10^{-12}$  W
- PRESIÓN ACÚSTICA (P): Cantidad de energía acústica por unidad de superficie (Pa). Rango:  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> (umbral de percepción,  $P_0$ ) a 20 N/m<sup>2</sup> (umbral doloroso).
- INTENSIDAD ACÚSTICA (I): Cantidad de energía acústica que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo (W/m). Rango:  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> ( $I_0$ ) a 25 W/m<sup>2</sup>.
- NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (NPA ó L (dB)): Se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$L = 20 \times \log(P/P_0) = 10 \times \log(P_w/P_{w_0}) = 10 \times \log(I/I_0)$$

El oído humano es capaz de detectar desde un sonido asociado a una onda de presión de tan solo 20  $\mu$ Pa hasta 10 millones de veces este valor (20 Pa). El umbral de audición es  $L = 0$  y el umbral de dolor corresponde a  $L = 120$  dB (20 Pa).

EJEMPLOS DE VALORES DE INTENSIDAD	
Intensidad (dB)	Ejemplo
10	Cámara anecoica
20	Estudio de grabación
30	Interior de una iglesia
60	Conversación normal a 1 m
70	Maquinas de escribir a 1 m
90	Camión pesado a 6 m
110	Martillo mecánico
120	Sala de maquinas de barco
140	Avión despegando

También habrá que tener en cuenta la frecuencia con que se suceden los picos de amplitud máxima de la onda sonora, según esto los ruidos se van a clasificar en:

- Ruido de impacto: las variaciones entre dos máximos consecutivos se dan en un tiempo superior a 1 segundo.
- Ruido continuo: los impulsos o picos se producen en intervalos inferiores a 1 segundo. Los ruidos continuos se clasifica en:
  1. Ruido estable: el NPA se mantiene constante, con una variación inferior a 5 dB.
  2. Ruido fluctuante: el NPA oscila más de 5 dB.

Los efectos patológicos del ruido pueden ser:

- Trauma acústico: lesión del oído interno. Irreversible.
- Hipertensión arterial.
- Alteración del ritmo cardiaco.
- Trastornos del tipo respiratorio.

- Perturbación en la secreción hormonal (adrenalina).
- Trastornos nerviosos.

Para la medición de ruidos, se utilizan sonómetros, dosímetros y analizadores de frecuencia.

- Sonómetros: mide variaciones en la presión de sonido (el NPA) por un micrófono.
- Dosímetro: mide la energía sónica recibida durante un periodo de tiempo, expresándolas como porcentaje de la dosis máxima permitida.
- Analizador de frecuencia: identifica las frecuencias principales de un ruido.

Seguidamente se presentan unos índices que definen los tiempos máximos que, según la legislación, puede estar expuesto un trabajador a un determinado ruido:

- TLV

Los valores límites TLV son, para ruido estable, según la normativa recogida en el R.D. 1316/1989:

$$T_{\max} (\text{h /día}) = 8^{(105-L)/15}$$

La expresión anterior da el tiempo máximo de exposición (en horas al día) a un ruido de una determinada intensidad (L).

Tiempos de exposición a un determinado valor						
L(dB)	90	95	100	105	110	115
Tmáx	8h	4h	2h	1h	30min	15min

– TLV-TWA

Según la definición de TLV-TWA, éste será el valor máximo de ruido al que una persona puede estar expuesta de forma continua durante una jornada de trabajo completa de 8 horas al día.

– TLV\_STEL

De igual forma, la definición de TLV-STEL marca el valor máximo de ruido al que se puede estar expuesto por un periodo de 15 minutos.

– TLV-C

El TLV-C se define como el valor que no debe sobrepasarse nunca para evitar efectos patológicos. Según la normativa citada, ningún trabajador debe estar expuesto bajo ninguna circunstancia a ruidos superiores a 115 dB.

Otra forma de comprobar si una exposición a un contaminante es higiénica o no es calculando el porcentaje sobre la dosis máxima permitida. Este parámetro da la relación entre la dosis recibida del contaminante y la dosis máxima que puede soportar:

$$\%DMP = (t_{\text{exposición}}/t_{\text{maximo}}) \times 100$$

El porcentaje sobre la dosis máxima permitida permite evaluar rápidamente las condiciones higiénicas de un puesto de trabajo:

- %DMP superiores a 100%: la situación es claramente no higiénica, y se deben tomar obligatoriamente medidas para controlar el problema higiénico.
- %DMP entre 50% y 100%: la situación higiénica es dudosa y se recomienda tomar medidas para reducir la exposición al contaminante.
- Para valores de %DMP inferiores al 50%: la situación es higiénica y

sólo es necesario un control periódico del puesto de trabajo para aseguramos que se mantienen dichas condiciones.

Los problemas de higiene se pueden atacar en tres frentes:

#### Sobre la fuente

- Sobre el diseño acústico.
- Disminuyendo la energía del ruido por medio de sistemas conductores de la vibración.
- Cambiando el acoplamiento entre el sistema productor del ruido y el sistema propagador.
- Sustitución de la estructura a otro emplazamiento.
- Sustitución por otro equipo menos sonoro.
- Cambios en el método de trabajo.

#### Sobre el medio de transmisión

- Aumentando la distancia entre la fuente y el receptor.
- Tratamiento acústico del suelo, techo y paredes para absorber el sonido y reducir la resonancia.
- Aislar acústicamente la fuente de ruido.

#### Sobre el receptor

- Utilización de protecciones personales: Tapones, reducen 10dB a 20 dB. Auriculares, reducen 50 dB y evitan la propagación ósea.
- Aislado al trabajador

- Realizando una rotación del personal para reducir el tiempo de exposición.
- Cambios en la programación de los trabajadores.

Se calcularán los niveles de ruido esperados en cada parte de la planta: fermentación, laboratorio, tratamientos post-fermentativos, almacén y se compararán con los valores permitidos. Partiendo en que siempre es mejor usar medidas colectivas que equipos de protección individual, en la medida de lo posible, se intentará utilizar unidades de menor nivel sonoro ó espaciarlas para que no intercedan. En caso de no ser suficiente se optará por usar E.P.I. como cascos, tapones, etc.

Otra medida será la existencia de una sala aislada de reposo en la que los trabajadores que hayan sido expuestos a la fuente de ruido hasta el máximo permitido puedan descansar un tiempo establecido.

## 14.6 PROTECCIÓN ANTE EL CALOR

El ambiente térmico ejerce efectos muy desfavorables en el ser humano. En condiciones normales el metabolismo del cuerpo humano se autorregula siendo mínimos estos efectos, pero en condiciones más severas el metabolismo es insuficiente. Los posibles efectos de un ambiente térmico desfavorable son:

### CALOR:

- Síncope térmico o desvanecimiento: aumento de circulación sanguínea, bajada de tensión, pérdida de consciencia.
- Deshidratación: se origina por una sudoración intensa acompañada de pérdida de sales.
- Hipertermia: aumento anormal de la temperatura interna, acompañada de falta de sudoración.
- Golpe de calor: hipertermia aguda. Graves consecuencias.

### FRÍO:

- Dificultad en el habla, pérdida de memoria y destreza manual.
- Falta de riego sanguíneo en las extremidades.
- Contracción de vasos sanguíneos periféricos.
- Congelación de partes distales.

Los ambientes térmicos extremos pueden modificar la temperatura del organismo causando efectos patológicos, como se puede ver en la siguiente tabla:

T. Interna (°C)	EFEECTO
44	Límite superior de supervivencia.
42 a 44	Golpe de calor.
41	Síncope por calor, lesiones cerebrales.
38 a 41	Estado febril.
37	Temperatura rectal normal.
36.5 a 37	Temperatura normal.
36	Aumento del metabolismo.
35	Temblores importantes.
30	Pérdida de consciencia.
24	Límite de supervivencia.
22	Parada cardiaca.

En el lugar de trabajo habrá que controlar los siguientes factores:

- Temperatura del aire: relacionada con el intercambio de calor por convección.
- Temperatura radiante: relacionada con el intercambio de calor por radiación.
- Humedad del aire: relacionado con la pérdida de calor que puede experimentar el cuerpo humano cuando se evapora el sudor.
- Velocidad del aire: relacionado con el intercambio por convección.

Estudiando el intercambio de calor entre el organismo y el ambiente, se puede plantear un balance calorífico. El balance de calor aplicado al cuerpo humano es:

$$A = M \pm R \pm C_{Conv} \pm C_{Cond} - E$$

Donde:

- A es el calor almacenado
- M es el calor generado por el metabolismo
- R es el calor intercambiado por radiación
- $C_{conv}$  es el calor intercambiado por convección
- E es el calor perdido por evaporación
- $C_{cond}$  es el calor intercambiado por conducción (despreciable salvo en caso de quemaduras).

En ambientes térmicos "normales" (no extremos), el organismo es capaz de modificar su metabolismo (M) de forma que el balance anterior se cierre en valores nulos de acumulación de calor (A). Si no hay acumulación de calor, la temperatura del cuerpo se mantiene constante. Sin embargo, en ambientes extremos, esto no es posible:

- En situaciones de calor extremo, el metabolismo no puede corregir el aumento de calor y la temperatura corporal aumenta.
- En situaciones de frío extremo, el metabolismo no puede generar el calor que se pierde, y la temperatura corporal disminuye.

El control del ambiente térmico se hace midiendo los valores de:

- La temperatura del bulbo seco: que da la temperatura del aire.
- La temperatura del bulbo húmedo: relacionada con la humedad del ambiente.
- La temperatura del globo (la temperatura radiante).
- La velocidad del aire.

Con estos valores se puede calcular una temperatura efectiva denominada WBGTI (Wet-Bulb-globe Temperature Index):

- En situaciones sin sol:  $WBGTI = 0,7 T_{BH} + 0,3 T_G$

- En situaciones con sol:  $WGBTI = 0,7 T_{BH} + 0,2 T_G + 0,1 T_s$

El valor de este WGBTI está relacionado con el tipo de trabajo que se realice ya que ello influye en el calor generado por el propio metabolismo.

El proceso de fermentación es exotérmico por lo que durante este proceso se desprenderá calor. La temperatura óptima de fermentación gira en torno a los 30°C que será mayor que la temperatura ambiente en invierno y menor en verano por lo se puede aceptar este valor como un valor de temperatura mayor que el habitual, considerándolo como normal.

Para esterilizar el medio se empleará vapor sobresaturado a 140°C que será alimentado de una línea de vapor a los fermentadores. El efecto de esta temperatura sobre el medio será más agresivo que el debido a la propia fermentación por lo que será usado este efecto y no el anterior de cara a tomar medidas.

La primera medida será aislar las tuberías de la línea de vapor y los fermentadores mediante lana de roca. Con este aislamiento se consigue:

- Disminuir la pérdida de calor en la línea de vapor.
- Disminuir la gravedad de quemaduras por contacto directo con la línea de vapor así como de los fermentadores.
- Disminuir los problemas debidos al estrés térmico debidos a este calor desprendido.

La segunda medida adoptada en planta será la existencia de equipos extractores de aire para retirar el aire caliente y equipos de ventilación que constantemente introduzcan aire a temperatura ambiente en la planta haciendo que la temperatura en ésta sea lo más próxima a la temperatura ambiente posible. Una tercera medida será la existencia en la planta de una sala aislada térmicamente con bebidas isotónicas para evitar casos de deshidratación por estancia prolongada en condiciones de alto calor.

## 14.7 OTROS RIESGOS

Existen otros riesgos de difícil clasificación que se expondrán en este punto. Estos riesgos, de naturaleza muy diferente, estarán presentes durante el régimen de fabricación y, la mayoría de ellos, requerirán de medidas correctoras en la construcción de la planta o bien mediante material de protección personal.

### ACUMULACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono en pequeñas cantidades resulta inocuo para el hombre. En altas cantidades tiende a desplazar el oxígeno por diferencia de densidad impidiendo la respiración produciéndose la asfixia física, es decir, no llega oxígeno a los pulmones.

En cada ciclo fermentativo se producirán más de 10.000 kg de dióxido de carbono, una cantidad muy significativa, este gas es uno de los productos del metabolismo microbiano pudiéndose sumar al mismo tiempo la cantidad correspondiente a varios ciclos fermentativos.

Para evitar la acumulación de este gas en la planta pudiendo desplazar al oxígeno, aumentando el riesgo de asfixia física. Para la valoración de este riesgo primero se distinguirán las siguientes partes de la planta:

- 1) Proceso fermentativo.
- 2) Procesos post-fermentativos.
- 3) Laboratorio.
- 4) Almacén.

En la parte de la planta donde se produce la fermentación el riesgo asociado a este gas es alto por lo que se proyectarán grandes ventanas a la altura de la salida de gases de los fermentadores así como un sistema de extracción de gases para ayudar a la ventilación. Estas ventanas también ayudarán a la iluminación de la planta.

En la parte de la planta donde se dan los procesos post-fermentativos no existirá riesgo de acumulación de dióxido de carbono, pero aún así se ventilará ya que en las operaciones restantes podrían desprender una mínima porción de gas procedente del dióxido de carbono absorbido por el agua o de algún proceso.

En el laboratorio las cantidades de dióxido de carbono desprendidas durante las pre-fermentaciones serán mínimas, pero debido a que en este laboratorio se emplearán reactivos de cierta peligrosidad, será imprescindible disponer de un sistema de extracción de gases.

En los almacenes no se van a producir cantidades apreciables de dióxido de carbono ya que el producto llegará envasado y simplemente se distribuirán en pallets para ocupar el espacio mínimo de forma ordenada por lo que en esta ubicación no se habrán de tomar medidas para este gas.

## LESIONES DEBIDAS A SOBRESFUERZOS

El trabajo del operario en ocasiones requerirá el manejo de material pesado así como la carga del mismo. Un ejemplo de este sobreesfuerzo es el producido al subir peso a las estructuras metálicas anexas a las unidades de fermentación ó el transporte de un determinado pallet o producto por la planta. Para solucionar estas fuentes de lesiones se ha optado por:

- Uso de transpaletas para el transporte de material de más de veinte kilogramos por la planta.
- Un montacargas para subir el material pesado a las estructuras metálicas siempre que el peso o forma de éste lo requiera.
- Una grúa manual para arrimar objetos pesados a las unidades de fermentación evitando cargar pesos de más de veinte kilogramos sobre las plataformas metálicas.

Estas medidas se podrían considerar como medidas ergonómicas ya que finalidad es la de amoldar el trabajo al operario y no el operario al trabajo.

## VIBRACIÓN

Las vibraciones se definen como la oscilación de partículas alrededor de un punto, en un medio físico cualquiera. Los efectos de las mismas se deben a la transferencia de energía al cuerpo humano, estos efectos dependen de la intensidad. En función de la intensidad recibida, se pueden sufrir desde mareos hasta lesiones. Los trabajos en los que se pueden dar estas lesiones son el transporte de material por la planta por lo que se repartirá esta tarea entre los operarios.

## ILUMINACIÓN

La iluminación es toda radiación emitida o reflejada por cualquier cuerpo con una determinada longitud de onda y susceptible de ser percibida como luz. La falta o exceso de iluminación puede provocar efectos nocivos en la salud del operario así como accidentes por deslumbramientos o escasez de visibilidad. La legislación dicta medidas, en LUX, de la luz que debe de haber en el ambiente de trabajo, pasillos, etc.

## CHOQUES CONTRA VEHÍCULOS

La actividad productiva en esta planta implica el uso de vehículos que van desde transpaletas a furgonetas en el complejo. Se ha realizado un estudio de estos casos buscando el diseño óptimo, consideramos los distintos casos:

- Choques contra objetos inmóviles: Para evitarlos se han acotado y señalizado espacios en la planta donde estarán estos vehículos con el freno de seguridad siempre que no estén siendo utilizados.
- Choques contra objetos móviles: Las máquinas con partes móviles han sido separadas y aisladas según el correspondiente artículo del RD 486/1997.
- Atropellos: Las máquinas de transporte emitirán un sonido característico y una luz óptica que avise de su paso. Se establecerán en planta y parcela carriles semejantes a una carretera cuyo tráfico de vehículos sea siempre por la derecha.

## VÁLVULAS DE SEGURIDAD

En ciertas unidades se va a trabajar a alta presión. En caso de que esta presión se eleve por encima de cierto límite podría provocar la explosión de la unidad. Se dispondrán de sistemas de alivio para evacuar parte de los fluidos que provocan de esta sobrepresión. Existirán distintos dispositivos de alivio de presión:

- Discos de ruptura: al elevarse la presión unos discos localizados se rompen disminuyendo la presión del sistema. Estos discos deben de ser reemplazados cada vez que se supere cierta presión. Normalmente se emplean en sistemas cuyo aumento desmesurado de presión lleve a la parada de la planta.
- Válvulas de seguridad: cuando se eleva la presión por encima de cierto límite un resorte abre el sistema eliminando parte del gas que provoca la sobrepresión, volviendo a cerrarse cuando el sistema se encuentre dentro del rango de presión de trabajo.

En ambos casos se producirá un golpe de vapor que probablemente esté a alta temperatura, por lo que deberá ser canalizado para que no entre en contacto con los operarios.

## 15. CONTROL DE CALIDAD

Hasta hace poco se ha entendido que el tener implantado un control de calidad supone una fuente de coste y no una fuente de mejora. El control de calidad se entendía como una medida de despilfarro, ya que las unidades producidas que no cumplían con una serie de características eran eliminadas.

Lejos de caer en esa teoría se va a entender la calidad como una fuente de mejora continua, ya que mediante un sistema de calidad con datos cuantitativos se podrá modificar el sistema obteniendo un producto con las características deseadas, en otras palabras, mediante la medida de distintos parámetros se podrá modificar el proceso hacia el punto de consigna deseado.

Seguidamente se exponen algunas definiciones de calidad encontradas en bibliografía:

- *Adecuación al uso* (Juran).
- *Producir bien y a la primera* (Price).
- *Producir los bienes y servicios demandados con el menor costo posible para la sociedad* (Taguchi).
- *Conformidad con las especificaciones* (Crosby).

El sistema de calidad se basará en la medición de distintos parámetros durante el proceso con el fin de obtener la máxima producción en las mejores condiciones posibles. La implantación de un sistema de calidad se materializará en costes pero, por otra parte, también se materializará en beneficios: se obtendrá un producto de considerable calidad y se evitarán rupturas en la producción.

## 15.1. CONTROL DE MATERIAS PRIMAS

El primer análisis se realizará en las melazas en el momento de la recepción en planta, buscando conocer varios parámetros básicos:

- Cantidad de azúcares fermentables.
- Cantidad de agua.
- Cantidad de nitratos.

Este control previo será muy importante de cara al trabajo en las distintas unidades de proceso. Un fallo de medida o interpretación tendrá consecuencias muy negativas para el proceso, resultando, por ejemplo, en una excesiva dilución de las melazas (menor concentración de azúcares fermentables de los esperados).

Controles sobre la melaza según la reglamentación española:

M. Prima	Medición	Método	Referencia
Melaza	Organoléptico	Visual	v: constante color marrón oscuro olor dulce característico ni sólidos ajenos a la melaza ni partículas quemadas
	Humedad	Desecación a vacío	925.45-AEd. 15°
	Proteína bruta	RD 2257/1994 n°3	18-120 Dumas
	Azúcares totales	RD 2257/1994 n°8	Expresado en glucosa
	A. fermentables	RD 2257/1994 n°8	Expresado en sacarosa
	<i>E. coli</i>	FDA(1995)8ªed.	Ausencia
	<i>Sallmonella</i>	FDA(1995)8ªed.	Ausencia

El resto de nutrientes se compararán como nutrientes puros de calidad alimentaria, por lo que se les pedirá a los proveedores la correcta caracterización de sus productos así como, a la recepción del producto, se realizará un control en el laboratorio para comprobar la veracidad de los proveedores. Los controles a realizar serán principalmente el porcentaje de humedad y la concentración del producto en sí.

Se tomarán muestras de todas y cada una de las materias primas a la recepción en planta en todas las ocasiones. Se analizarán las muestras en el laboratorio de la planta y se almacenará un valor de muestra suficiente para los futuros análisis. Las muestras estarán perfectamente etiquetadas para facilitar la búsqueda del análisis en el registro histórico. Una vez etiquetadas serán congeladas durante al menos un año desde que se realizaron para comparar futuros pedidos con los valores históricos.

Se almacenarán las muestras de cara a solucionar cualquier problema con los proveedores. Se realizarán copias del análisis en papel que se guardarán junto al producto terminado en planta y en las cajas del mismo se codificará el registro de este análisis para facilitar búsquedas en los archivos. También se creará un archivo histórico convenientemente codificado, con el mismo código que aparecerá en las cajas, lo que va a permitir, en todo momento, conocer la composición de partida de las materias primas utilizadas en planta, así como la composición de las mismas que se han usado para una determinada producción.

## 15.2. CONTROL DURANTE EL PROCESO FERMENTATIVO

Una vez analizadas las materias primas y actuado en consecuencia para asumir las fluctuaciones, hay que intervenir en el control de proceso ó control de calidad operativo. Se hará un control del proceso fermentativo para no tener sorpresas y que la producción obtenida sea la esperada.

Cualquier proceso microbiano debe ser monitorizado para asegurar que el crecimiento transcurre adecuadamente y que no aparezcan fallos al final del proceso. Es necesario medir, durante el crecimiento, ciertos parámetros como temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto, concentración de biomasa, etc. Todos estos datos llegarán al ordenador central de la sala de control.

Los ordenadores pueden utilizarse también para modelar los procesos fermentativos. Con los modelos matemáticos desarrollados en este proyecto y datos experimentales se podrán hacer modificaciones de diversas variables para ver cómo afectan al proceso buscando la condición óptima. Así se pueden hacer estudios baratos en ordenador sin tener que experimentar en planta.

En un punto anterior se comentaron las formas de medir el crecimiento microbiano. Se utilizarán dos tipos de datos: turbidez y crecimiento en placa. Ambas medidas darán la cantidad de microorganismos presentes.

Para medir el crecimiento microbiano, unos de los principales indicativos del estado de la fermentación, se utilizarán dos tipos de medida: turbidez de la masa fermentativa y crecimiento en placa Petri. Se realizará una siembra en placa por cada 5 medidas de turbidez. La experiencia permitirá, a partir de la recta de regresión y experiencias, poder llegar a una ecuación de crecimiento específica basada en datos de crecimiento en planta y no en modelos cinéticos.

Las medidas de la turbidez y el recuento en placa, junto al resto de medidas, informarán del transcurso del crecimiento. Una ventaja de los autómatas programables es la posibilidad de, con los datos experimentales

obtenidos en planta, reprogramar los ciclos en función de las necesidades y experiencia obtenida.

La última medida realizada durante la fase fermentativa será la de producto obtenido. La experiencia será la que dicte el momento exacto del final del proceso fermentativo y principio del resto de procesos post-fermentativos.

Una vez que se tengan los valores de las variables que permitan la máxima producción, se hará una reprogramación de los automatismos de la planta de manera que se opere siempre con estos valores, para ello las unidades escogidas para construcción de la planta deben de poder ser fácilmente reprogramables y compatibles con el resto de unidades.

### 15.3. CONTROL DEL PRODUCTO TERMINADO

En los procesos post-fermentativos se eliminarán una serie de impurezas que, de estar presentes en el producto final, disminuirían la calidad de ácido cítrico obtenido. Todos estos procesos han sido dirigidos hasta alcanzar un determinado "setpoint", en caso de fluctuaciones se habrá de modificar el sistema para que la respuesta sea lo más parecida a los requerimientos de salida, y así facilitar el trabajo del resto de unidades.

Una vez obtenido el producto final y antes de proceder a su embalaje se realizarán una última medida de ciertos parámetros en el laboratorio.

- Humedad.
- Residuo seco.
- Pureza.
- Aspecto y textura mediante inspección visual.
- Metales pesados.
- Olor y color mediante inspección visual.

Finalmente se rellenará automáticamente con el programa Microsoft Excel una tabla a partir de los datos obtenidos en las mediciones, almacenándose ésta en el ordenador central de cara a tener los valores históricos, así como una copia impresa en el almacén junto a las existencias al alcance de los consumidores.

Este control histórico no debe entenderse bajo ningún concepto como fuente de coste ya que va a suponer un ejemplo de la mejora continua buscada, se podrá estudiar como la producción aumenta tanto en cantidad como en calidad conforme pasa el tiempo debido al conocimiento del proceso real y no de acuerdo con los datos cinéticos encontrados en la bibliografía.

## 16. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se van a identificar los residuos producidos en la planta y se darán directrices para su minimización o su valorización de manera que se perjudique lo menos posible el medio ambiente.

### 16.1. RESIDUOS SÓLIDOS

Entre los residuos sólidos se encuentra envases de cartón y plástico que se tratarán como residuos sólidos urbanos. También pueden considerarse residuos sólidos los aceites usados por la maquinaria, que se entregaran a terceros para su adecuada disposición. La caldera en principio no generará residuos sólidos al trabajar con gas.

Pero el principal residuo sólido producido va a ser el sulfato cálcico o yeso proveniente de la descomposición del citrato cálcico. Como ya se indicó en otro apartado este residuo puede utilizarse como aglomerante y relleno en la industria de la construcción y como filtrante en la industria de la alimentación, por lo que se intentará valorizar vendiéndolo como subproducto. El yeso será almacenado en unos depósitos en espera de su venta o, en el caso más desfavorable, su traslado para su tratamiento y posterior deshecho.

## 16.2. EMISIONES GASEOSAS

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) son generadas principalmente como subproductos del proceso de fermentación. Los dos principales COVs son el etanol y el acetaldehído. Otros subproductos son alcoholes como butanol, alcohol isopropilo, 2,3-butanodiol, ácidos orgánicos y acetatos. Aproximadamente entre el 80% y 90% del total de las emisiones de COVs es etanol y de 10% al 20% consiste en otros alcoholes y acetaldehído. El acetaldehído se considera como un contaminante muy peligroso para la atmósfera.

Los subproductos volátiles se pueden formar como resultado del exceso de azúcar (melazas) presente en el fermentador y como consecuencia de un suministro insuficiente de oxígeno. Bajo estas condiciones ocurre una fermentación anaerobia utilizándose el exceso de azúcar en la producción de alcohol y dióxido de carbono, de esta forma aumenta la generación de alcohol disminuyendo el rendimiento de formación de biomasa. Es vital suprimir la formación de etanol en las últimas etapas de fermentación alimentando a los fermentadores con suficiente oxígeno.

Durante las primeras horas de fermentación tendrá lugar la reacción:

1 mol glucosa + 1,50 mol oxígeno → 3,81 g de biomasa + 0,62 moles ácido cítrico + 0,72 moles CO<sub>2</sub> + 0,73 moles de polialcoholes

Durante la fase intermedia de fermentación:

1 mol glucosa + 2,40 mol oxígeno → 1,54 g de biomasa + 0,74 moles ácido cítrico + 1,33 moles CO<sub>2</sub> + 0,05 moles de polialcoholes

En la fase final de la fermentación se dará la reacción:

1 mol glucosa + 3,91 mol oxígeno + 0,42 moles de polialcoholes → 0,86 moles ácido cítrico + 2,41 moles CO<sub>2</sub>

La velocidad de formación de alcoholes es más alta en las primeras etapas de la fermentación ya que en ellas hay un exceso de azúcar y menor

aireación. En los procesos industriales se realiza un control en la etapa intermedia porque es ahí donde la producción es cuantitativamente mayor.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles se pueden prevenir o reducir, evitando la producción de etanol, con un estricto control del proceso. Este control puede incluir las siguientes medidas:

- Mediante un adecuado control de calidad, calcular la composición de azúcares de las melazas diluyéndolas y evitando el exceso de azúcar.
- Suministrar suficiente oxígeno a los fermentadores para optimizar el contenido de oxígeno disuelto en el medio.
- Diseño y operación del sistema de aireación y agitación mecánica del fermentador para que la distribución del oxígeno sea la óptima.
- Implantar un sistema de monitorización y un control de retroalimentación. Este sistema permite calcular, mediante un ordenador, los requerimientos de melaza del proceso y la adición justa de agua necesaria. Si bien es un sistema de muy difícil diseño e implementación, permite reducir la formación de etanol desde un 75% a un 95%.

### 16.3. VERTIDOS LÍQUIDOS

En primer lugar, las aguas de refrigeración, las de lavado y desinfección de maquinaria y las de uso sanitario se evacuarán a la red de alcantarillado.

Un efluente de gran volumen que se obtendrá como subproducto es el licor madre que sale del cristalizador, con un porcentaje de ácido cítrico del orden de 30% y que no puede usarse para cristalización debido a que las impurezas se incrustarían en los cristales y éstos crecerían de manera irregular. Con esta corriente se pueden tomar diversas acciones:

1. La mejor opción sería vender como producto esta disolución ya puede ser usada como cohesionante en la industria alimentaria. Existen en el mercado disoluciones comerciales de ácido cítrico concentrado entre un 20% y un 50%. Esta posible venta dependerá del mercado.
2. Otra opción empleada industrialmente es la recirculación de esta corriente a la etapa de lechada o de intercambio iónico, tratando así de aumentar la concentración de ácido cítrico y mejorar el rendimiento de estas etapas, sin embargo, esta práctica también supone un incremento de coste tanto en materia prima (más cal y sulfúrico principalmente y, por lo tanto, más yeso a desechar) como en energía (en evaporación y cristalización) y tiempo.
3. Esta corriente posee una carga contaminante alta, por lo que desecharla supondría tener que utilizar un tratamiento adecuado para rebajar esta carga contaminante antes de proceder a su desecho, lo que supondría un gasto extra para la planta.

El efluente con más carga contaminante, sin embargo, es el licor post-fermentativo. Tras la separación del micelio se produce la lechada de cal y se separa el citrato cálcico sólido, la fase líquida que queda tras la separación estará compuesta principalmente por agua, entre un 1% y 0,50% de sacarosa sin consumir, hasta un 0,50% de ácido cítrico no separado, polialcoholes y otras sustancias producidas durante la fermentación, con una carga contaminante baja

pero que debe ser tratada al contener una DQO moderada y compuestos con nitrógeno, fosforo y sulfatos.

Se adoptarán las siguientes medidas para prevenir o minimizar estos residuos líquidos:

- Segregación de los residuos líquidos muy concentrados de las aguas de refrigeración y las domésticas.
- Se recircularán las aguas utilizadas para refrigeración.
- Separar las aguas de lluvia de las descargas de residuos líquidos.
- Aprovechar al máximo la melaza.
- Reducción de las pérdidas de producto en la línea de proceso implementando un programa de mantenimiento de válvulas, bombas, etc.
- Antes de limpiar realizar una limpieza en seco en la medida de lo posible.
- Minimizar el consumo de agua para limpieza usando sistemas de alto rendimiento.

Otro efluente que debe tenerse en cuenta es el propio licor fermentativo poco fermentado o a medio fermentar; debido a que puede darse un mal proceso y tener que eliminar todo el volumen de reactor por algún fallo en el crecimiento microbiano, al tener la producción dividida en varios fermentadores las consecuencias de este fallo y el problema que acarrea la disposición de este efluente será menor.

Para el tratamiento de los efluentes habría que diseñar un proceso con digestores anaeróbicos seguido de un tratamiento aerobio para eliminar entre un 70% a 80% de la demanda química de oxígeno (DQO) lo que produciría, además, un biogás útil para producir energía. En este proyecto no se va a entrar en el

diseño de este tratamiento y se tomará la opción de enviar el residuo a terceros para que sea tratado adecuadamente.

## 16.4. OTROS IMPACTOS

### 16.4.1. RUIDOS Y VIBRACIONES

El estudio del ruido ya ha sido abordado en el apartado seguridad por considerarlo un factor que afecta a la salud del trabajador, en cuanto a terceras personas, al estar la planta en un suelo industrial y no en plena ciudad, los límites de contaminación sonora serán menos estrictos.

### 16.4.2. IMPACTO VISUAL

Para reducir el impacto visual de la planta, una vez instalada esta se plantarán árboles y setos en las inmediaciones.

## 16.5. IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

Para que las empresas sean realmente eficaces en su comportamiento ambiental, las acciones deben ser conducidas dentro de un sistema de gestión estructurado e integrado a la actividad general de gestión de la organización, con el objeto de que ayude al cumplimiento de sus metas ambientales y económicas en base a la mejora continua.

A nivel internacional la norma ISO 14.000 regula la gestión ambiental dentro de la empresa en lo que respecta a la implementación de un sistema de gestión ambiental y auditorías ambientales a las que se someta la empresa, entre otros.

De forma particular, la norma ISO 14.001 "Sistemas de Gestión Ambiental" especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental. Esto es aplicable a cualquier organización que desee:

- Mejorar la calidad de procesos y productos aumentando la eficiencia.
- Disminuir los costes del producto con un uso más eficiente de la energía y de los recursos.
- Aumento de la competitividad.
- Acceso a nuevos mercados.
- Reducción de riesgos.
- Mejora de las condiciones laborales y de la salud ocupacional.
- Mejora de las relaciones con la comunidad, autoridades y otras empresas.

La implementación de un sistema de gestión ambiental permitirá a la empresa anticiparse a las regulaciones ambientales más estrictas permitiendo que el ajuste a la nueva realidad legislativa se realice de manera gradual y mediante cambios en los procesos de producción en vez de recurrir a grandes inversiones en plantas de tratamiento de residuos.

## 17. EMPLEADOS Y TURNOS DE TRABAJO

Las personas que dirigirán la planta cubrirán los puestos técnicos, entre ellos se debe contar con:

- Director general
- Ingeniero de proceso
- Químico
- Responsable de calidad, seguridad y medio ambiente

El turno de trabajo para estos empleados será de 8:00 a 17:00 con una hora para comer. El director general deberá estar siempre localizable.

El segundo puesto en importancia lo ostentan especialistas que se ocuparán de trabajos que requieren formación muy específica:

- Técnico de laboratorio
- Electricista
- Fontanero
- Soldador
- Técnico de control e instrumentación
- Encargado de abastecimiento y almacén

En este caso se establecerán tres turnos de trabajo rotativos, el primer turno será de 8:00 a 16:00, el segundo de 16:00 a 24:00 y el tercero de 24:00 a 8:00. Excepción a este caso será el técnico de laboratorio y el encargado de abastecimiento con un turno idéntico al del personal técnico.

El personal administrativo se encargará de tareas no relacionadas con el proceso pero que son imprescindibles para la planta:

- Administrativo de gestión, compra y venta
- Contable

- Secretario

En cuanto a los operarios, se dispondrá de 1 operario por cada operación en la planta, exceptuando los fermentadores, para los que habrá 4 operarios, esto, claro, para cada turno de trabajo. Todos estos operarios estarán al mando de un capataz en cada turno de trabajo. Su turno de trabajo es idéntico al de los especialistas.

Por último, se contratarán dos empleados para labores de limpieza con un único turno de tres horas por la tarde de 20:00 a 23:00.

## 18. ESTRUCTURAS AUXILIARES

### 18.1. ESTRUCTURA METÁLICA AUXILIAR

Para conseguir la mayor comodidad de operación en la planta se optará por la instalación de una estructura metálica anexa a los fermentadores con barandillas para evitar accidentes. Esta estructura estará conectada a un montacargas para evitar posibles lesiones al subir o bajar cargas a la planta superior.

La otra opción barajada es construir diversas plantas en ladrillo y cemento modificando las alturas para que coincidan con las alturas necesarias para la operación en planta pero se optará por una estructura auxiliar realizada en perfiles metálicos al ser menos complicado de realizar.

Esta estructura metálica será encargada a medida a una empresa del sector pudiendo modificar sus dimensiones escuchando ofertas. Se divide la estructura en tres plantas:

- Planta baja: Altura a la que puede llegar un operario sin necesidad de elevación. En esta planta se accederá a las conexiones de descarga.
- Primera planta: Cuerpo intermedio de la unidad de fermentación.
- Segunda planta: Parte superior de los fermentadores, en esta planta es donde se sitúan los diversos instrumentos de medición, actuación así como las tuberías y accesorios para la carga de los fermentadores.

Estas plantas estarán anexas a los fermentadores ya que las alturas de la mayoría del resto de unidades permiten su manejo desde el suelo por lo que no será necesario el uso de una estructura metálica especial lejos de esta zona.

La estructura debe poder soportar el peso de 10 personas y de dos tolvas de 1.000 kilos a la vez por lo que debe aguantar una carga de 2.900 kg. Nunca va a soportar todo este peso pero deberá ser capaz con un coeficiente de seguridad del 35%.

El suelo de las plataformas deberá ser antideslizante para evitar caídas y cada planta tener una barandilla de protección para disminuir el riesgo de que se produzcan caídas. También deberán tener redes anti-caídas de objetos y personas, se escogerán en primer lugar medidas de protección de uso colectivo antes que arneses u otras de tipo individual. La primera planta llegará a 3 metros desde el suelo y la segunda planta a 7 metros desde el suelo.

Cada planta constará de un corredor principal que conducirá a los accesos a cada fermentador para facilitar la operación del equipo por distintos puntos. El corredor central será de 21,7 x 1,2 metros y cada una de los accesos será de 4,0 x 1,2 metros. Tanto los accesos como el corredor central constarán de barandillas a 1,25 metros de altura.

Las dos plantas superiores serán simétricas permitiendo dos accesos a escaleras en cada uno de los laterales y en un punto frontal permitirá el acceso desde un montacargas a ambas plantas.

## 18.2 MONTACARGAS

La finalidad de esta unidad es la de subir o bajar cargas pesadas de más de 20 kg a cualquiera de las plantas así como posibilitar la subida o bajada en caso de accidente. Para el cálculo de esta unidad se ha tenido en cuenta el peso de los distintos materiales: garrafas, tolvas, tuberías, etc. que puedan usarlo así como el acompañamiento humano en cada viaje de la unidad.

La masa de los reactivos junto al material que los contenga en cada ciclo fermentativo no sobrepasará los 500 kg y tomando 90 kg como peso medio por persona, en el caso hipotético de haber 5 personas en el montacargas junto con este reactivo, el peso total a transportar será de 950 kg, por lo que será necesario un montacargas que sea capaz de elevar hasta una altura de 8,5 metros una masa de 1.000 kilogramos.

El montacargas deberá ser de dimensiones estándar, por ser estos mucho más baratos que los fabricados a medida. Sus dimensiones han de ser mayores de 1 x 1 m, ya que ha de facilitar la subida de personas y tolvas o garrafas para cargar los fermentadores, material diverso para realizar funciones de mantenimiento, etc.

Por razones de seguridad se dispondrá de un sistema de doble puerta, cerrado o con barandilla de sujeción para evitar caídas y con un sistema de alarma acústica y luminosa para avisar de su movimiento.

## 19. TRANSPORTE EN PLANTA

Los distintos compuestos que se manejan en la planta han de ser transportados de una unidad a otra, por lo que se requieren ciertos métodos de transporte adecuados para llevar estos compuestos de un sitio a otro con rapidez y con la mínima mano de obra posible. En la planta la mayoría de los compuestos que se tratan están en fase líquida, aunque también hay un apreciable volumen de sólidos por lo que se dispondrá de un sistema de transporte para ambos.

### CINTAS TRANSPORTADORAS

Una cinta transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos tambores. La banda es arrastrada por fricción por uno de los tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores.

Debido a su movimiento, el material depositado sobre la banda es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad.

Las cintas transportadoras que se van a utilizar en planta serán las siguientes:

- La primera cinta se sitúa tras el filtrado de la melaza y recogerá la torta sólida formada por las impurezas de ésta, la cinta transportará el sólido hasta el depósito de almacenaje.
- La segunda cinta está situada en la etapa de separación del micelio y recogerá la torta formada por éste procedente filtro rotatorio a vacío con precapa y la conducirá hacia su respectivo depósito.

- La tercera cinta será la más corta ya que, en este caso, se trata de transportar el citrato cálcico separado tras la lechada del equipo de filtrado a vacío hasta el reactor donde será descompuesto.
- La cinta que transporta el sulfato cálcico es la que mayor volumen de sólidos va a manejar, ya que va a llevar el yeso en forma de torta desde el filtro de banda hasta su depósito.
- Por último, la cinta transportadora que comunica la salida de los equipos de centrifugado con el secador. Esta cinta deberá estar cubierta lateralmente para evitar pérdidas de producto, ya que, al estar seco y tener pequeño tamaño de partícula, puede escaparse de la cinta.

Las cintas transportadoras serán encargadas generalmente a la misma empresa que suministra el equipo predecesor para que sean de construcción y configuración adecuada al equipo del cual reciben los sólidos.

## TUBERÍAS

Consistirán en una serie de tubos normalizados que forman un camino, llevando los fluidos de un punto a otro de la planta. Las uniones entre tramos serán soldadas para evitar las pérdidas todo lo posible.

Se buscará la mínima longitud de tubería necesaria y el menor número de accesorios posibles para disminuir el coste de material y reducir también el coste de bombeo al tener la menor pérdida de carga o caídas de presión.

Los tamaños y espesores de tuberías se encuentran normalizados según el Código de Tuberías a Presión y la norma ISO/R7. Se ha optado por utilizar el mismo diámetro de tubería en toda la planta para disminuir el uso de accesorios y para abaratar y facilitar el mantenimiento. El material de construcción de la tubería de forma general será acero inoxidable, excepto para los casos donde se indique otro material.

Habrá que tener en cuenta que las unidades podrían tener diámetros de entrada o salida diferentes al de la tubería elegida, teniendo en estos casos que usar un diámetro diferente.

## TRANSPORTE MANUAL

Para el transporte de compuestos manualmente, como es el caso del inóculo o de los nutrientes del proceso fermentativo se usarán transpaletas y tolvas neumáticas que facilitarán el proceso evitando que los operarios tengan que trabajar con pesos excesivos.

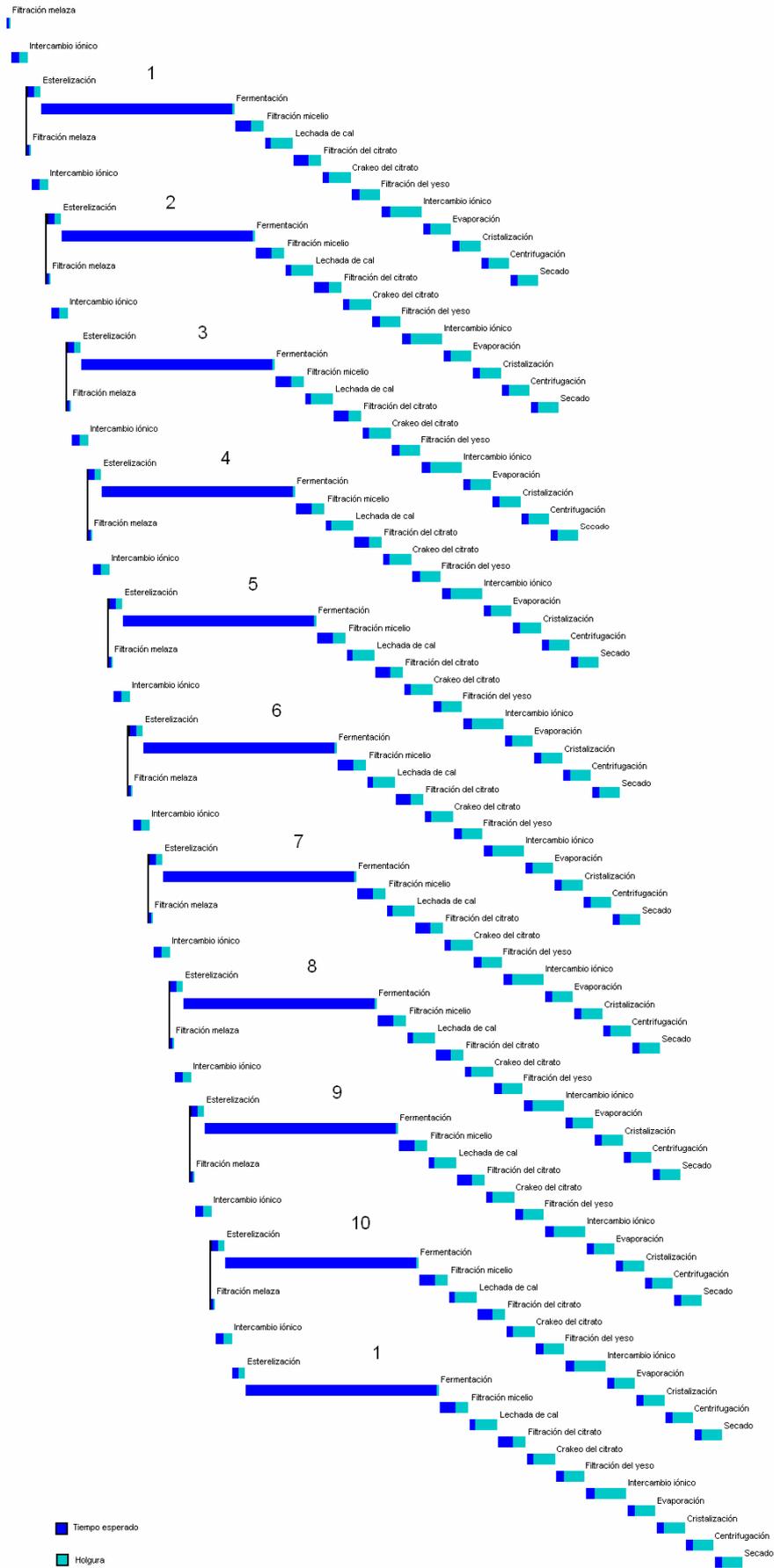
## 20. RÉGIMEN DE FABRICACIÓN

El proceso de producción se ha dividido en 10 fermentadores, cada uno de ellos tendrá un ciclo fermentativo de 144 a 146 horas que es el tiempo ideal para las condiciones de operación elegidas. Los ciclos de cada fermentador estarán espaciados entre sí de 24 a 22 horas, no trabajarán a la vez, aunque los equipos de post-fermentación están preparados para absorber una producción mayor que la de un fermentador, ya que gozan de suficiente holgura entre el procesado de un lote y otro.

Los procesos pre-fermentativos deben de realizarse en menos de 22 horas, ya que es el tiempo estipulado entre una etapa fermentativa y otra para procesos de preparación. Tras la fermentación, los lotes pueden tratarse con mayor holgura, ya que éstos están separados 22 horas y el tiempo de tratamiento en las unidades post-fermentativas no superará, en el peor de los casos, las 12 horas.

Aunque el proceso es básicamente discontinuo, las unidades que no son reactores trabajarán en continuo, por lo que tendrán tiempos de trabajo y de parada y producirán un flujo continuo de producto que generalmente alimentará a un reactor, excepto para las últimas etapas en las que se agrupan varios procesos continuos que trabajarán simultáneamente, siendo el tiempo de retención, en este caso, el evaluado para estas etapas. La holgura, en este caso, se puede considerar tanto un inicio tardío del funcionamiento de la unidad, como el funcionamiento a un caudal menor al de diseño para el tiempo normal de funcionamiento.

A continuación se expone el diagrama de Gantt referido a las unidades principales del proceso.



## 21. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OBRAS.

La construcción y puesta en marcha de la planta ha de ser dividida en una serie de trabajos individuales conectados entre sí mediante los recursos y el tiempo.

Para gastar el mínimo de recursos y tiempo y obtener una planificación óptima se recurre a técnicas de programación lineal, estas técnicas descomponen los trabajos en trabajos unitarios y revelan las relaciones existentes entre ellos para luego poder planificar adecuadamente el orden de los trabajos a realizar.

Los métodos de programación lineal más conocidos son el diagrama de Gantt y el P.E.R.T., estos métodos permitirán obtener la holgura o tiempo que se puede retrasar una actividad y el camino crítico, aquel formado por las actividades sin holgura que, si se prolongan, retrasan la conclusión del proyecto.

El diagrama dibujado puede resultar muy complejo debido al gran número de tareas en el que se pueden dividir los trabajos, por ello, se han agrupado ciertas tareas en una sola, se han omitido tareas menores con un tiempo inferior al obtenido y se han añadido los tiempos de espera al tiempo total de realización, todo ello para facilitar la interpretación de los diagramas dibujados.

A continuación se muestra una tabla con las actividades de la obra y los datos obtenidos a partir de los diagramas realizados. En el apartado de planos se encuentran los gráficos de planificación realizados, que no se incluyen aquí por su tamaño.

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Memoria descriptiva

	Nombre de tarea	Duración	Dur. optimista	Dur. esperada	Dur. pesimista	Predecesoras	Demora de comienzo	Demora de fin	Demora permisible	Tareas críticas	
1	Excavado 1ª mitad de la zanja	8 días?	7 días	8 días	9 días		52	28,5 días?	28,5 días?	0 días?	No
2	Excavado 2ª mitad de la zanja	5,17 días?	4 días	5 días	7 días		1	28,5 días?	28,5 días?	0 días?	No
3	Hormigonado 1ª mitad de la valla	2,17 días?	2 días	2 días	3 días		1	31,5 días?	31,5 días?	3 días?	No
4	Hormigonado 2ª mitad de la valla	5 días?	3 días	5 días	7 días		2,3	28,5 días?	28,5 días?	28,5 días?	No
5	Excavación losas de cimentación	9,83 días?	8 días	10 días	11 días		52	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
6	Hormigonado de losas cimentación externas	12,17 días?	10 días	12 días	15 días		5	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
7	Hormigonado losas de cimentación internas	12,17 días?	10 días	12 días	15 días		8	7 días?	7 días?	0 días?	No
8	Hormigonado de losas de caseta y planta	3 días?	2 días	3 días	4 días		52	7 días?	7 días?	0 días?	No
9	Construcción cubierta de la caseta	6 días?	5 días	6 días	7 días		8	17,67 días?	17,67 días?	0 días?	No
10	Construcción de muros de la caseta	7 días?	5 días	7 días	9 días		9	27,5 días?	27,5 días?	0 días?	No
11	Montaje de la cubierta	3 días?	1 día	3 días	5 días		9	34,67 días?	34,67 días?	34,67 días?	No
12	Instalación de puertas, ventanas, conexionado eléctrico	5,17 días?	4 días	5 días	7 días		10	27,5 días?	27,5 días?	27,5 días?	No
13	Pedido de componentes y petición de proyectos	1 día?	1 día	1 día	1 día		52	12 días?	12 días?	0 días?	No
14	Pedido de unidades	1 día?	1 día	1 día	1 día		52	3,33 días?	3,33 días?	0 días?	No
15	Plazo de entrega de Fermtadores	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		13	12 días?	12 días?	0 días?	No
16	Plazo de entrega de depósitos de cal y sulfúrico	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	8 días?	8 días?	3,33 días?	No
17	Plazo de entrega de depósitos de melaza y agua	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	3,33 días?	3,33 días?	3,33 días?	No
18	Plazo de entrega de componentes de la línea de aire	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	8 días?	8 días?	0 días?	No
19	Plazo de entrega de las unidades de centrifugado	7 días?	4 días	7 días	10 días		13	24,5 días?	24,5 días?	7,17 días?	No
20	Plazo de entrega de bombas	7 días?	4 días	7 días	10 días		13	19,67 días?	19,67 días?	14 días?	No
21	Plazo de entrega de tuberías y accesorios de tubería	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	9 días?	9 días?	3,33 días?	No
22	Plazo de entrega fermentadores de laboratorio	7 días?	4 días	7 días	10 días		13	37,5 días?	37,5 días?	0 días?	No
23	Plazo de entrega de columnas de intercambio y carbón	8,33 días?	6 días	8 días	12 días		13	35,33 días?	35,33 días?	5,83 días?	No
24	Plazo de entrega de reactores de lechada y craqueo	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	3,5 días?	3,5 días?	3,33 días?	No
25	Plazo de entrega de evaporadores	7,67 días?	4 días	8 días	10 días		13	22,67 días?	22,67 días?	6,5 días?	No
26	Plazo de entrega de calderas	7,17 días?	5 días	7 días	10 días		13	37,5 días?	37,5 días?	0 días?	No
27	Plazo de entrega de unidad de secado	8,83 días?	6 días	8 días	15 días		13	34,83 días?	34,83 días?	0 días?	No
28	Plazo de entrega unidad de empaquetado	8,83 días?	6 días	8 días	15 días		13	34,83 días?	34,83 días?	0 días?	No
29	Plazo de entrega de componentes de las estructuras metálicas	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	24 días?	24 días?	12 días?	No
30	Plazo de entrega de equipos de filtración	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	8 días?	8 días?	7,83 días?	No
31	Plazo de entrega de unidad de cristalización	17,67 días?	10 días	18 días	24 días		14	5 días?	5 días?	0 días?	No
32	Plazo de entrega de accesorios diversos	7 días?	4 días	7 días	10 días		13	19,67 días?	19,67 días?	14 días?	No
33	Montaje de depósitos de agua y melaza	12,67 días?	10 días	12 días	18 días		6,17	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
34	Montaje de depósitos de cal y sulfúrico	8 días?	6 días	8 días	10 días		6,16	4,67 días?	4,67 días?	4,67 días?	No
35	Montaje de la red de tuberías	7 días?	5 días	7 días	9 días		20,32;21,6,7	5,67 días?	5,67 días?	5,67 días?	No
36	Montaje de los reactores de lechada y craqueo	4,5 días?	3 días	4 días	8 días		6,7,24	0,17 días?	0,17 días?	0 días?	No
37	Montaje de las estructuras metálicas	4 días?	2 días	4 días	6 días		29,41	12 días?	12 días?	12 días?	No
38	Montaje de los equipos de filtración	8 días?	4 días	8 días	12 días		36,30	0,17 días?	0,17 días?	0,17 días?	No
39	Montaje de la unidad de cristalización	11 días?	7 días	11 días	15 días		7,31	5 días?	5 días?	5 días?	No
40	Montaje de la línea de aire	8 días?	4 días	8 días	12 días		9,18	8 días?	8 días?	8 días?	No
41	Montaje de los fermentadores	12 días?	9 días	12 días	15 días		7,15	12 días?	12 días?	0 días?	No
42	Montaje de las unidades de centrifugación	2,17 días?	2 días	2 días	3 días		7,19	17,33 días?	17,33 días?	17,33 días?	No
43	Montaje de los fermentadores de laboratorio	1,17 días?	1 día	1 día	2 días		22	37,5 días?	37,5 días?	37,5 días?	No
44	Montaje de los evaporadores	3,33 días?	2 días	3 días	6 días		7,25	16,17 días?	16,17 días?	16,17 días?	No
45	Montaje de las calderas	1 día?	1 día	1 día	1 día		26	37,5 días?	37,5 días?	37,5 días?	No
46	Montaje de las columnas de intercambio y carbón	2 días?	1 día	2 días	3 días		7,23	29,5 días?	29,5 días?	29,5 días?	No
47	Montaje de la unidad de secado	2 días?	1 día	2 días	3 días		27	34,83 días?	34,83 días?	34,83 días?	No
48	Montaje de la unidad de empaquetado	2 días?	1 día	2 días	3 días		28	34,83 días?	34,83 días?	34,83 días?	No
49	Conexionado de unidades a la red de tuberías	12 días?	9 días	12 días	15 días		35;42;7;38;39;44;33;34;40	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
50	Conexionado de unidades a la red eléctrica	1 día?	1 día	1 día	1 día		4;10;11;47;48;43;45;46;49;37	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
51	Entrega de la planta	1 día?	1 día	1 día	1 día		50	0 días?	0 días?	0 días?	Sí
52	Revisión de documentos	1 día?	1 día	1 día	1 día			0 días?	0 días?	0 días?	Sí

## 22. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se muestran los costes asociados al proyecto que no están reflejados en el presupuesto de construcción como son costes de materia prima, energía, sueldos...

Se estima como vida útil de la planta un tiempo de 20 años, una vez pasado este tiempo se debe de sopesar el mantener abierta la planta, reformarla o cerrarla.

Concepto	Cantidad por ciclo	Cantidad anual	Coste unitario	Coste anual	Coste vida de planta
Melaza	224 kg	9.633 kg	0,14 €	1.348.585 €	26.971.700 €
Agua	477 m <sup>3</sup>	20.511 m <sup>3</sup>	0,21 €/m <sup>3</sup>	4.308 €	86.160 €
Cal	56.980 kg	2.450.140 kg	0,30 €/kg	735.042 €	14.700.840 €
A. Sulfúrico	74.812 kg	3.216.916 kg	0,45 €/kg	1.447.613 €	28.952.260 €
Electricidad	6.845 kW	294.335 kW	0,14 €/kW	41.207 €	824.140 €
Otras m.p.	450 kg	19.350 kg	5 €/kg	96.750 €	1.935.000 €
Asociado al proceso	-	-	0,3 €/kg producido	1.109.400 €	22.188.000 €
Mobiliario	-	-	-	7.500 €	150.000 €
Sistemas de protección	-	-	-	45.000 €	900.000 €
Mantenimiento	-	-	-	20.000 €	400.000 €
Seguridad	-	-	-	3.000 €	60.000 €
Sueldo gerentes (2)	-	14	3.200 €	89.600 €	1.792.000 €
Sueldo técnicos (11)	-	14	2.600 €	400.400 €	8.008.000 €
Sueldo operarios (18)	-	14	2.000 €	504.000 €	10.080.000 €
Seguros	-	-	-	99.400 €	1.988.000 €
Contratas	-	-	-	100.000 €	2.000.000 €
Imprevistos	-	-	-	250.000 €	5.000.000 €
Gestión	-	-	-	10.000 €	200.000 €
Const. Planta	-	-	-	-	5.580.305 €
Ácido cítrico	93.000 kg	3.999.000 kg	2 €/kg	7.998.000 €	159.960.000 €
Venta usados	-	-	-	-	530.000 €
Venta parcela	-	-	92,15 €/m <sup>2</sup>	-	552.900 €
Total beneficio:	-	-	-	-	30.154.779 €

Para el estudio se ha tenido en cuenta el precio más bajo del mercado de ácido cítrico encontrado (el procedente de China).

La inversión necesaria es de 5.580.305 €; cinco millones quinientos ochenta mil trescientos cinco euros. El beneficio bruto obtenido tras veinte años será de 161.042.900 €; ciento sesenta y un millones cuarenta y dos mil novecientos euros, con un coste total de funcionamiento de 131.816.405 €; ciento treinta y un millones ochocientos dieciséis mil cuatrocientos cinco euros, por tanto el beneficio neto asciende a 29.226.495 €; veintinueve millones doscientos veintiséis mil cuatrocientos noventa y cinco euros

En este estudio no se ha tenido en cuenta ni la valorización de los subproductos ni el coste de tratamiento de los residuos principales de la planta. Se ha reflejado así porque se puede dar el caso de que algunos o todos los subproductos se conviertan en residuos. El caso más favorable se muestra a continuación.

Concepto	Cantidad por ciclo	Cantidad anual	Coste unitario	Coste anual	Coste vida de planta
Impurezas melaza	22.400 kg	963.200 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-1.930 €	-38.600 €
Micelio	11.000 kg	473.000 kg	0,50 €/kg	236.500 €	4.730.000 €
Yeso	110.000 kg	4.730.000 kg	85,78 €/m <sup>3</sup>	245.903 €	4.918.060 €
Licor madre (47% A.C.)	33.690 kg	1.448.670 kg	0,50 €/kg	724.335 €	14.486.700 €
Licor post-fermentativo	53.409 kg	2.296.587 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-9.168 €	-183.360 €
Total				1.195.640 €	23.912.800 €

En el caso más desfavorable:

Concepto	Cantidad por ciclo	Cantidad anual	Coste unitario	Coste anual	Coste vida de planta
Impurezas melaza	22.400 kg	963.200 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-1.930 €	-38.600 €
Micelio	11.000 kg	473.000 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-1.352 €	-27.040 €
Yeso	110.000 kg	4.730.000 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-11.825 €	-236.500 €
Licor madre (47% A.C.)	33.690 kg	1.448.670 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-5.681 €	-113.620 €
Licor post-fermentativo	53.409 kg	2.296.587 kg	-4 €/m <sup>3</sup>	-9.188 €	-183.360 €
Total				-29.976 €	-599.520 €

Según estos cálculos el beneficio de la planta puede oscilar entre los 53.139.295 €; cincuenta y tres millones ciento treinta y nueve mil doscientos

noventa y cinco euros; y los 28.626.975 €; veintiocho millones seiscientos veintiséis mil novecientos setenta y cinco euros.

Las anteriores cifras de beneficio no tienen en cuenta el valor que el dinero va perdiendo con el paso del tiempo ni la depreciación que van sufriendo los activos fijos con el paso de los años, por lo que para una correcta evaluación económica se hace necesario evaluar otro tipo de cifras.

Los costes asociados al proceso que aparecen en el estudio se deben al coste de etiquetas, envases, cajas, tintas, etc. A priori son difícilmente cuantificables por lo que se ha optado por asignar una partida fija en función de la producción de la planta aunque serán mucho menores a los estipulados.

En el apartado de mobiliario se incluye muebles de oficina, ordenadores, sanitarios, lavabos, etc. Se ha previsto al menos una remodelación de todo el mobiliario en la vida útil de la planta.

El coste indicado de mantenimiento incluye tanto el alumbrado como cables y otros recambios eléctricos como cambios por roturas de algún mobiliario, pinturas, herramientas, etc.

El coste de sistemas de protección incluye extintores, bocas de incendio, E.P.I., etc... así como su mantenimiento, que debe ser realizado por una empresa especializada.

La partida de seguridad se utilizará para la señalización, información y formación del personal en seguridad e higiene, según la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Para la limpieza y labores de vigilancia se requerirá de contratistas externas.

Por último se dispone de una partida anual para imprevistos o costes mal evaluados.

Transcurrida la vida útil de la planta, en principio, se venderá el terreno (con cargo de demolición y limpieza al comprador) y los equipos usados se venderán como segunda mano.

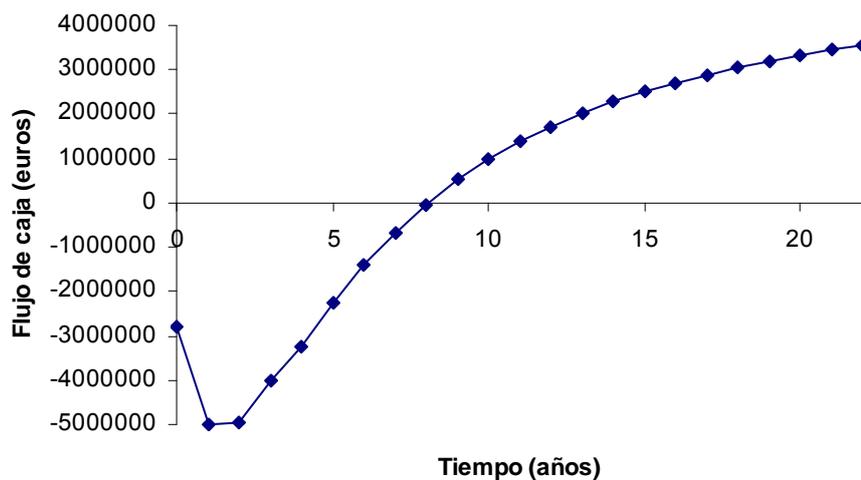
Para terminar se evaluará económicamente el proyecto conforme al método del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno transcurrida la vida útil de la planta. Para este fin se considerará un periodo de inversión y construcción de la planta de 2 años seguidos de 20 años de funcionamiento. El interés monetario que se utilizará será de 12%, se utilizará una tasa de impuestos de un 25% (en España el impuesto sobre el beneficio contable varía entre un 35% y 25%). Se considerará un periodo de depreciación de 10 años con una tasa fija de depreciación en base amortizable decreciente, quedando un valor residual de la planta de 1.082.900 €. Se asume también un periodo de introducción en el mercado en los cuales la producción y ventas del primer año serán de solo un 50% de la capacidad operativa de la planta y un 75% los dos siguientes.

Tiempo (años)	Depreciación (€)	Ingresos (€)	Costes de producción (€)	Beneficio contable (€)	Flujo de caja acumulado (€)
0				-2.790.152,50	-2.790.150,50
1				-2.790.152,50	-4.982.415,18
2		3.999.000	3.920.353	58.985,25	-4.935.392,50
3	817.710	5.998.500	5.116.079	1.275.098,25	-4.027.849,26
4	735.939	5.998.500	5.116.079	1.213.770,00	-3.256.712,03
5	654.168	7.998.000	6.311.805	1.755.272,25	-2.260.530,28
6	572.397	7.998.000	6.311.805	1.693.944,00	-1.402.325,53
7	490.626	7.998.000	6.311.805	1.632.615,75	-663.813,08
8	408.855	7.998.000	6.311.805	1.571.287,50	-29.196,41
9	327.084	7.998.000	6.311.805	1.509.959,25	515.310,03
10	245.313	7.998.000	6.311.805	1.448.631,00	981.730,45
11	163.542	7.998.000	6.311.805	1.387.302,75	1.380.546,84
12	81.771	7.998.000	6.311.805	1.325.974,50	1.720.891,46
13		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	2.010.715,74
14		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	2.269.487,42
15		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	2.500.533,56
16		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	2.706.824,76
17		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	2.891.013,33
18		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	3.055.467,41
19		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	3.202.301,41
20		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	3.333.403,20
21		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	3.450.458,36
22		7.998.000	6.311.805	1.264.646,25	3.554.971,90

El beneficio contable se calcula sumando ingresos y depreciación y restando costes de producción, aplicando posteriormente los impuestos; mientras que el flujo de caja acumulado se halla sumando el valor del flujo anterior y el resultado de dividir el beneficio contable entre el interés elevado al número de años (definición de Valor Actual Neto). La Tasa Interna de Retorno se calcula como el interés que hace que el Valor Actual Neto valga cero.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Donde I es el desembolso inicial,  $Q_n$  los flujos de caja y N el número de períodos considerados. Representando flujos de caja frente a tiempo se obtiene la siguiente gráfica:



El Valor Actual Neto (VAN) es de 3.554.971,90. La Tasa Interna de Retorno toma un valor de 4,65%.

A la vista de esta evaluación económica y los resultados obtenidos por los criterios de evaluación elegidos, el proyecto resulta suficientemente rentable como para que su ejecución sea considerada.

## 23. BIBLIOGRAFÍA

- P.W. ALLEN, "Industrial Fermentation", J.J. Little and Ives Company, 1926
- B. SONNLEITNER, "Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology", Volumen 66: "Bioanalysis and Biosensors for Bioprocess Monitoring", Springer, 1999
- G.D. NAJAFPOUR, "Biochemical Engineering and Biotechnology", Elsevier, 2007
- S.M. WALLAS, "Chemical Process Equipment", Butterworth-Heinemann, 1990
- J. SPEIGHT, "Chemical and Process Design Handbook", McGraw-Hill, 2002
- R.E. SANDERS, "Chemical Process Safety", Elsevier, 2005
- P.R. ASHURST, "Chemistry and Technology of Soft Drinks and Fruit Juices", Blackwell, 2005
- J.M. COULSON, J.F. RICHARDSON, "Chemical Engineering", Butterworth-Heinemann, 1999
- A.J. GUTIERREZ, "Diseño de Procesos en la Industria Química", Reverté, 2003
- M.C. FLICKINGER, S.W. DREW, "Encyclopedia of Bioprocess Technology, Fermentation, Biocatalysis and Bioseparation", Wiley, 1999
- H.C. VOGEL, C.L. TODARO, "Fermentation and Biochemical Engineering Handbook", Noyes Publications 1997
- CRANE, "Flujo de Fluidos", McGraw-Hill, 1977
- A. MARCILLA GOMIS, "Introducción a las Operaciones de Separación; Contacto Continuo", Compobell, 1999

- W.L. McCABE, J.C. SMITH, P. HARRIOTT, "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", McGraw-Hill, 1991
- R.H. PERRY, D.W. GREEN, "Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 1999
- M.S. PETERS, K.D. TIMMERHAUS, "Plant Design and Economics for Chemical Engineer", McGraw-Hill, 1985
- W.D. BAADDEL, "Preliminary Chemical Engineering Plant Design", Elsevier, 1974
- C.J. GEANKOPLIS, "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", CECSA, 1998
- A.J. CHAPMAN, "Transmisión de Calor", Bellisco, 1984
- T.C. DICKENSON, "Valves, Piping and Pipelines Handbook", Elsevier, 1999
- S. TIMOSHENKO, "Resistencia de Materiales", Tomo II, Espasa-Calpe, 1961
- S. ALI, IKRAM-UL-HAQ, QADEER M.A., J. IQBAL, "Production of citric acid by *Aspergillus niger* using cane molasses in a stirred fermentor"
- M. PAPAGIANNI, "Advances in citric acid fermentation by *Aspergillus niger* : Biochemical aspects, membrane transport and modeling"
- G. F. MEHYAR, K. S. S. AL-DELAIFY AND S. A. IBRAHIM, "Citric Acid Production by *Aspergillus niger* Using Date Base Medium Fortified with Whey, Methanol and Tricalcium Phosphate"
- S. V. KAMZOLOVA, I. G. MORGUNOV, A. AURICH, O. A. PEREVOZNIKOVA, N. V. SHISHKANOVA, U. STOTTMEISTER AND T. V. FINOGENOVA, "Lipase Secretion and Citric Acid Production in *Yarrowia lipolytica* Yeast Grown on Animal and Vegetable Fat"

- JIN-WOO KIM, “Optimization of Citric Acid Production by *Aspergillus niger* NRRL 567 in various Fermentation Systems”
- C. RODRIGUES; L. PORTO DE SOUZA ANDENBERGHE; A. P. ORELLANA BOZA; C. R. SOCCOL, “Screening of new Strains for Citric Acid Production in Solid State Fermentation using Citric Pulp”
- A. SÁEZ VEGA, L. FLORES VALDEZ, A. CADAVID RENDÓN, “Caracterización de una Cepa Nativa de *Aspergillus niger* y Evaluación de la Producción de Ácido Cítrico”.
- M. A. EL-HOLI, K. S. AL-DELAIMY, “Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*”
- D. V. GUEBEL, N. V. TORRES DARIAS “Optimization of the citric acid production by *Aspergillus niger* through a metabolic flux balance model”
- C. R. SOCCOL, P. S. VANDENBERGHE, C. RODRIGUES, A. PANDEY, ” New Perspectives for Citric Acid Production and Application”
- M. YIGITOGU, “Production of Citric Acid by Fungi”

## ANEXOS A LA MEMORIA

### ÍNDICE:

1. ESTUDIO CINÉTICO
  - 1.1. MODELOS CINÉTICOS
  - 1.2. APLICACIÓN DEL MODELO CINÉTICO DE RÖRH, ZHENTGRUBER Y KUBICEK (1981)
  - 1.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA, EL pH y EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN
2. ESCALAMIENTO DE LA PLANTA
3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA
4. DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO
  - 4.1 DEPÓSITOS DE SUBPRODUCTOS
5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FERMENTADORES
  - 5.1. SISTEMA DE AIREACIÓN
  - 5.2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
6. PARÁMETROS DE LA ESTERILIZACIÓN
  - 6.1. TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN
7. LECHADA DE CAL
  - 7.2. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR DE LECHADA
  - 7.3. DISEÑO DEL SERPENTÍN
8. DESCOMPOSICIÓN DEL CITRATO
  - 8.1. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR DE CRAQUEO
  - 8.2. DISEÑO DEL SERPENTÍN REFRIGERANTE
9. DIMENSIONAMIENTO DEL EVAPORADOR
10. CRISTALIZADOR
11. BALANCE DE MATERIA

## 12. TUBERÍAS Y BOMBAS

### 12.1. RED DE TUBERÍAS

### 12.2. BOMBAS

## 1. ESTUDIO CINÉTICO

En este punto se van a introducir varios de los modelos cinéticos que puede seguir el microorganismo *Aspergillus niger* para producir ácido cítrico, todos ellos encontrados en la bibliografía. Existe una gran variedad de modelos desarrollados, ya que éste es un proceso antiguo y muy estudiado, por lo que solo se expondrán los modelos más importantes. Habrá que tener en cuenta que los modelos, en muchas ocasiones, se han realizado a partir de casos en los que el sustrato o la cepa escogida son diferentes a los utilizados en la planta, por lo que los resultados al aplicar dicho modelo a los datos experimentales obtenidos en planta pueden diferir.

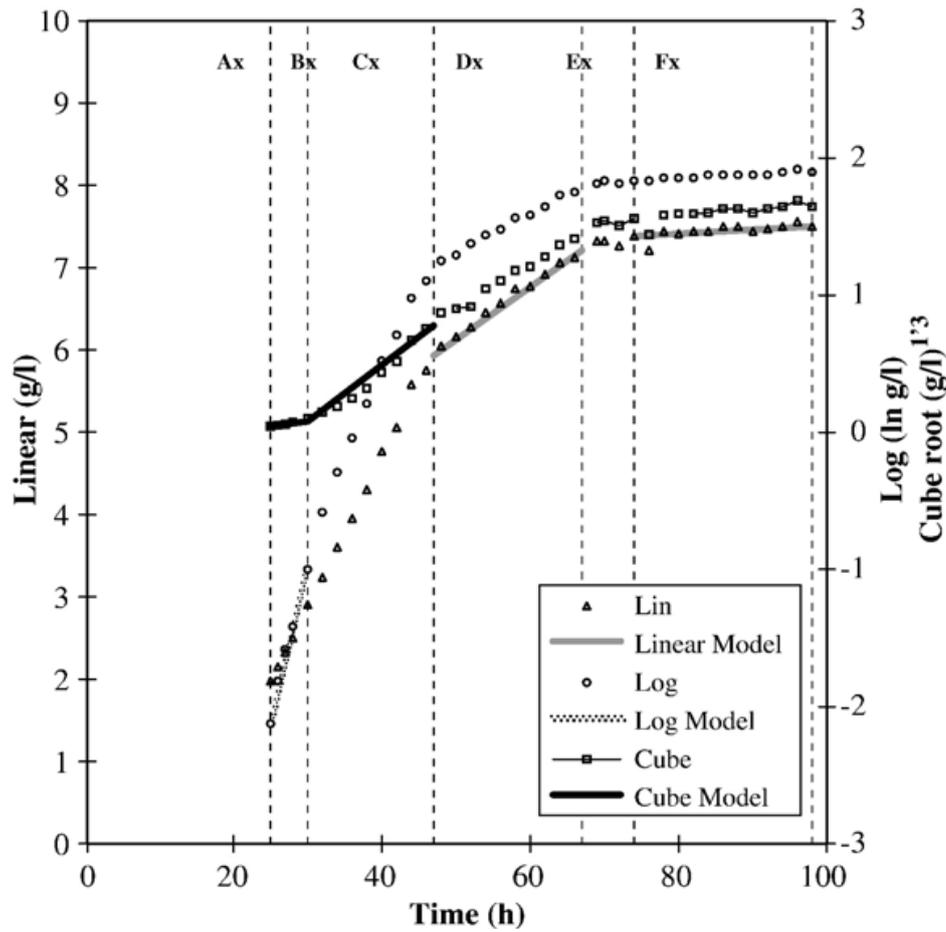
### 1.1. MODELOS CINÉTICOS

#### 1.1.1. MODELO CINÉTICO DE RÖRH, ZHENTGRUBER Y KUBICEK (1981)

Para obtener este modelo, los autores investigaron el crecimiento de *Aspergillus niger* en sacarosa y la producción de ácido cítrico en una planta piloto. Obtuvieron curvas típicas de crecimiento de *Aspergillus niger* que mostraban una fase de fuerte crecimiento inicial seguida de otra fase de crecimiento lento. Se dividió el crecimiento celular y la formación de producto en distintas sub-fases identificando, para cada una, la ecuación que más se ajustaba según los datos experimentales. Los resultados se mostraron en una gráfica.

En la siguiente gráfica se divide el crecimiento en varias sub-fases:

1. Fase de crecimiento en hifas (Bx).
2. Fase de crecimiento en pellets (Cx).
3. Fase de crecimiento restringido (Dx).
4. Fase de transición.
5. Idiofase.



En la gráfica se representa biomasa frente a tiempo de fermentación. La presencia de líneas indica que las ecuaciones del modelo se corresponden con los datos, mientras que la ausencia de líneas indica lo contrario.

El crecimiento de cada fase fue descrito con las siguientes ecuaciones:

- Fase logarítmica inicial de crecimiento:  $\ln X_t = \ln X_0 + \mu \cdot t$
- Fase cúbica de crecimiento:  $X_t^{1/3} = X_0^{1/3} + K_C \cdot t$
- Fase de crecimiento lineal:  $X_t = X_0 + K_T \cdot t$

En estas ecuaciones;  $X_t$  es la concentración de biomasa en un determinado tiempo  $t$ ,  $X_0$  es la concentración inicial de biomasa,  $\mu$  es la tasa de crecimiento,  $K_C$  y  $K_T$  son constantes.

Se relacionó la formación de producto con el crecimiento de biomasa según una modificación de la ecuación de Luedeking-Piret:

$$r_p = \alpha \cdot r_x + \beta \cdot X$$

Donde  $r_p$  es la velocidad de formación de producto y  $r_x$  la velocidad de crecimiento de biomasa.

Aunque se aplicó una cinética similar tanto al crecimiento como a la formación de producto, posteriormente se observó que seguían cinéticas diferentes, esto es debido al tiempo de latencia o tiempo de maduración, durante el cual el microorganismo no produce ácido cítrico. Se supuso pues que la velocidad de producción era proporcional a la velocidad con la que las células maduraban (superaban el tiempo de latencia). Según esto se expresó la velocidad de formación de producto como:

$$r_{Pt} = k \cdot r_{X \cdot (t-t_m)}$$

Donde  $r_{Pt}$  es la velocidad de formación de producto a un tiempo  $t$ ,  $r_{X \cdot (t-t_m)}$  es la velocidad de crecimiento de biomasa en un instante  $t$  por encima del tiempo de maduración  $t_m$  y  $k$  es la constante de formación de producto.

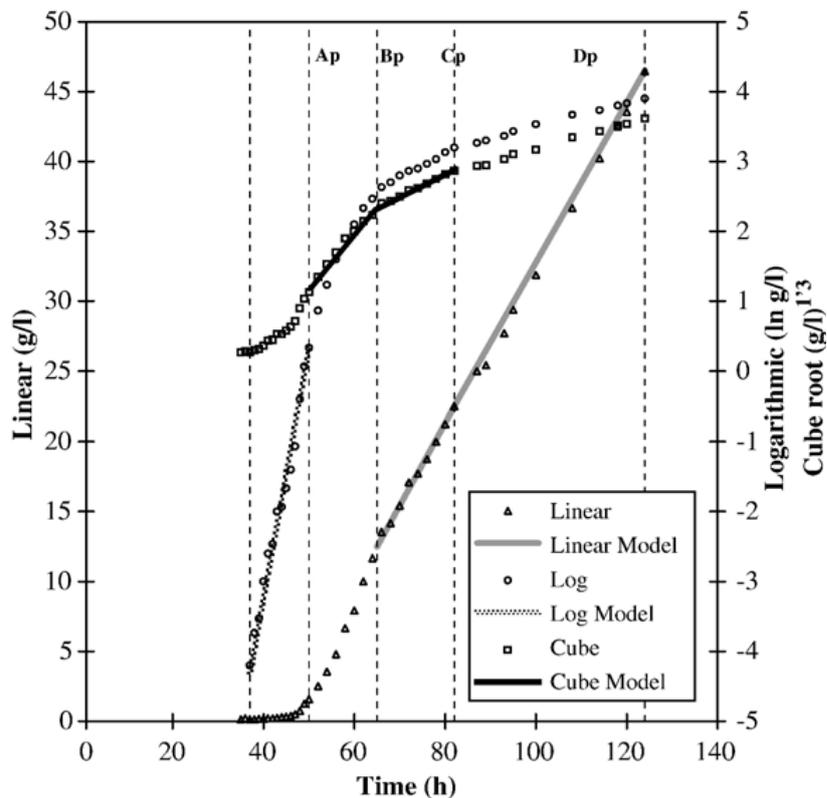
Se observó posteriormente que la constante  $k$  de la ecuación anterior no es en realidad constante, sino que su valor aumenta a lo largo de la reacción. Este problema fue resuelto suponiendo que existían, al menos, dos tipos de células con diferentes productividades. Para reflejar esto, se introdujo un nuevo término en la ecuación anterior:

$$r_{Pt} = k_1 \cdot r_{X \cdot (t-t_m)} + k_2 \cdot X_{(t-t_m)}$$

Donde  $k_1$  es una constante asociada a las células en crecimiento y  $k_2$  una constante asociada al no-crecimiento. Estas constantes fueron calculadas

mediante un proceso de optimización por ordenador, para distintas cepas de *Aspergillus niger*.

La siguiente tabla compara valores experimentales de velocidad de producción de ácido cítrico con valores de velocidad calculados con la ecuación anterior, observándose que el modelo se aproxima en buena medida a los datos experimentales:



Como en el caso anterior, la presencia de líneas indica que el modelo se ajusta a los datos experimentales, mientras que la no presencia de líneas indica lo contrario.

Aunque este modelo se ajusta a la realidad, presenta dos problemas: el primero es que es difícil de decir que ecuación debe ser escogida para un tiempo en particular cuando hay más de una ecuación que parece ser la adecuada; el segundo problema es que las distintas fases de crecimiento y de formación de producto no ocurren a la vez en el tiempo, el modelo se basa en métodos determinísticos y no mecanísticos, por lo que los cambios de una sub-fase a otra

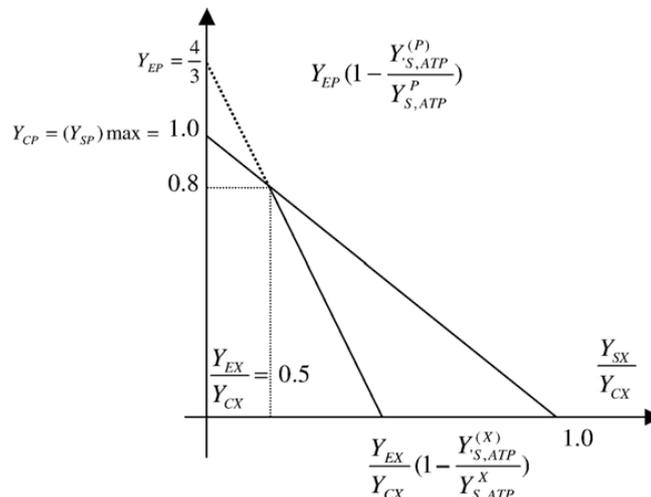
usados en el modelo no pueden dar una indicación precisa de los cambios en el metabolismo que regulan la formación de ácido cítrico.

### 1.1.2. MODELO METABÓLICO DE KRZYSZEK, GLUSZCZ Y LEDAKOWICZ (1996)

Los autores realizaron, teórica y experimentalmente, una serie de balances de materia y energía sobre la fermentación de *Aspergillus niger* en un fermentador de 220 L. La fuente de carbono era sacarosa a 100 g/L de concentración.

Se desarrolló un modelo simplificado del metabolismo del microorganismo, para este modelo se utilizaron parámetros mecánicos como rendimientos de producción de ácido cítrico y crecimiento de biomasa en función del ATP o el consumo específico de ATP para el mantenimiento de la viabilidad.

Se obtuvo como resultado la siguiente gráfica que relaciona el rendimiento de la producción de ácido cítrico con el rendimiento adimensional de biomasa:



Donde  $Y_{PS}$  es el rendimiento de la producción y  $Y_{SX}/Y_{CX}$  es el crecimiento adimensional de biomasa. Los subíndices S y C representan a la concentración de sustrato y de carbono en moles por litro.

La línea diagonal representa el balance de carbono según las expresiones:  $Y_{PS} = Y_{CP} = 1$  y  $Y_{SX}/Y_{CX} = 1$ . Valores por encima de esta diagonal están prohibidos según la inecuación:

$$\frac{Y_{SP}}{Y_{CP}} + \frac{Y_{SX}}{Y_{CX}} \leq 1$$

Los valores permitidos por debajo de la diagonal dependen del valor de la proporción  $Y_{EX}/Y_{CX}$  que marca la limitación energética al crecimiento celular. La mayor producción de biomasa y ácido cítrico se da cuando la línea del balance energético para el cociente  $Y_{EX}/Y_{CX} = 0,50$  cruza la diagonal.

Teniendo en cuenta la ecuación anterior y despreciando la energía de mantenimiento de viabilidad:

$$\frac{(Y_{SP})_{\max}}{Y_{CP}} \leq 1 - \frac{Y_{SX}}{Y_{CX}} \leq \frac{1 - Y_{EX} / Y_{CX}}{1 - Y_{CX} \cdot Y_{CP} / Y_{CX} \cdot Y_{EP}}$$

Donde  $(Y_{SP})_{\max}$  es la máxima producción de ácido cítrico, este dato toma un valor de 0,80 mol de carbono (en ácido cítrico) por cada mol de C (en sacarosa). La máxima producción de biomasa,  $(Y_{SX})_{\max}$ , sería de 0,18 mol de C (en biomasa) por cada mol de C (en sacarosa).

El coeficiente de rendimiento energético  $Y_E$  se calculó, teniendo en cuenta en esta ocasión el ATP requerido para el mantenimiento, de la siguiente manera:

$$Y_E = \frac{Y_C}{1 - Y_{S,ATP} / Y_{S,ATP}}$$

El balance total de energía de ATP fue descrito de la siguiente forma:

$$\frac{Y_{SP}}{Y_{EP}} + \frac{Y_{SX}}{Y_{EX}} = 1 - \frac{Y_{S,ATP}^X}{Y_{S,ATP}^X} + \frac{Y_{S,ATP}^P}{Y_{S,ATP}^P}$$

Los coeficientes de rendimiento de biomasa y producto que se obtuvieron experimentalmente fueron un 96% y un 83% del máximo teórico, respectivamente. Sin embargo, los coeficientes reales de crecimiento de biomasa y de producción de ácido cítrico se acercaban a los obtenidos del balance de materia.

### 1.1.3. MODELO PARA DIFERENTES ESTADOS CELULARES DE KRISTIENSEN Y SINCLAIR (1979)

En los modelos anteriores no se hizo distinción para los diferentes estados celulares y las diferencias en el crecimiento celular a diferentes estados metabólicos. En este modelo se dan unas expresiones para la velocidad de crecimiento de biomasa para cada estado fisiológico de las células obtenidas de la experimentación en un reactor de tanque agitado.

- Estado básico o inicial:  $r_{X_b} = \mu_b \cdot X_b - k_t \cdot X_b - D \cdot X_b$
- Estado productivo:  $r_{X_c} = \mu_c \cdot X_c - k_t \cdot X_b - k_d X_c - D \cdot X_c$
- Estado desactivado:  $r_{X_d} = k_d X_c - D \cdot X_b$

Donde D es la velocidad de dilución y los subíndices b, c y d se refieren a los estados mencionados anteriormente. Para el crecimiento en discontinuo se puede sustituir la velocidad de dilución por la tasa de crecimiento ( $\mu$ ). Las diversas constantes que aparecen en las ecuaciones anteriores se evalúan de las siguientes formas:

$$\mu_b = \mu_{mb} \cdot \frac{N}{k_N + N} \quad \mu_c = \mu_{mc} \cdot \frac{S}{k_S \cdot X_C + S} \quad k_t = k_{mt} \cdot \frac{k_i}{k_i + N}$$

Donde  $\mu_b$  es la velocidad específica de crecimiento en un sustrato limitante,  $\mu_c$  es la velocidad específica de crecimiento para células productoras de ácido cítrico, y  $k_t$  es la velocidad de transformación de células no productoras en células productoras.

## 1.2. APLICACIÓN DEL MODELO CINÉTICO DE RÖRH, ZHENTGRUBER Y KUBICEK (1981)

En este apartado se va a aplicar este modelo cinético, descrito en el apartado anterior, a dos sets de datos para el crecimiento de *Aspergillus niger* ATCC 11414 y producción de ácido cítrico encontrados en la bibliografía.

Según el modelo, el objetivo es obtener los parámetros  $k_1$  y  $k_2$  de la ecuación de Luedeking-Piret modificada:

$$r_{Pt} = k_1 \cdot r_{X(t-t_m)} + k_2 \cdot X_{(t-t_m)} \quad r_{Pt} = \frac{dP}{dt} \quad r_{X(t-t_m)} = \frac{dX}{dt}$$

$$\frac{dP}{dt} = k_1 \frac{dX}{dt} + k_2 X_{t-t_m} \quad \int_{t_m}^t dP = k_1 \int_{t_m}^t dX + k_2 \int_{t_m}^t X \cdot dt$$

$$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt} = k_1 \cdot \frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt} + k_2$$

Esta última expresión es la linealización de la ecuación de Luedeking-Piret modificada; representando datos de producción frente a cantidad de biomasa se puede obtener, con análisis de regresión, los valores de las constantes  $k_1$  y  $k_2$ . Sin embargo, antes de poder hacer regresión lineal, se debe de integrar la ecuación que rige el crecimiento de biomasa con el tiempo, para obtener los términos de los denominadores. Como se dijo anteriormente, este modelo divide el crecimiento de biomasa en tres sub-fases, cada una de ellas con una ecuación distinta. Seguidamente se presentan estas ecuaciones y su correspondiente integral con el tiempo.

- Fase logarítmica inicial de crecimiento:

$$\ln X_t = \ln X_0 + \mu \cdot t \quad X_t = X_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \quad \int_{t_m}^t X_t \cdot dt = \frac{X_0}{\mu} \cdot (e^{\mu \cdot t} - e^{\mu \cdot t_m})$$

- Fase cúbica de crecimiento:

$$X_t^{1/3} = X_0^{1/3} + K_C \cdot t \quad X_t = K_C^3 \cdot t^3 + 3 \cdot X_0^{1/3} \cdot K_C^2 \cdot t^2 + 3 \cdot X_0^{2/3} \cdot K_C \cdot t + X_0$$

$$\int_{t_m}^t X_t \cdot dt = 1/4 \cdot K_C^3 \cdot (t^4 - t_m^4) + X_0^{1/3} \cdot K_C^2 \cdot (t^3 - t_m^3) + 3/2 \cdot X_0^{2/3} \cdot K_C \cdot (t^2 - t_m^2) + X_0 \cdot (t - t_m)$$

- Fase de crecimiento lineal:

$$X_t = X_0 + K_T \cdot t \quad \int_{t_m}^t X_t \cdot dt = 1/2 \cdot K_T \cdot (t^2 - t_m^2) + X_0 \cdot (t - t_m)$$

La secuencia de actuación para la obtención de las constantes  $k_1$  y  $k_2$  va a ser la siguiente:

1. El primer paso a dar es determinar qué datos de crecimiento de biomasa pertenece a cada sub-fase. Se determinará a través de la gráfica, aunque si la división no está clara, el dato frontera se utilizará en la fase donde su presencia mejore el coeficiente de regresión de las sub-fases que convergen.
2. Usando la ecuación logarítmica de la primera sub-fase, se determina la tasa de crecimiento específica para cada instante. Este dato será necesario posteriormente para hallar el valor de la integral. Se debe tener en cuenta que el parámetro  $t_m$ , tiempo de maduración, se determina gráficamente en el punto donde comienza el crecimiento en fase exponencial.
3. Usando regresión cúbica se determinan los parámetros  $X_0$  y  $K_C$ .
4. Mediante regresión lineal se hallan  $X_0$  y  $K_T$  de la última expresión.
5. Una vez hallada todas las constantes, se halla el valor de la integral para cada sub-fase en cada instante de tiempo.

6. Una vez hallados los valores de las integrales con el tiempo, se

representa  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  frente a  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ . El análisis de regresión permitirá

obtener  $k_1$  y  $k_2$ . Se omitirán aquellos puntos que perjudiquen el análisis.

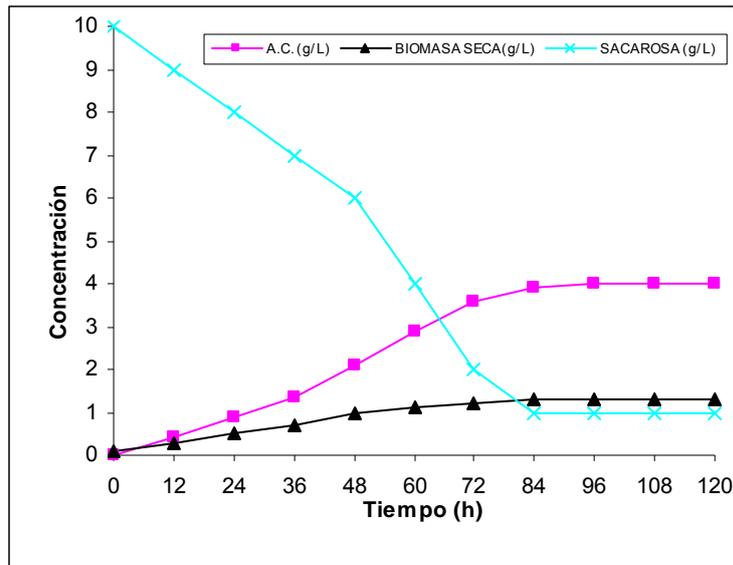
Posteriormente se calculan, para cada set de datos, los siguientes coeficientes de rendimiento:

- Rendimiento biomasa-sustrato ( $Y_{X/S}$ )
- Rendimiento producto-sustrato ( $Y_{P/S}$ )

### 1.2.1. PRIMER SET DE DATOS

Esta primera colección de datos fue obtenida mediante un fermentador de tanque agitado de 2 L de capacidad. El sustrato que se utilizó fue melazas de remolacha con una concentración de sacarosa de 10 g/L y nutrientes esenciales en exceso. La temperatura se mantuvo a 30° C, la agitación a 200 rpm, aireación a 1,5 dm<sup>3</sup>/min y pH inicial 6.

Tiempo(h)	Ácido cítrico (g/L)	Biomasa seca (g/L)	Sacarosa (g/L)
0	0	0,1	10
12	0,4	0,3	9
24	0,9	0,5	8
36	1,35	0,7	7
48	2,1	1	6
60	2,9	1,1	4
72	3,6	1,2	2
84	3,9	1,3	1
96	4	1,3	1
108	4	1,3	1
120	4	1,3	1



### SUB-FASE LOGARÍTMICA

Tiempo(h)	Ácido cítrico(g/L)	Biomasa seca(g/L)	$\mu$ (dia <sup>-1</sup> )	Valor de $\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
0	0	0,1	0	-1	0,36	0,18
12	0,4	0,3	26,37	1.478,59	omitido	omitido
24	0,9	0,5	2,97	0,53	1,022	0,416
36	1,35	0,7	1,87	0,76	1,302	0,552

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = 2,56$
- $k_2 = -0,086$
- $R^2 = 0,994$

Ecuación de producción:  $r_{P_t} = 2,56 \cdot r_{X_{(t-t_m)}} - 0,086 \cdot X_{(t-t_m)}$

### SUB-FASE CÚBICA

Tiempo(h)	Ácido cítrico(g/L)	Biomasa seca(g/L)	Valor de $\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
48	2,1	1	173,64	0,01002	0,00369
60	2,9	1,1	312,35	0,00813	0,00262
72	3,6	1,2	515,85	0,00628	0,00178

Regresión  $X_t^{1/3}$  vs  $t$

- $K_C = 0,026$
- $X_0 = 0,67$
- $R^2 = 0,997$

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = 1,94$
- $k_2 = 0,003$
- $R^2 = 0,995$

Ecuación de producción:  $r_{P_t} = 1,94 \cdot r_{X \cdot (t-t_m)} + 0,003 \cdot X_{(t-t_m)}$

### SUB-FASE LINEAL

Tiempo(h)	Ácido cítrico(g/L)	Biomasa seca(g/L)	Valor de $\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
84	3,9	1,3	3,96	0,89	0,26
96	4	1,3	4,62	0,79	0,22
108	4	1,3	5,27	0,69	0,19
120	4	1,3	5,92	0,62	0,17

Regresión  $X_t$  vs  $t$

- $K_T = 0$
- $X_0 = 1,3$
- $R^2 = 1$

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = 3,29$
- $k_2 = 0,053$
- $R^2 = 0,997$

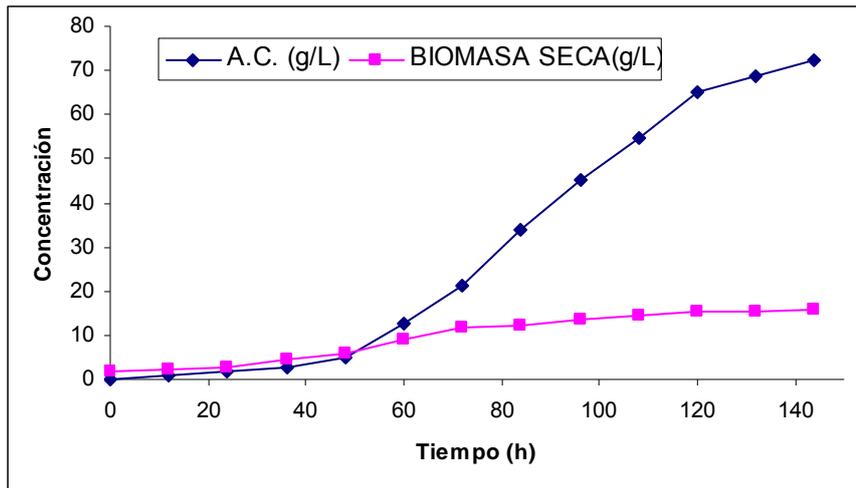
Ecuación de producción:  $r_{Pt} = 3,29 \cdot r_{X(t-t_m)} + 0,053 \cdot X_{(t-t_m)}$

Rendimientos:  $Y_{X/S} = 13,33\%$   $Y_{P/S} = 44,44\%$

## 1.2.2. SEGUNDO SET DE DATOS

Para obtener los siguientes datos experimentales se utilizó un medio con 14% de sacarosa desionizada y suficientes nutrientes esenciales. Se utilizó un reactor de 1 L de capacidad, con una temperatura de 30°C y una agitación de 360 rpm.

Tiempo (h)	Ácido cítrico (g/L)	Biomasa seca (g/L)	Sacarosa (g/L)
0	0	2	140
12	0,8	2,37	128
24	1,6	2,73	112
36	2,9	4,33	91
48	4,8	5,90	70
60	12,5	8,84	58
72	21,4	11,78	44
84	34,1	12,39	38
96	45,3	13,50	33
108	54,7	14,45	30
120	65,3	15,39	28
132	68,8	15,51	27
144	72,3	15,66	26



### SUB-FASE LOGARÍTMICA

Tiempo(h)	Ácido cítrico (g/L)	Biomasa seca (g/L)	$\mu$ (dia <sup>-1</sup> )	$\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
0	0	2	0	-1	omitido	omitido
12	0,8	2,37	0,99	0,5	0,4	0,34
24	1,6	2,73	0,47	1,83	0,55	0,29
36	2,9	4,33	0,66	4,39	omitido	omitido
48	4,8	5,9	0,65	5,35	0,79	0,69
60	12,5	8,84	0,68	9,38	omitido	omitido

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = 0,8772$
- $k_2 = 0,0033$
- $R^2 = 0,989$

Ecuación de producción:  $r_{P_t} = 0,8772 \cdot r_{X \cdot (t-t_m)} + 0,0033 \cdot X_{(t-t_m)}$

### SUB-FASE CÚBICA

Tiempo(h)	Ácido cítrico(g/L)	Biomasa seca(g/L)	$\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
72	21,4	11,78	621,96	0,0334	0,0154
84	34,1	12,39	771,65	0,0434	0,0132
96	45,3	13,5	932,89	0,0479	0,0121
108	54,7	14,45	1.106,79	0,0488	0,0111

Regresión  $X_t^{1/3}$  vs  $t$

- $K_C = 0,0046$
- $X_0 = 7,3$
- $R^2 = 0,990$

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = -3,75$
- $k_2 = 0,092$
- $R^2 = 0,962$

Ecuación de producción:  $r_{P_t} = -3,75 \cdot r_{X \cdot (t-t_m)} + 0,092 \cdot X_{(t-t_m)}$

### SUB-FASE LINEAL

Tiempo(h)	Ácido cítrico(g/L)	Biomasa seca(g/L)	$\int_{t_m}^t X_t \cdot dt$	$\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$	$\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$
120	65,3	15,39	1.655	0,0390	0,00797
132	68,8	15,51	1.840,66	0,0370	0,00723
144	72,3	15,66	2.027,92	0,0353	0,00664

Regresión  $X_t$  vs  $t$

- $K_T = 0,0112$
- $X_0 = 14,03$
- $R^2 = 0,996$

Regresión lineal  $\frac{P_t - P_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$  vs  $\frac{X_t - X_{t_m}}{\int_{t_m}^t X \cdot dt}$ :

- $k_1 = 2,78$
- $k_2 = 0,017$
- $R^2 = 0,999$

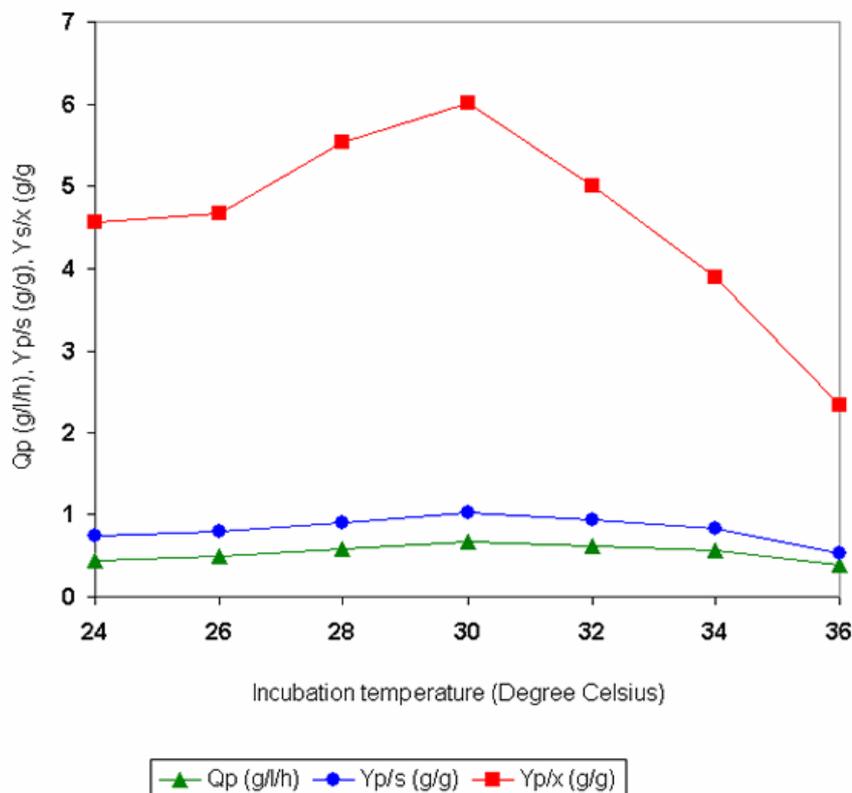
Ecuación de producción:  $r_{P_t} = 2,78 \cdot r_{X(t-t_m)} + 0,017 \cdot X_{(t-t_m)}$

Rendimientos:  $Y_{X/S} = 11,90\%$   $Y_{P/S} = 63,15\%$

### 1.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA, EL pH Y EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN

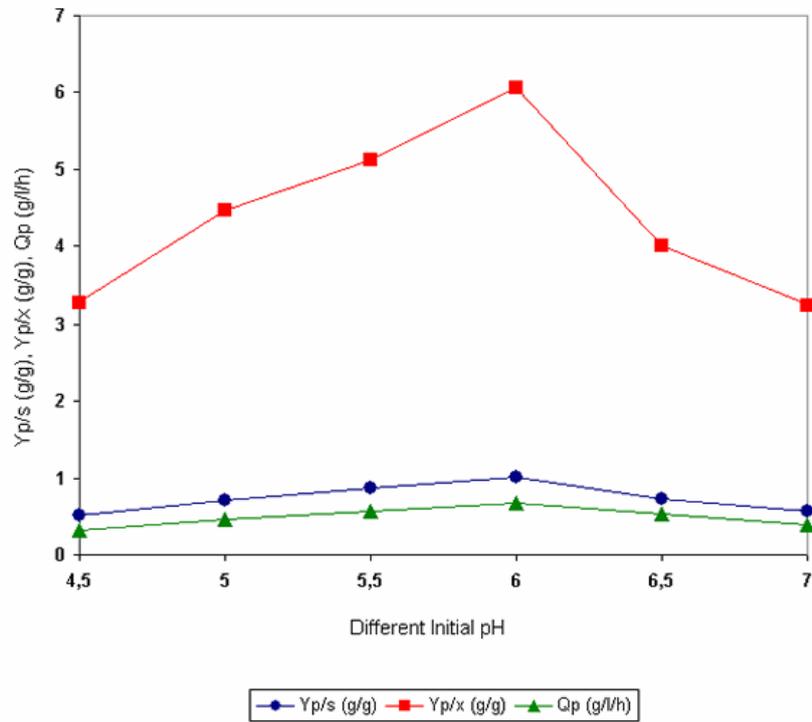
Seguidamente se van a presentar una serie de estudios encontrados en la bibliografía que muestran cómo influyen temperatura, pH, tiempo de fermentación y concentración inicial de glucosa en el proceso fermentativo.

#### TEMPERATURA



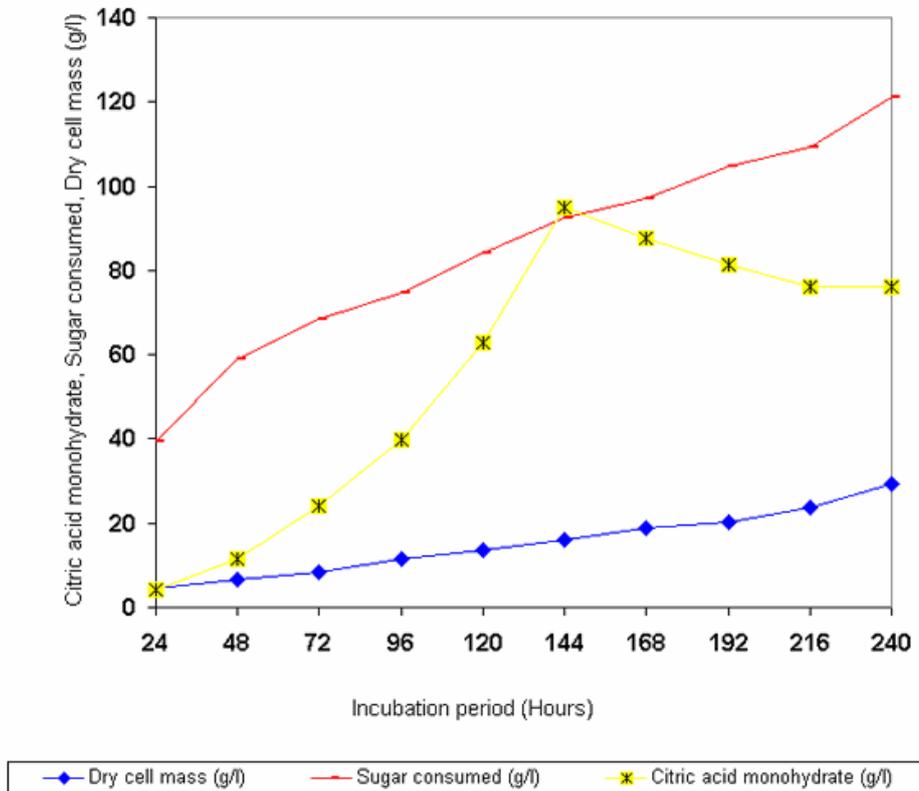
En la gráfica aquí expuesta se representa el caudal de producto ( $Q_p$ ), el coeficiente de rendimiento producto-sustrato ( $Y_{p/s}$ ) y el rendimiento producto-biomasa frente a distintas temperaturas de proceso. Se puede observar que todos los parámetros aumentan al aumentar la temperatura hasta llegar a 30° C, posteriormente un aumento de temperatura provoca la disminución de todos los parámetros.

## pH



En esta figura se representa el caudal de producto ( $Q_p$ ), el coeficiente de rendimiento producto-sustrato ( $Y_{p/s}$ ) y el rendimiento producto-biomasa frente a distintos pH. Un pH de 6 parece ser el mejor para el rendimiento del proceso, ya que valores por encima o debajo de 6 hacen disminuir la cantidad de producto obtenido.

## TIEMPO DE FERMENTACIÓN



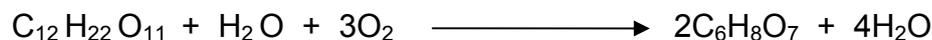
En esta gráfica se representa la concentración de producto (citric acid monohydrate, ácido cítrico monohidrato), la concentración de biomasa seca (dry cell mass) y el azúcar consumido (sugar consumed) frente a distintos tiempos de proceso. Se puede observar que la mayor cantidad de producto se obtiene tras 144 horas de fermentación.

## 2. ESCALAMIENTO DE LA PLANTA

El objetivo de la planta es producir 4.000 toneladas de ácido cítrico al año, partiendo de este dato se va a calcular la cantidad de melaza que será necesaria así como el número y volumen de los fermentadores.

Se parte de unas melazas que contienen un 50% de sacarosa fermentable, estas melazas se van a diluir hasta que su concentración baje a 20% de sacarosa, concentración ideal para que crezca el microorganismo. Suponiendo una densidad de la melaza diluida muy cercana a la del agua se tendrá una concentración de partida de 200 g/L, dividiendo por el peso molecular de la sacarosa (342 g/mol) se obtiene una concentración de 0,58 mol/L de sacarosa en la melaza diluida.

La reacción que va a tener lugar en el fermentador es la siguiente:



Estequiométricamente, por cada mol de sacarosa, se obtendría 2 moles de ácido cítrico, partiendo de una concentración de 0,58 mol/L se obtendría 1,17 mol/L de ácido cítrico. Multiplicando esta concentración por el peso molecular de ácido cítrico (192,12 g/mol) resulta una concentración de 224,78 g/L de ácido cítrico.

Sin embargo, el rendimiento de la reacción ( $Y_{p/s}$ ) según bibliografía, para las condiciones de la fermentación, es alrededor de 0,74 para un tiempo de fermentación de 6 días y 2 horas, por lo tanto, la producción será de 166,28 g/L ó 0,87 mol/L de ácido cítrico. Un kilogramo de sacarosa producirá 0,83 kilogramos de ácido cítrico, y un kilo de melaza 0,42 kilogramos de ácido cítrico.

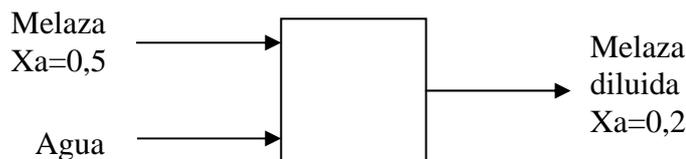
Como el objetivo es la producción de 4.000 t/a de ácido cítrico, para cumplir esta condición son necesarias 9.622,79 t/a de melazas (lo cual entra dentro de los requerimientos de consumo de melaza iniciales del proyecto).

Teniendo esto en cuenta, se determinará el número de ciclos de producción al año para posteriormente estimar la capacidad necesaria a instalar.

Para el rendimiento de reacción que se ha escogido, el tiempo de fermentación es de 6 días y 2 horas. Pero teniendo en cuenta las operaciones que se requieren de carga, descarga del reactor, inoculación y otros se va a considerar un tiempo de ciclo de 7 días (168 horas).

Un año tiene 8.760 horas, se restan 2 meses (vacaciones, mantenimiento, incidencias...) por los que quedará 7.320 horas al año hábiles. Teniendo en cuenta que el ciclo dura 168 horas dividiendo resultan, redondeando a la baja, 43 ciclos al año.

Si se consumen 9.622,79 t/a de melaza y éstas deben gastarse en los 43 ciclos al año, resulta un consumo de 223,78 t/ciclo de melaza. Pero para calcular la capacidad, habrá que añadir a dicha cifra el volumen de agua necesario para diluir las melazas de un 50% a un 20%, para ello se resuelve el balance de materia:



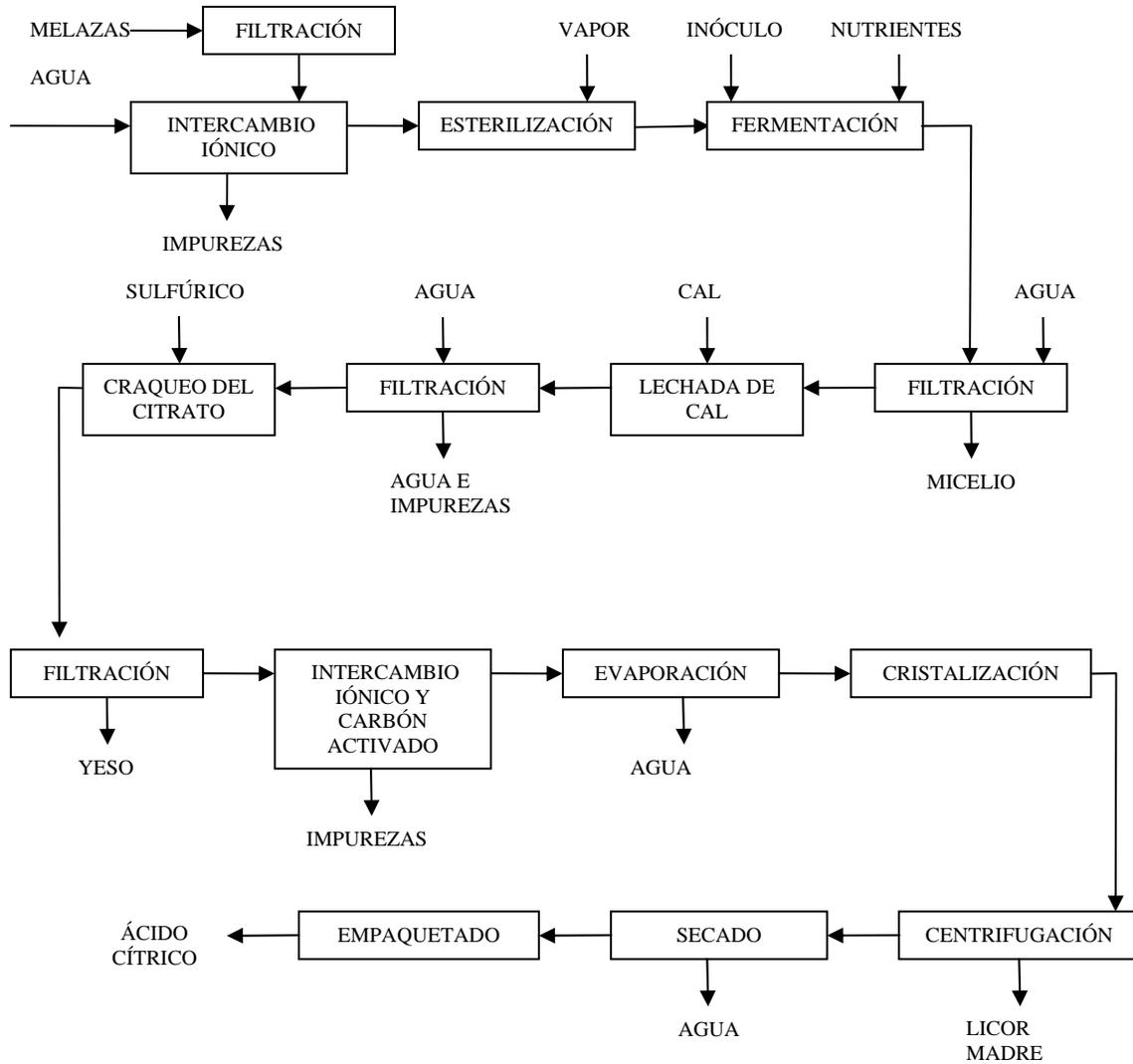
Resolviendo el balance resulta que se debe añadir 1,50 kilogramos de agua por cada kilo de melaza. Por lo tanto a cada ciclo de 223,78 toneladas de melaza habrá que añadir 335,69 toneladas de agua por ciclo para un total de 559,45 toneladas por ciclo.

Para obtener el volumen requerido, se va a suponer que la densidad de la melaza diluida es la del agua, así resultará un volumen sensiblemente mayor y de

esta manera se cubre el volumen ocupado por la formación de espumas y el volumen de los nutrientes extras que habrá que añadir.

De ésta manera, el volumen a instalar será, aproximadamente, de 560 m<sup>3</sup>. De entre las distintas posibilidades de número de fermentadores y volúmenes, se ha optado por 10 fermentadores de 60 m<sup>3</sup> para un total de 600 m<sup>3</sup>, ya que es un tamaño estándar y por lo tanto más barato, además su manejo será más sencillo que el de una unidad mayor y cuanto más fermentadores se tengan, menos pérdida de producción si hay algún problema en uno de ellos. Por otro lado, el sistema de control de la planta será más complicado y el coste de inmovilizado mayor al requerir más sistemas de transporte y control que con menos unidades.

### 3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA



#### 4. DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Por cada ciclo de 7 días de la planta se gastarán, redondeando hacia arriba, 224 t de melazas y 336 t de agua. Dividiendo por la densidad (como en anteriores cálculos, se toma la densidad de la melaza igual a la del agua para tener un sobredimensionamiento que de cierta capacidad de maniobra) se obtiene 224 m<sup>3</sup> de melaza y 336 m<sup>3</sup> de agua (debido a que el agua proviene de la red no será necesario hacer más sobredimensionamiento).

Se optará por cinco depósitos de 120 m<sup>3</sup> dos de ellos para melazas y tres para agua. Estos depósitos se compondrán de tres cuerpos: techo, virola y fondo reductor. Seguidamente se calcula, mediante el manual de recipientes sometidos a presión, los espesores de la unidad. En primer lugar, tomando 2 como relación de altura/diámetro, se calcula altura y diámetro del depósito:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D^3}{4} \longrightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} = 4,24 \text{ m} \longrightarrow \frac{H}{D} = 2 \longrightarrow H = 8,49 \text{ m}$$

Hay que tener en cuenta que la unidad no será totalmente cilíndrica y que el volumen buscado se repartirá entre cuerpo, fondo y techo. Por esta razón se tomará como diámetro de la unidad 4,50 m para realizar los cálculos, obteniendo posteriormente el volumen final que deberá ser aproximado al buscado.

En cuanto al reductor, será de tipo cónico y tendrá un diámetro inferior de 10 pulgadas, este diámetro proporcionará un caudal másico suficiente para la operación de descarga del depósito y coincidirá con el tamaño de tubería normalizada que se utiliza en planta. El techo será de tipo cabezal elipsoidal 2:1.

El material más adecuado para este tipo de construcción, que se empleará, es acero SA-283 grado C con tensión máxima admisible de 12.700 psi. Para el cálculo de espesores de virola, fondo y techo se toma una presión de diseño de 500 psi, una eficiencia de soldadura de 0,85 y un sobreespesor por corrosión de

0,60 pulgadas. Tanto el radio (R) como el diámetro (D) se introducen en pulgadas en las siguientes ecuaciones para el cálculo de espesores:

$$t_{techo} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C = \frac{500 \cdot 177,17}{2 \cdot 12.700 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 500} + 0,60 = 4,72''$$

$$t_{virola} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{500 \cdot 88,58}{12.700 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 500} + 0,60 = 4,82''$$

Seguidamente se calculará los espesores del fondo reductor cónico, el cual será de 35° (ángulo formado por la pared del cono y la vertical).

$$t_{D\_reductor} = \frac{PR}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (S \cdot E + 0,4 \cdot P)} + C = \frac{500 \cdot 88,58}{2 \cdot 0,82 \cdot (12.700 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 500)} + 0,60 = 3,05''$$

$$t_{d\_reductor} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C = \frac{500 \cdot 10}{2 \cdot 0,82 \cdot (12.700 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 500)} + 0,60 = 0,89''$$

D\_reductor es el diámetro mayor del reductor cónico (que coincide con el de la virola cilíndrica); d\_reductor es el diámetro menor (boca inferior) del reductor cónico que será de 10" ya que este es el diámetro de tubería al que se conectará.

Se han determinado geoméricamente los siguientes parámetros del depósito:

	Altura	Volumen
Techo	0,75 m	6,18 m <sup>3</sup>
Virola	6,63 m	105,45 m <sup>3</sup>
Reductor	1,49 m	8,73 m <sup>3</sup>
Total	8,87 m	120 m <sup>3</sup>

Con estos datos se puede acudir a una empresa de fabricación de depósitos que se encargará del asesoramiento necesario para adquirir las unidades más adecuadas y que cumplan las especificaciones indicadas.

#### 4.1 DEPÓSITOS DE SUBPRODUCTOS.

Para almacenar el licor post-fermentativo que resulta de la separación del citrato por filtración se usarán los mismos depósitos que para el agua o la melaza ya que, al estar compuesto en más de un 90% por agua, su densidad es muy próxima a ésta. Cada ciclo fermentativo completo producirá  $540 \text{ m}^3$  de este efluente, necesiándose pues 5 depósitos de  $120 \text{ m}^3$ .

En el caso del licor madre saturado, se producirá un máximo de  $35 \text{ m}^3$  por ciclo, con una densidad también muy cercana a la del agua, por lo que se almacenará en un solo depósito de  $120 \text{ m}^3$  como los usados anteriormente con capacidad para varios ciclos fermentativos.

El yeso producido en la planta como resultado de la descomposición del citrato alcanzará un volumen máximo de  $54 \text{ m}^3$  por ciclo con una densidad de  $1.646 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente, se usará para almacenarlo un silo de  $120 \text{ m}^3$ .

En cuanto al micelio que se separa justo tras la etapa fermentativa, se producirán menos de 11 toneladas por ciclo, la densidad de este sólido es similar al agua y se almacenará en un silo de  $120 \text{ m}^3$ .

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FERMENTADORES

Para determinar los parámetros de construcción de cada uno de los 10 fermentadores, se usará el reglamento de aparatos sometidos a presión del código ASME, debido a que la formación de gases y espumas durante el proceso puede elevar significativamente la presión dentro del aparato. El material de construcción será acero SA-283 grado C.

Se va a elegir una alta relación altura-diámetro para que el equipo tenga una estructura lo más estable posible, el valor será de 1,7. Según esta relación se calcula tanto el diámetro interior como la altura del recipiente:

$$\frac{H}{D} = 1,7 \quad V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad D = 3,56 \text{ m} \quad H = 6,05 \text{ m}$$

Seguidamente se calcula el espesor de pared, que será el valor máximo entre las siguientes expresiones:

$$t = 0,1181 + C$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

Donde:

- R es el radio interno en pulgadas.
- E es la eficiencia de soldadura, se toma el valor de 0,85.
- S es el límite elástico del material. Para el acero SA-283 grado C este valor es 12.700 psi.
- P es la presión de diseño 50 psi por especificación.

- C es el sobreespesor de corrosión, se utiliza el valor de 0,06 pulgadas.

Sustituyendo datos:

$$t = 0,1181 + C = 0,18''$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 70,08}{12.700 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 50} + 0,06 = 0,39''$$

Según estos cálculos el espesor tomado, redondeando al alza, será de 1 cm de espesor según el reglamento de equipos sometidos a presión.

El fondo y techo del recipiente, serán formas elipsoidales 2:1 tabuladas en el código ASME. Se obtienen los espesores de fondo y techo según la expresión:

$$t_F = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 140,16}{2 \cdot 12.700 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 50} + 0,06 = 0,38''$$

Por lo tanto el espesor de fondo y techo será también de 1 centímetro.

Otros aspectos a considerar en el diseño del tanque es su apoyo y la losa en la que estará depositado. Para tanques de esta capacidad que contienen líquidos de densidad parecida a la del agua, según la bibliografía, se usa un perfil IPN 120 de tal manera que el depósito quede a 1,20 metros del suelo con el fin de facilitar las operaciones de montaje y mantenimiento. La losa se construirá según la norma española EHE-98 y tendrá unas dimensiones de 4 x 4 metros con 30 cm de espesor y formada por un armado de 3,5 x 2,3 metros, con 23 cm de espesor y fabricada con un hormigón tipo HA-25.

## 5.1. SISTEMA DE AIREACIÓN

El sistema de aireación es una de las unidades más importantes del proceso, ya que se necesita un aporte continuo de oxígeno para que se produzca la fermentación, la ausencia o carencia de oxígeno ocasionaría un grave descenso en la producción de ácido cítrico.

El sistema estará compuesto por una serie de ventiladores que impulsarán el aire exterior hacia un sistema de filtros que lo limpiarán de partículas extrañas y microorganismos, ambos separados del resto de la planta en una caseta exterior, y, por último, una red de tuberías que conduzca el aire hasta los fermentadores. Esta red de tuberías debe tener el mínimo número de elementos posibles para minimizar las pérdidas de carga que puedan originar un defecto de presión de aire en el reactor.

Es muy importante sobredimensionar este sistema para que trabaje con suficiente holgura y que la avería o mantenimiento en una unidad impulsora o filtro no se note en el proceso productivo. Para ello se calculará el oxígeno necesario respecto a la cantidad de sacarosa y no de ácido cítrico formado, y se supondrá que todos los fermentadores van a trabajar a la par.

En cada ciclo se utilizan 560 t de melazas diluidas de concentración 0,58 mol/L, tomando la aproximación de que la densidad de la melaza diluida es igual a la del agua, resultan 324.800 moles de sacarosa. Según la estequiometría de la reacción, cada mol de sacarosa requiere 3 moles de oxígeno, por lo que en cada ciclo se consumirán 974.400 moles de oxígeno que en masa son 15.590,40 kg. Como en el aire solo hay un 21% de oxígeno, para obtener esa masa se necesitan 74.240 kg de aire.

Tomando como densidad del aire  $1,17 \text{ kg/m}^3$  se necesitarán  $63.453 \text{ m}^3$  de aire. Dividiendo esta cifra por el tiempo de fermentación (146 horas como máximo) se obtiene un caudal de aire de  $434,61 \text{ m}^3/\text{h}$ . A la hora de los cálculos y elección de equipos se tomará como caudal de aire un 20% más del calculado en este apartado, es decir  $521,53 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Como sistema filtrante se ha elegido un filtro profundo de constante 9,80. La relación entre la disminución del número de microorganismos, la constante del filtro y la longitud de éste viene dada por la siguiente fórmula:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N_s}\right) = K \cdot L$$

Donde:

- $N_0$  es el número de microorganismos a la entrada.
- $N_s$  el número de microorganismos a la salida.
- $K$  es la constante del filtro.
- $L$  es la longitud del filtro.

Se calculará la longitud de filtro necesaria para reducir la cantidad de organismos hasta una cienmilésima parte. Sustituyendo los datos se obtiene una longitud de 1,17 por lo que se tomará una longitud de filtro de 1,2 metros.

Se emplearán 4 filtros de 1,2 metros de longitud y constante 9,80 para tener capacidad de sobra por si se da la circunstancia de tener parados dos filtros a la vez.

## 5.2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Será necesario un sistema que refrigere la unidad de fermentación, debido a que la reacción es exotérmica y desprenderá un calor que hará aumentar la temperatura, desplazando el sistema de la temperatura ideal de fermentación. En segundo lugar, será necesario enfriar la disolución de melazas, que se encuentra a alta temperatura tras ser esterilizada, para que alcance la temperatura óptima para la reacción antes de introducir el inóculo. El diseño del sistema de refrigeración se hará para la segunda de las funciones, ya que al ser un salto mucho mayor de temperatura durante un tiempo muy inferior, proporcionará un área de transferencia necesaria mucho mayor.

Como sistema de refrigeración se ha optado por un serpentín interno, ya que tiene una gran transferencia de calor y es la opción más empleada en la industria, el problema de este tipo de circuitos será las incrustaciones y la necesidad de reforzar la estructura.

El líquido refrigerante será agua a temperatura ambiente, ya que es el más barato y su impacto medioambiental es pequeño. La única ventaja de usar un mejor refrigerante sería una menor longitud de serpentín, ahorrando en inmovilizado, pero sería más costoso de reponer, de mayor impacto medioambiental y obligaría a diseñar un sistema más complicado de control para su manejo ya que una fuga supondría una pérdida de reposición y de capacidad de enfriamiento mucho mayor.

Aplicando el balance energético al fermentador:

$$\begin{array}{l} \text{Calor cedido por} \\ \text{las melazas} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Calor absorbido por el} \\ \text{agua del serpentín} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Calor absorbido por los} \\ \text{alrededores del reactor} \end{array}$$

El calor absorbido por el medio circundante va a ser sensiblemente inferior a los otros términos del balance y se va a despreciar.

Se evaluará el calor cedido por las melazas de la siguiente manera:

$$q_m = M_m \cdot Cp_{m,100^\circ c} \cdot (Tf_m - Ti_m)$$

Donde:

- $q_m$  es la cantidad de calor que cederán las melazas.
- $M_m$  es la masa de melazas en el reactor.
- $Cp_{m,100^\circ c}$  es el calor específico de las melazas a  $100^\circ C$  (3,45 kJ/kg $^\circ C$ ).
- $Tf_m$  es la temperatura final de las melazas ( $30^\circ C$ ).
- $Ti_m$  es la temperatura inicial de las melazas a ( $100^\circ C$ ).

La masa de melazas en el reactor será de 56 t pero se tomará para el cálculo 60 t como si el reactor estuviera totalmente lleno, así el sistema será capaz de absorber algo más de calor o de disiparlo más rápidamente, lo que proporcionará cierta holgura. Sustituyendo datos resulta un calor de -14.490 MJ.

El calor que debe absorber el serpentín será:

$$f \cdot Q_s = U_s \cdot A_T \cdot \Delta T_{ml}$$

Donde:

- El término  $f$  es un factor de seguridad, se toma un valor de 2.
- $Q_s$  es el caudal de calor absorbido por el serpentín.
- $U_s$  es el coeficiente global de transmisión de calor.
- $A_T$  es el área total de transferencia del serpentín, es el dato a obtener.
- $\Delta T_{ml}$  es el incremento de temperatura media logarítmica. Se ha tomado como temperatura de salida del agua en el serpentín, la media entre la

temperatura a la entra en el serpentín y la temperatura inicial de la masa del fermentador. Para la temperatura de entrada del agua en el serpentín se ha tomado el valor más restrictivo posible: 25°C.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{i_m} - T_{\text{agua\_entrada}}) - (T_{\text{agua\_salida}} - T_{f_m})}{\ln \frac{(T_{i_m} - T_{\text{agua\_entrada}})}{(T_{\text{agua\_salida}} - T_{f_m})}} = \frac{(100 - 25) - (62,5 - 30)}{\ln \frac{(100 - 25)}{(62,5 - 30)}} = 50,82^\circ C$$

El coeficiente global de transmisión de calor se obtiene como la suma de resistencias en paralelo del coeficiente de convección del agua del serpentín, el coeficiente de conducción del acero de la tubería y el coeficiente de convección de la melaza. Al ser el acero de la tubería un excelente conductor térmico, se va a despreciar la resistencia por conducción. En cuanto a la resistencia por convección de la melaza, según la bibliografía, supera los 6.000 W/m<sup>2</sup>°C (debido fundamentalmente a la agitación), por lo que se va a despreciar también. Por lo tanto el coeficiente global de transmisión de calor (U<sub>s</sub>) será, aproximadamente, el coeficiente de transmisión por convección en la masa de agua del serpentín (h).

Será necesario obtener el valor del coeficiente de convección para el agua, para ello se utilizan los números adimensionales de Nusselt, Reynolds y Prandtl y la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \Leftrightarrow Nu = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \Leftrightarrow Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \Leftrightarrow Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k}$$

Propiedades del agua a la temperatura media en el serpentín (43,75°C):

$$Cp = 4,17 \text{ kJ/kg}^\circ C$$

$$\rho = 991 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,64 \text{ J/ms}^\circ C$$

$$\mu = 0,000596 \text{ kg/ms}$$

Para realizar los cálculos se supone un caudal de 10 L/min, que es aproximadamente el doble del proporcionado por un grifo corriente, teniendo en

cuenta que el agua procederá de un tanque de almacenamiento. Como diámetro nominal de tubería se ha escogido 2", con un diámetro interno por especificación de 52,50 mm.

Pasando el caudal volumétrico a unidades de m<sup>3</sup>/s y multiplicando por la densidad resulta un caudal másico (w) de 0,17 kg/s.

$$V = \frac{w}{\rho \cdot S} = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{991 \cdot 0,08 \cdot 0,053}{0,000596} = 6.983,56$$

$$\text{Pr} = \frac{4.170 \cdot 0,000596}{0,64} = 3,88$$

$$h = \frac{\text{Nu} \cdot k}{D} = 0,023 \cdot \frac{k}{D} \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3} = 0,023 \cdot \frac{0,64}{0,053} \cdot 6.983,56^{0,8} \cdot 3,88^{0,4} = 568,07 \text{ J} / \text{m}^2 \text{ s}^\circ \text{C}$$

Llegado este punto queda despejar  $A_T$  del balance y especificar el tiempo que se desea que dure el enfriamiento, que va a ser de 5 horas.

$$q_m = M_m \cdot C_{p_{m,100^\circ\text{C}}} \cdot (T_{f_m} - T_{i_m}) \quad f \cdot Q_S = U_S \cdot A_T \cdot \Delta T_{ml} \quad Q_S = \frac{q_m}{t_{\text{enfriamiento}}}$$

$$A_T = \frac{f \cdot M_m \cdot C_{p_{m,100^\circ\text{C}}} \cdot (T_{f_m} - T_{i_m})}{t_{\text{enfriamiento}} \cdot U_S \cdot \Delta T_{ml}} = 55,79 \text{ m}^2$$

Como medida para mejorar el rendimiento del sistema de refrigeración, se dividirá el serpentín en tres zonas que se colocarán consecutivamente a partir de la unión del fondo con la virola y hacia arriba. De esta manera la unidad tendrá tres entradas y tres salidas de refrigerante, suavizando así el perfil de temperaturas en el fermentador. Cada camisa tendrá un área de intercambio de 18,59 m<sup>2</sup>.

Para terminar, se calcula el número de vueltas de cada camisa refrigerante y la altura de cada una de ellas:

$$A_{camisa} = \frac{\pi \cdot D_{tubería} \cdot L_{tubería}}{2} \Rightarrow L_{tubería} = 225,42 \text{ m}$$

$$Vueltas = \frac{L_{tubería}}{Perímetro\_fermentador} = \frac{225,42}{11,18} = 20,16 \approx 21 \text{ vueltas}$$

$$Altura_{camisa} = Vueltas \cdot D_{ex\_tubería} = 1,26 \text{ m}$$

## 6. PARÁMETROS DE LA ESTERILIZACIÓN

La esterilización se llevará a cabo inyectando vapor procedente de una caldera el cual entrará al fermentador por el sistema de aireación. Este vapor se mezclará con las melazas diluidas y condensará, diluyendo aun más el medio. La concentración final de las melazas, una vez terminada la esterilización, deberá ser del 20%, por lo que habrá que tener en cuenta la cantidad de vapor que se introduce para esterilizar.

Para poder esterilizar el medio será necesario que éste se mantenga a una temperatura de 100°C durante 25 minutos (la razón del empleo de este tiempo se explica en el siguiente apartado), a este tiempo habrá que sumar el que se tarda en calentar las melazas diluidas hasta los 100°C. Se ha fijado como tiempo de calentamiento una hora, de manera que la etapa durará en total 1 hora y 25 minutos.

Se van a realizar dos balances de energía, en el primero se determinará el caudal de vapor necesario para calentar las melazas diluidas de 20°C (suponiendo ésta como temperatura de la melaza en el depósito) a 100°C. En el segundo balance se obtendrá el caudal de vapor necesario para mantener esta temperatura durante 25 minutos. De ambos caudales se puede obtener la cantidad de vapor que se ha introducido y que habrá de restarse de la cantidad de agua a añadir para la dilución de las melazas de 50% a 20%.

### PRIMER BALANCE

Calor cedido por el vapor = Calor absorbido por las melazas + Pérdidas en alrededores

- El calor por unidad de masa cedido por el vapor será la suma de tres factores:

1. Calor por unidad de masa cedido al enfriarse el vapor desde la temperatura de entrada (140°C) hasta su temperatura de saturación (100°C):  $Cp_{vapor} \cdot (T_{entrada\_vapor} - T_{sat})$
2. Calor por unidad de masa cedido por el vapor al condensar:  $\lambda_c$
3. Calor por unidad de masa cedido por el agua resultante de la condensación; como irá disminuyendo a medida que avance el calentamiento, se tomará como temperatura inicial la media entre la temperatura inicial y final de la melaza:  $Cp_{agua} \cdot (Tf_{agua} - Ti_{agua})$

$$\bar{q}_v = Cp_{vapor} \cdot (T_{sat} - T_{entrada\_vapor}) + \lambda_c + Cp_{agua} \cdot (Tf_{agua} - Ti_{agua})$$

$$\bar{q}_v = 0,5 \cdot (100 - 140) - 538,7 + 1,01 \left( 20 - \frac{100 + 20}{2} \right) = -599,10 \text{ kcal/kg}$$

- El calor absorbido por las melazas se evalúa como:

$$q_m = M_{melazas} \cdot Cp_{melazas(60^\circ C)} \cdot (Tf_{melazas} - Ti_{melazas}) = 56.000 \cdot 0,79 \cdot (100 - 20) = 3.539.200 \text{ kcal}$$

- El calor perdido por los alrededores se evalúa de la siguiente manera:

$$q_a = U \cdot A \cdot t \cdot (T_{melaza} - T_{medio}) = 10,2 \cdot 67,69 \cdot 3.600 \cdot (333 - 303) = 74.567,30 \text{ kJ} = 17.839,06 \text{ kcal}$$

Donde:

- U es el coeficiente global de transmisión de calor en las paredes del fermentador. Para tanques sobre patas no aislados en el interior de recintos la bibliografía da el valor de 10,20 W/m<sup>2</sup>K.
- A es el área total que el fermentador expone al exterior, en este caso se aproxima el área total al área lateral ya que el área de fondo y techo será sensiblemente inferior y despreciable.

- $t$  es el tiempo de operación que, como se indicó anteriormente, es de 60 minutos.
- $T_{\text{melazas}}$  es la temperatura media de la masa de melazas en el interior del fermentador entendida como aproximación a la temperatura que existirá en la pared del mismo.
- $T_{\text{medio}}$  es la temperatura del medio circundante.

Resolviendo el balance:

$$599,10 \cdot M_{\text{vapor}} = 3.539.200 + 17.839,06 \Rightarrow M_{\text{vapor}} = 5.937,30 \text{ kg}$$

Según el balance se necesitará 5.937,30 kilogramos de vapor, si la operación dura 60 min se necesita un caudal de vapor de 5,94 t/h.

## SEGUNDO BALANCE

Calor cedido por el vapor = Pérdidas en los alrededores

En este caso para el vapor sólo intervendrán el calor de enfriamiento hasta la temperatura de condensación y el calor latente de condensación. El calor perdido por los alrededores se evalúa de la misma manera pero teniendo en cuenta que esta operación dura 25 minutos.

$$\bar{q}_v = C_{p_{\text{vapor}}} \cdot (T_{\text{sat}} - T_{\text{entrada\_vapor}}) + \lambda_c = -558,70 \text{ kcal/kg}$$

$$q_a = U \cdot A \cdot t \cdot (T_{\text{melaza}} - T_{\text{medio}}) = 10,2 \cdot 67,69 \cdot 1.500 \cdot (333 - 303) = 31.069,71 \text{ kJ} = 7.432,94 \text{ kcal}$$

Según este balance se necesita 13,30 kg de vapor, lo que dará un caudal de 31,93 kg/h.

El caudal necesario para el mantenimiento de la temperatura es sensiblemente inferior al necesario para el incremento de la misma, por lo que, a la hora de elegir una caldera comercial, sólo se tendrá en cuenta el mayor. Para tener cierto margen de maniobra y sobredimensionar el sistema se incrementará el caudal obtenido un 20%, así pues, la caldera deberá de proporcionar un caudal de vapor aproximado de 7,13 t/h. El vapor total necesario a introducir en el fermentador, a efectos de dilución del medio, será 5.950,60 kg.

## 6.1. TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN

Las especies de microorganismos más frecuentes que se pueden encontrar en las melazas dependerán del tipo de difusor del que provengan, en este caso la difusión es en batería y las especies principales son, en orden de importancia: *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megatherium*. Para determinar el tiempo necesario para la esterilización se supondrá que las melazas poseen una alta contaminación.

La relación entre el número de células o esporas viables y el tiempo de tratamiento es la siguiente:

$$\text{Log} \frac{N}{N_0} = -\frac{T}{D}$$

Donde:

- N es el número de células viables tras el tratamiento. En principio, debido a la duración de la fermentación y al gran volumen del reactor, se exigirá una reducción a la billonésima parte de la población inicial.
- $N_0$  es el número de células viables antes del tratamiento. Suponiendo una alta contaminación de las melazas existirán del orden de 5 millones de células por gramo de melaza y si en el reactor intervienen 22,40 toneladas de melaza, habrá  $1,12 \times 10^{14}$  células.
- D es el tiempo de reducción decimal, se toma el valor más restrictivo para esporas mesófilas a una temperatura de 100°C, que es de medio minuto.
- T es la duración del tratamiento que se debe aplicar.

$$\text{Log} \frac{1,12 \times 10^2}{1,12 \times 10^{14}} = -\frac{T}{0,5}$$

Se ha obtenido un tiempo de tratamiento de 6 minutos para eliminar los microorganismos y esporas mesófilas con una temperatura de 100°C. Sin embargo, para determinar tiempos de esterilización en la industria alimentaria se suele utilizar como referencia la bacteria *Clostridium botulinum*, ya que produce una toxina muy peligrosa, además de ser un microorganismo muy resistente térmicamente. El *Clostridium botulinum* es perfectamente viable tanto en el sustrato como en la temperatura y pH de la fermentación que se estudia, por lo que el tratamiento térmico deberá estar supeditado a la eliminación de este microorganismo.

Según fuentes consultadas, la cepa más resistente a la temperatura de *Clostridium botulinum* se elimina con 25 minutos a 100°C, un tiempo sensiblemente superior al calculado, por ello se toma como tiempo de esterilización estos 25 minutos y no los 6 calculados previamente.

## 7. LECHADA DE CAL

### 7.1. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR DE LECHADA

Este reactor tendrá un volumen de 90 m<sup>3</sup> y para su cálculo mecánico se impondrá una relación altura-diámetro de 1,7. Con estos datos se calculan diámetro y altura del recipiente:

$$\frac{H}{D} = 1,7 \quad V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad D = 4,07 \text{ m} \quad H = 6,92 \text{ m}$$

Seguidamente se va a calcular el espesor de pared, que será el valor máximo entre las siguientes expresiones:

$$t = 0,1181 + C$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

Donde:

- R es el radio interno en pulgadas.
- E es la eficiencia de soldadura, se toma el valor de 0,85.
- S es el límite elástico del material. Como en los cálculos anteriores, el material de construcción será acero SA-283 grado C con una tensión admisible de 12.700 psi.
- P es la presión de diseño, 50 psi por especificación.
- C es el sobreespesor de corrosión, se utiliza el valor de 0,06 pulgadas.

Sustituyendo datos:

$$t = 0,1181 + C = 0,18''$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 80,12}{12.700 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 50} + 0,06 = 0,43''$$

Según estos cálculos el espesor tomado, redondeando al alza, será de 1,10 cm según el reglamento de equipos sometidos a presión.

Tanto el fondo como el techo del recipiente serán formas elipsoidales 2:1 tabuladas en el código ASME cuyo espesor de pared se calcula mediante la expresión:

$$t_F = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 160,24}{2 \cdot 12.700 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 50} + 0,06 = 0,43''$$

Por lo tanto el espesor de fondos será también de 1,10 centímetros.

## 7.2. DISEÑO DEL SERPENTÍN

En el reactor de lechada se utilizará un serpentín interno compuesto por una conducción de 2" de diámetro nominal. Este serpentín ha de cumplir dos funciones:

1. Disipar el calor producido durante la reacción de formación del citrato.
2. Tras la reacción, aumentar la temperatura del lodo formado con el citrato hasta 90°C antes de pasar al filtro rotatorio.

Como la función más restrictiva es la segunda, se diseñará teniendo en cuenta ésta, sabiendo que así será capaz de responder a la otra, que es menos exigente. Como tiempo necesario para realizar la operación se ha fijado una hora. Para calefactar el medio se utilizará vapor condensante procedente de la caldera.

Aplicando el balance energético al reactor:

$$\begin{array}{l} \text{Calor cedido} \\ \text{por el vapor} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Calor absorbido por el} \\ \text{medio dentro del reactor} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Calor absorbido por los} \\ \text{alrededores del reactor} \end{array}$$

El calor absorbido por el medio circundante va a ser sensiblemente inferior a los otros términos del balance y se va a despreciar.

Se evalúa el calor cedido por el vapor de la siguiente manera:

$$q_v = M_v \cdot \lambda$$

Donde:

- $q_v$  es la cantidad de calor que cederá el vapor.
- $M_v$  es la masa de vapor necesaria para el proceso.
- $\lambda$  es el calor latente de condensación del vapor.

El calor absorbido por el medio dentro del reactor será:

$$q_i = M_i \cdot Cp \cdot (T_f - T_i)$$

Donde:

- $q_i$  es el calor absorbido por el medio interno del reactor.
- $M_i$  es la masa del medio interno (unas 67 t).
- $Cp$  es el calor específico de la mezcla en el interior del reactor a la temperatura media entre los valores inicial y final. Al estar formada esta mezcla, aproximadamente, por un 80% de agua se tomará el calor específico de ésta. Como en realidad el calor específico es algo menor por la presencia de sólidos, se obtendrá un sistema con cierto grado de sobredimensionamiento, lo que proporcionará cierto margen de maniobra al poder calentar más rápido la masa o poder tratar más cantidad de masa en el mismo tiempo.
- $T_i$  es la temperatura inicial del medio (50°C).
- $T_f$  es la temperatura final que se quiere alcanzar (90°C).

Por último se introduce la ecuación de transmisión de calor a través del serpentín:

$$f \cdot Q_s = U_s \cdot A_T \cdot \Delta T_{ml}$$

Donde:

- $f$  es un factor de seguridad, en este caso se toma como 1,2.
- $Q_s$  es el caudal de calor transmitido por el área del serpentín.

- $U_s$  es el coeficiente global de transmisión de calor, en este caso se tomará el dato bibliográfico de  $1.420 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .
- $A_T$  es el área total que el reactor expone al exterior, en este caso se aproxima el área total al área lateral ya que el área de fondo y techo será sensiblemente inferior y despreciable.
- $\Delta T_{ml}$  es el incremento de temperatura medio logarítmico.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{\text{vapor\_entrada}} - T_i) - (T_{\text{vapor\_salida}} - T_f)}{\ln \frac{(T_{\text{vapor\_entrada}} - T_i)}{(T_{\text{vapor\_salida}} - T_f)}} = \frac{(140 - 50) - (100 - 90)}{\ln \frac{(140 - 50)}{(100 - 90)}} = 36,41^\circ \text{C}$$

Igualando los términos del balance y teniendo en cuenta que el tiempo de operación ( $t$ ) será una de una hora:

$$q_v = M_v \cdot \lambda = q_i = M_i \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) = f \cdot Q_s \cdot t = U_s \cdot A_T \cdot t \cdot \Delta T_{ml}$$

$$A_T = \frac{f \cdot M_i \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)}{t \cdot U_s \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{1,2 \cdot 67.000 \cdot 4.180 \cdot (90 - 50)}{3.600 \cdot 1.420 \cdot 36,41} = 72,22 \text{ m}^2$$

Como medida para mejorar el rendimiento del sistema de refrigeración, se dividirá el serpentín en tres zonas que se colocarán consecutivamente a partir de la unión del fondo con la virola y hacia arriba. De esta manera la unidad tendrá tres entradas y tres salidas de refrigerante suavizando así el perfil de temperaturas en el reactor. Cada camisa tendrá un área de intercambio de  $24,08 \text{ m}^2$ .

Para terminar, se calcula el número de vueltas de cada camisa refrigerante y la altura de cada una de ellas:

$$A_{\text{camisa}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{tubería}} \cdot L_{\text{tubería}}}{2} \Rightarrow L_{\text{tubería}} = 289,24 \text{ m}$$

$$Vueltas = \frac{L_{tubería}}{Perímetro\_ fermentador} = \frac{289,24}{12,85} = 22,51 \approx 23 \text{ vueltas}$$

$$Altura_{camisa} = Vueltas \cdot D_{tubería} = 1,37 \text{ m}$$

Para calcular el caudal de vapor necesario para el proceso, se iguala los dos primeros términos del balance:

$$M_v \cdot \lambda = M_i \cdot Cp \cdot (T_f - T_i) \Rightarrow M_v = \frac{67.000 \cdot 4.180 \cdot (90 - 50)}{2.251.766} = 4.974,94 \text{ kg}$$

Según este cálculo será necesario, redondeando al alza y teniendo en cuenta el tiempo de operación, un caudal de vapor de 5,00 t/h.

## 8. DESCOMPOSICIÓN DEL CITRATO

### 8.1. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR DE CRAQUEO

Para dimensionar el reactor de craqueo del citrato se procede de igual manera que en casos anteriores. También se utilizará como material de construcción acero SA-283 grado C.

La relación altura-diámetro, siguiendo criterios anteriores, será de 1,7. Según esta relación y conociendo el volumen del reactor ( $90 \text{ m}^3$ ), se calcula tanto el diámetro interior como la altura del recipiente:

$$\frac{H}{D} = 1,7 \quad V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad D = 4,07 \text{ m} \quad H = 6,92 \text{ m}$$

Seguidamente se calcula el espesor de pared, que será el valor máximo entre las siguientes expresiones:

$$t = 0,1181 + C$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

Donde:

- R es el radio interno en pulgadas.
- E es la eficiencia de soldadura, se toma el valor de 0,85.
- S es el límite elástico del material. Aunque el tanque sea de acero recubierto internamente por polipropileno reforzado con fibra de vidrio, se supondrá que el límite elástico es el del acero sin tener en cuenta este refuerzo (12.700 psi).

- P es la presión de diseño. Aunque el reactor va a trabajar a presión atmosférica, por especificación se elige 50 psi como presión de diseño.
- C es el sobreespesor de corrosión, se utiliza el valor de 0,06 pulgadas.

Sustituyendo datos:

$$t = 0,1181 + C = 0,18''$$

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 80,12}{12.700 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 50} + 0,06 = 0,43''$$

Según estos cálculos el espesor tomado, redondeando al alza, será de 1,1 cm según el reglamento de equipos sometidos a presión.

Como fondo y techo del recipiente se utilizarán formas elipsoidales 2:1 tabuladas en el código ASME, cuyos espesores se calculan mediante la siguiente la expresión:

$$t_F = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C = \frac{50 \cdot 160,24}{2 \cdot 12.700 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 50} + 0,06 = 0,43''$$

Por lo tanto el espesor de fondos será también de 1,1 centímetros.

## 8.2. DISEÑO DEL SERPENTÍN REFRIGERANTE

La reacción producida será exotérmica por lo que se necesita un serpentín interno refrigerante que mantenga la temperatura por debajo de los 60 grados centígrados para no perder efectividad en la conversión, se usará 50°C como temperatura de control.

Como en anteriores casos, el serpentín será interno al reactor y estará formado por tubería normalizada de 2". Seguidamente se realiza un balance energético para determinar la longitud de serpentín necesaria.

Calor producido por la reacción = Calor absorbido por el agua del serpentín + Calor absorbido por los alrededores del reactor

El calor absorbido por los alrededores se va a despreciar al ser sensiblemente inferior a los otros términos del balance.

El calor producido por la reacción será de 520,35 kJ por cada kilogramo de ácido sulfúrico que reacciona. Como van a intervenir en el proceso 7.125 kilogramos de sulfúrico, el calor total producido por la reacción será de 3.707,49 MJ.

El calor que debe absorber el serpentín se evalúa de la siguiente manera:

$$f \cdot Q_s = U_s \cdot A_T \cdot \Delta T_{ml}$$

Donde:

- El término f es un factor de seguridad, se tomará un valor de 2.
- $Q_s$  es el caudal de calor absorbido por el serpentín.
- $U_s$  es el coeficiente global de transmisión de calor.
- $A_T$  es el área total de transferencia del serpentín, es el dato a obtener.

- $\Delta T_{ml}$  es el incremento de temperatura media logarítmica. Se ha tomado como temperatura de salida del agua en el serpentín, la media entre la temperatura a la entra en el serpentín (25°C) y la temperatura de la masa del reactor (50°C). Para la temperatura de entrada del agua en el serpentín se ha tomado el valor más restrictivo posible: 25°C.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{reactor} - T_{agua\_entrada}) - (T_{reactor} - T_{agua\_salida})}{Ln \frac{(T_{reactor} - T_{agua\_entrada})}{(T_{reactor} - T_{agua\_salida})}} = \frac{(50 - 25) - (50 - 37,5)}{Ln \frac{(50 - 25)}{(50 - 37,5)}} = 18,03^\circ C$$

El coeficiente global de transmisión de calor se obtiene como la suma de resistencias en paralelo del coeficiente de convección del agua del serpentín, el coeficiente de conducción del acero de la tubería y el coeficiente de convección del medio de reacción. Al ser el acero de la tubería un excelente conductor térmico, se va a despreciar la resistencia por conducción. En cuanto a la resistencia por convección del medio de reacción, debido fundamentalmente a la agitación, tendrá un valor muy elevado, por lo que se va a despreciar también esta resistencia. Por lo tanto el coeficiente global de transmisión de calor ( $U_s$ ) será aproximadamente el coeficiente de transmisión por convección en la masa de agua del serpentín ( $h$ ).

Será necesario obtener el valor del coeficiente de convección para el agua, para ello se usarán los números adimensionales de Nusselt, Reynolds y Prandtl y la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \Leftrightarrow Nu = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \Leftrightarrow Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \Leftrightarrow Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k}$$

Propiedades del agua a la temperatura media en el serpentín (31,25°C):

$$Cp = 4,17 \text{ kJ/kg}^\circ C$$

$$\rho = 995,70 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,62 \text{ J/ms}^\circ C$$

$$\mu = 0,0008 \text{ kg/ms}$$

Para realizar los cálculos se fijará un caudal de agua de 10 L/min como en el caso del fermentador. Como diámetro nominal de tubería se toma 2", con un diámetro interno por especificación de 52,5 mm.

Pasando el caudal volumétrico a unidades de m<sup>3</sup>/s y multiplicando por la densidad resulta un caudal másico (w) de 0,17 kg/s.

$$V = \frac{w}{\rho \cdot S} = 0,08 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{995,70 \cdot 0,08 \cdot 0,053}{0,0008} = 5.277,21$$

$$Pr = \frac{4.170 \cdot 0,0008}{0,62} = 5,38$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} = 0,023 \cdot \frac{k}{D} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 0,023 \cdot \frac{0,62}{0,053} \cdot 5.277,21^{0,8} \cdot 5,38^{0,4} = 501,28 \text{ J/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$$

Llegado este punto queda despejar A<sub>T</sub> del balance y especificar el tiempo que durará la reacción, que va a ser de 5 horas.

$$q_r = 3.707,49 \text{ MJ} \quad f \cdot Q_s = U_s \cdot A_T \cdot \Delta Tml \quad Q_s = \frac{q_r}{t_{reacción}}$$

$$A_T = \frac{f \cdot q_r}{t_{reacción} \cdot U_s \cdot \Delta Tml} = \frac{2 \cdot 3.707.493.750}{5 \cdot 3600 \cdot 501,28 \cdot 18,03} = 45,58 \text{ m}^2$$

Como medida para mejorar el rendimiento del sistema de refrigeración, se dividirá el serpentín en dos zonas que se colocarán consecutivamente a partir de la unión del fondo con la virola y hacia arriba. De esta manera la unidad tendrá dos entradas y dos salidas de refrigerante suavizando así el perfil de

temperaturas en el reactor. Cada camisa tendrá un área de intercambio de 15,19 m<sup>2</sup>.

Para terminar, se calcula el número de vueltas de cada camisa refrigerante y la altura de cada una de ellas:

$$A_{camisa} = \frac{\pi \cdot D_{tubería} \cdot L_{tubería}}{2} \Rightarrow L_{tubería} = 184,24 \text{ m}$$

$$Vueltas = \frac{L_{tubería}}{Perímetro\_fermentador} = \frac{184,24}{12,85} = 14,34 \approx 15 \text{ vueltas}$$

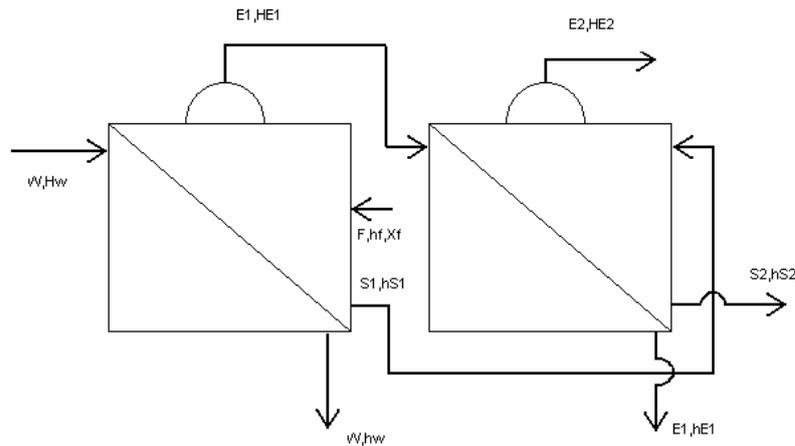
$$Altura_{camisa} = Vueltas \cdot D_{ex\_tubería} = 0,90 \text{ m}$$

## 9. DIMENSIONAMIENTO DEL EVAPORADOR

El objetivo es concentrar la disolución de alimentación compuesta por ácido cítrico y agua del 10% hasta el 67%, que es la concentración con la que entrará en el cristalizador. Para ello se usará un evaporador de doble efecto, debido las condiciones de la alimentación se desprecia el efecto de la elevación del punto de ebullición y el calor de disolución. Como fuente de calor se usará vapor a 2 atm de presión y 140°C de temperatura.

La alimentación estará compuesta por un máximo de 9,3 toneladas de ácido cítrico y 93 toneladas de agua (se va a evaluar el caso más desfavorable, es decir, la alimentación más diluida posible). Se tomará, para calcular el caudal de alimentación, un tiempo de operación de 6 horas, lo que da 17.050 kg/h de caudal de alimentación. La temperatura de entrada será 40°C y se supondrá también 40°C como la temperatura de salida del equipo, por lo que, la presión en este último efecto será de  $7,50 \times 10^{-2}$  atmósferas. Como el evaporador trabajará en vacío será necesario una bomba de vacío y un condensador. Cuanto más vacío se haga, menos área de transferencia de calor y más pequeño y barato es el evaporador, pero más potencia de bomba de vacío por lo tanto más cara y más energía consumida.

Según la bibliografía consultada, para el tipo de evaporadores usado, con circulación natural de un fluido no viscoso, el coeficiente de transferencia de calor está entre los 2.300 W/m<sup>2</sup>K y los 11.000 W/m<sup>2</sup>K. Se ha tomado para el cálculo un valor de transferencia muy cercano al valor inferior, 2.800 W/m<sup>2</sup>K de manera que el sistema quedará sobredimensionado ya que el coeficiente de transferencia será en realidad superior a esta cifra.



Para resolver el sistema se realiza un balance de materia y un balance entálpico:

	Total	Agua	Ácido Cítrico
Alimentación	17.050 kg/h	15.345 kg/h	1.705 kg/h
Concentrado	2.544,78 kg/h	839,78 kg/h	1.705 kg/h
Evaporado	14.505,22 kg/h	14.505,22 kg/h	0

Para resolver el balance entálpico es necesario evaluar la diferencia útil de temperatura que es la diferencia entre la temperatura del vapor vivo en el primer efecto y la temperatura de evaporación en el último efecto. Esta diferencia útil se reparte entre el número de ciclos proporcionalmente a sus coeficientes de transferencia y áreas, como se tiene el mismo evaporador en ambos efectos, se reparte la diferencia útil de temperatura entre los dos efectos.

$$\Delta T_u = \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad \Delta T_1 = \Delta T_2 = 50^\circ\text{C}$$

	Temperatura (°C)	$\lambda$ (kcal/kg)	h (kcal/kg)	H (kcal/kg)
Vapor vivo	140	511,91	-	-
Condensado 1	90	545,12	90	635,12
Condensado 2	40	574,72	40	614,72
Alimentación	40	-	40	-

$$\text{Efecto 1: } 511,90 \cdot W + 17.050 \cdot 40 = 635 \cdot E_1 + (17.050 - E_1) \cdot 90$$

$$\text{Efecto 2: } 545,12 \cdot E_1 + (17.050 - E_1) \cdot 90 = 614,72 \cdot E_2 + 2.544,78 \cdot 40$$

$$E_1 + E_2 = 14.505,22$$

Resolviendo el balance resulta:

$$E_1 = 7.735 \text{ kg/h}$$

$$E_2 = 7.289 \text{ kg/h}$$

$$W = 10.676 \text{ kg/h}$$

Evaluado los calores en ambos efectos:

$$Q_1 = W \cdot \lambda = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1$$

$$Q_2 = E_1 \cdot \lambda = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2$$

Sabiendo que tanto el área, el coeficiente de transferencia y el incremento de temperatura es igual en ambos efectos y despejando el área en cada ecuación:

$$\text{Efecto 1: } A = 33,32 \text{ m}^2$$

$$\text{Efecto 2: } A = 27,24 \text{ m}^2$$

Se ha considerado que ambas áreas resultan suficientemente parecidas y no se hará una reiteración de cálculos cambiando la distribución del incremento útil de temperatura. Por último se aplicará un factor de seguridad del 20% a la mayor de las áreas estimadas y se redondea. Se necesitarán pues dos

evaporadores de 40 m<sup>2</sup> de área de transferencia para tratar la alimentación en el tiempo estipulado.

Una vez elegido el evaporador comercial y según las características de éste, se modificará el caudal de entrada de manera que se obtenga la concentración objetivo. El factor de seguridad aplicado asegurará que la alimentación pueda ser tratada en el tiempo previsto.

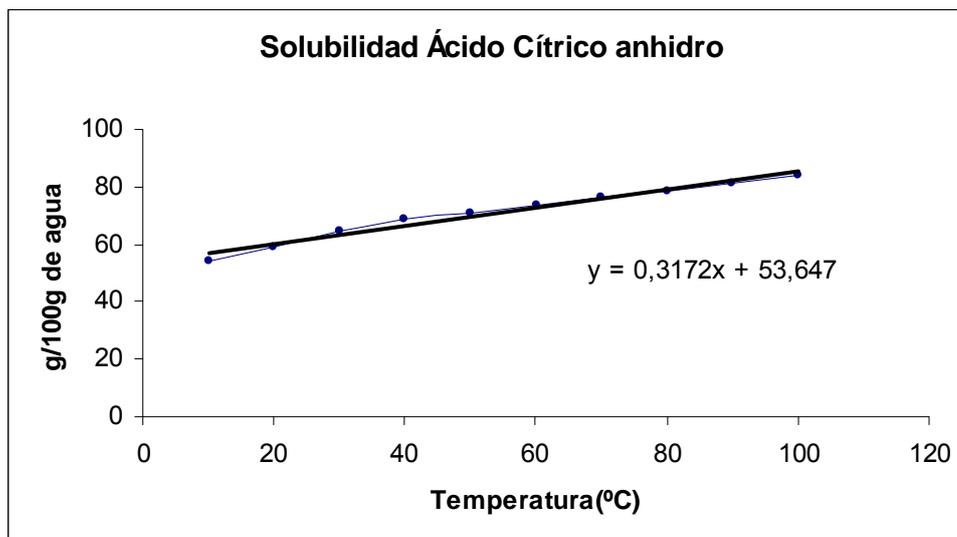
Por último, indicar que usando varios simuladores con las condiciones antes mencionadas, las áreas de transferencia obtenidas no han sobrepasado los 40 m<sup>2</sup> por lo que se tomará finalmente como válidos los cálculos realizados.

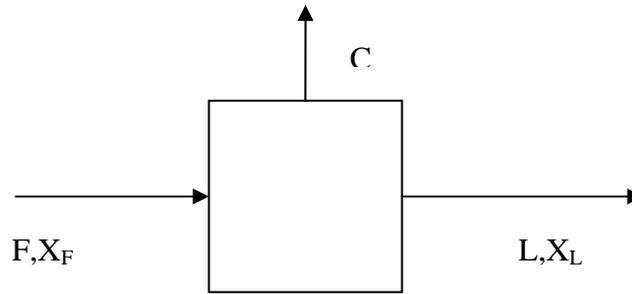
## 10. CRISTALIZADOR

El objetivo es cristalizar una disolución proveniente del evaporador concentrada al 67% y a 40°C de temperatura. La disolución entrará en el cristalizador donde encontrará vacío y se enfriará, evaporándose espontáneamente el disolvente, produciéndose sobresaturación, lo que provocará el comienzo de la nucleación y del crecimiento cristalino.

La temperatura de equilibrio en el cristalizador es otro factor a tener en cuenta: una cristalización por encima de los 37°C dará como resultado cristales de ácido cítrico anhidro, que es lo que se busca, pero si se opera a menos de ésta temperatura se produce ácido cítrico monohidratado. Son productos distintos por lo que es necesario controlar las variables para que se forme el anhidro.

Se tomará como temperatura de cristalización 38°C y se realiza un balance de materia para averiguar el rendimiento cristalino de la operación, para lo cual será necesaria la curva de solubilidad. Seguidamente se presenta una curva procedente de la representación de una tabla de valores encontrada en la bibliografía:





Balance de materia:

kg/h	Alimentación	Cristales	Licor madre
Agua	839,78	0	839,78
Ácido Cítrico	1.705	1.153,26	551,74
Total	2.544,78	1.153,26	1.391,52

Según el balance, el rendimiento en cristales es de un 67,64%, sin embargo, en la industria, usando cristalizadores convencionales, sólo se llega a un rendimiento del 40% a 50% debido a que, más allá de este punto, se produce inclusión de impurezas en los cristales, fenómeno que se incrementa cuando se usan melazas como materia prima y se utiliza el proceso cal-sulfúrico para purificar el producto. A pesar de este inconveniente, se tomarán los datos del balance como válidos para así tener un sobredimensionamiento de las unidades posteriores, ya que no se conoce el rendimiento real del proceso de cristalización que se va a implantar.

Otros aspectos que se deben de tener en cuenta a la hora de diseñar un cristizador son la velocidad de nucleación y la velocidad de crecimiento de los cristales. Aunque se pueden hacer estimaciones teóricas de estas velocidades, para obtener datos aplicables a la realidad se debe hacer experimentación en planta piloto con la corriente de alimentación que se tratará y un cristizador de escala apropiada, para luego escalar los valores al proceso real.

En lugar de hacer este tipo de experimentación, simplemente se proporcionarán los datos necesarios a una empresa suministradora que posea experiencia y recursos necesarios para dar respuesta a las necesidades de cristalización del producto.

## 11. BALANCE DE MATERIA

Aunque en puntos anteriores se han resuelto parcialmente algunos balances para el diseño de ciertas unidades, es necesario presentar un balance de materia más amplio para conocer en profundidad todas las corrientes asociadas al proceso.

A continuación se muestra el balance de materia global realizado con el programa Super Pro Designer. El detalle de las corrientes se puede ver en el apartado “Simulación de Planta”.

### ENTRADAS AL PROCESO

kg/ciclo	L1	L2	L3	L8	L11	L16	L21	L24	L27	L30	L45
Agua	236.000	89.600	10.000	-	-	-	161.100	62.478	627.300	38.200	-
Biomasa	-	-	-	-	2.000	-	-	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	8.650	-	-	-	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	-	-	-	155.900	-	-	-	-	38.241
Nitrógeno	-	-	-	-	-	586.496	-	-	-	-	143.859
Cal	-	-	-	-	-	-	53.700	-	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	69.700	-	-
Impurezas	672	22.400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sacarosa	-	112.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	236.672	224.000	10.000	8.650	2.000	742.396	214.800	56.540	697.000	38.200	182.100
$\rho$ (kg/L)	1	1,225	1	-	1,050	0,012	1,160	1	1,066	1	0,012

### SALIDAS AL PROCESO

kg/ciclo	L4	L13	L19	L26	L31	L36	L41	L43	L44
Agua	9.600	-	3.723	530.289	46.614	607.902	31.124	36.420	-
Biomasa	-	-	11.002	-	-	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	87	-	-	-	-	-
Oxígeno	-	121.353	-	-	-	-	-	38.241	-
Nitrógeno	-	586.496	-	-	-	-	-	143.858	-
Dióxido de carbono	-	16.102	-	-	-	-	-	-	-
Cal	-	-	-	602	-	-	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-	-	7	-	-	-	-
Impurezas	22.400	-	-	-	-	-	-	-	-
Sacarosa	-	-	23	2.189	-	-	-	-	-
Citrato cálcico	-	-	-	-	2.417	-	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-	-	108.450	-	-	-	-
Ácido cítrico	-	-	97	927	894	-	2.570	-	86.644
Total	32.000	723.951	15.718	534.092	158.382	607.902	33.696	218.519	86.644
Temperatura(°C)	25	30	30	48	58	40	25	40	40
Densidad(kg/L)	1	0,012	1,058	1,002	1,643	1	1,027	0,014	1,542

A continuación se expone un balance de materia a las unidades más importantes del proceso de producción para todo un ciclo, es decir, una vez acabados los 10 fermentadores.

### Filtración 1

kg/ciclo	Entradas		Salidas	
	L2	L3	L4	L5
Agua	89.600	10.000	9.600	90.000
Biomasa	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-
Cal	-	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-	-
Impurezas	22.400	-	22.400	-
Sacarosa	112.000	-	-	112.000
Citrato cálcico	-	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-	-
Ácido cítrico	-	-	-	-
Total	224.000	10.000	32.000	202.000
Temperatura(°C)	25	25	25	25
Densidad(kg/L)	1,125	1	1	1,256

### Fermentación

kg/ciclo	Entradas			Salidas	
	L10	L11	L14	L12	L17
Agua	326.000	-	-	-	360.107
Biomasa	-	2.000	-	-	11.002
Nutrientes	865	-	-	-	86
Oxígeno	-	-	155.900	121.353	-
Nitrógeno	-	-	586.496	586.496	-
Dióxido de carbono	-	-	-	16.102	-
Cal	-	-	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-	-	-
Impurezas	-	-	-	-	-
Sacarosa	112.000	-	-	-	2.211
Citrato cálcico	-	-	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-	-	-
Ácido cítrico	-	-	-	-	93686
Total	446.650	2.000	742.396	723.951	467.094
Temperatura(°C)	35	25	25	30	30
Densidad(kg/L)	1,101	1,050	0,012	0,012	1,079

### Filtración 2

kg/ciclo	Entrada	Salidas	
	L17	L19	L20
Agua	360.107	3.723	356.384
Biomasa	11.002	11.002	-
Nutrientes	86	-	86
Oxígeno	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-
Cal	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-
Impurezas	-	-	-
Sacarosa	2.211	23	2.188
Citrato cálcico	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-
Ácido cítrico	93.686	97	92.717
Total	467.094	15.718	451.376
Temperatura(°C)	30	30	30
Densidad(kg/L)	1,079	1,058	1,079

### Lechada

kg/ciclo	Entradas		Salidas
	L20	L21	L23
Agua	356.384	161.100	530.399
Biomasa	-	-	-
Nutrientes	86	-	86
Oxígeno	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-
Cal	-	53.700	602
Sulfúrico	-	-	-
Impurezas	-	-	-
Sacarosa	2.188	-	2.188
Citrato cálcico	-	-	131.973
Sulfato cálcico	-	-	-
Ácido cítrico	92.717	-	927
Total	451.376	214.800	666.176
Temperatura(°C)	30	25	50
Densidad(kg/L)	1,080	1,160	1,002

### Filtración 3

kg/ciclo	Entradas		Salidas	
	L23	L24	L25	L26
Agua	530.399	56.450	56.560	530.289
Biomasa	-	-	-	-
Nutrientes	86	-	-	87
Oxígeno	-	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-
Cal	602	-	-	602
Sulfúrico	-	-	-	-
Impurezas	-	-	-	-
Sacarosa	2.188	-	-	2.189
Citrato cálcico	131.973	-	131.973	-
Sulfato cálcico	-	-	-	-
Ácido cítrico	927	-	-	927
Total	666.176	56.450	188.533	534.092
Temperatura(°C)	50	25	48	48
Densidad(kg/L)	1,002	1	1	1,002

### Craqueo del citrato

kg/ciclo	Entradas		Salidas
	L25	L27	L29
Agua	56.560	627.300	683.860
Biomasa	-	-	-
Nutrientes	-	-	-
Oxígeno	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-
Cal	-	-	-
Sulfúrico	-	69.700	697
Impurezas	-	-	-
Sacarosa	-	-	-
Citrato cálcico	131.973	-	2.417
Sulfato cálcico	-	-	108.450
Ácido cítrico	-	-	90.110
Total	188.533	697.000	885.534
Temperatura(°C)	48	25	60
Densidad(kg/L)	1	1,066	1,117

### Filtración 4

kg/ciclo	Entradas		Salidas	
	L29	L30	L31	L32
Agua	683.860	38.200	46.614	675.446
Biomasa	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-
Cal	-	-	-	-
Sulfúrico	697	-	7	690
Impurezas	-	-	-	-
Sacarosa	-	-	-	-
Citrato cálcico	2.417	-	2.417	-
Sulfato cálcico	108.450	-	108.450	-
Ácido cítrico	90.110	-	894	89.215
Total	885.534	38.200	158.382	765.351
Temperatura(°C)	60	25	58	58
Densidad(kg/L)	1,117	1	1,643	1,042

### Evaporador

kg/ciclo	Entrada	Salidas	
	L35	L36	L37
Agua	675.446	607.902	67.544
Biomasa	-	-	-
Nutrientes	-	-	-
Oxígeno	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-
Cal	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-
Impurezas	-	-	-
Sacarosa	-	-	-
Citrato cálcico	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-
Ácido cítrico	89.215	-	89.215
Total	764.661	607.902	156.756
Temperatura(°C)	58	40	40
Densidad(kg/L)	1,042	1	1,250

### Centrifugación

kg/ciclo	Entrada	Salidas	
	L40	L41	L42
Agua	67.544	31.125	36.420
Biomasa	-	-	-
Nutrientes	-	-	-
Oxígeno	-	-	-
Nitrógeno	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-
Cal	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-
Impurezas	-	-	-
Sacarosa	-	-	-
Citrato cálcico	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-
Ácido cítrico	89.215	2.570	86.644
Total	156.756	33.695	123.064
Temperatura(°C)	28	25	25
Densidad(kg/L)	1,250	1,027	1,328

### Secado

kg/ciclo	Entradas		Salidas	
	L42	L45	L43	L44
Agua	36.420	-	36.420	-
Biomasa	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	-
Oxígeno	-	38.241	38.241	-
Nitrógeno	-	143.859	143.858	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-
Cal	-	-	-	-
Sulfúrico	-	-	-	-
Impurezas	-	-	-	-
Sacarosa	-	-	-	-
Citrato cálcico	-	-	-	-
Sulfato cálcico	-	-	-	-
Ácido cítrico	86.644	-	-	86.644
Total	123.064	182.100	218.519	86.644
Temperatura(°C)	25	25	40	40
Densidad(kg/L)	1,328	0,012	0,014	1,542

## 12. TUBERÍAS Y BOMBAS

### 12.1. RED DE TUBERÍAS

Será necesario, en primer lugar, dimensionar las tuberías para poder después obtener la potencia de bomba necesaria.

Para este proyecto se utilizará de manera general tubería normalizada de 10" excepto para el trasvase a corta distancia de una unidad de proceso a otra siempre que ambas tengan conexiones de entrada y salida de distinta especificación, por lo que en este caso se usa tubería normalizada de 4".

El material de la tubería será acero inoxidable AISI 316 ya que los requisitos de la planta no son muy severos respecto a corrosión, presión y temperatura. Excepción clara será la línea de transporte de ácido sulfúrico, que estará constituida por acero inoxidable AISI 316 con recubrimiento interno de polipropileno.

En cuanto al espesor de las tuberías, la conducción que más estrés va a sufrir, debido a la presión y temperatura, será la de conducción del vapor sobresaturado a fermentadores y evaporador, calculando su espesor por medio de la norma ANSI B 31.3 -1984:

$$t_m = \frac{PD}{2(SE + PY)} + C = \frac{42,76 \times 10}{2(20000 \times 0,85 + 42,76 \times 0,4)} + 0,06 = 0,07''$$

Este espesor resultante es inferior al schedule más pequeño para tuberías de acero inoxidable de 10", el 5S, por lo tanto es suficiente con tener un solo tipo de Schedule en toda la planta, el 5S. Esta tubería tiene un diámetro interno de 10,48", un área interna transversal de 86,29 pulg<sup>2</sup> y un peso de 15,19 lb/ft.

En la siguiente tabla se detalla longitud, codos, tes y diversos accesorios y válvulas de cada línea para facilitar el presupuesto obtenido de la empresa que se encargará de la construcción e instalación de la red de tuberías.

Línea	Longitud (metros)	Diámetro (inch)	Codos	Ts	Accesorios
Melazas-0	49,70	10	11	3	Reductor a 4" 2 válvulas ON/OFF 1 válvula regulación
Agua-0	180,20	10	17	14	2 reductores a 4" 12 reductores a 2" 5 válvulas ON/OFF 15 válvulas regulación
Agua-1, Melaza-1	91	10	9	7	Ensanche por reductor de 4" a 10" 10 válvulas de regulación 2 válvulas ON/OFF
Producto-0	61,40	10	9	8	Reductor a 4" 12 válvulas ON/OFF 1 válvula regulación
Vapor-0	37,90	10	8	3	Reductor a 4" 3 válvulas ON/OFF 1 válvula regulación
Aire-0, Vapor-1	74,70	10	16	8	10 reductores a 2" 2 válvulas ON/OFF 10 válvulas regulación
Descarga de emergencia	41,50	10	4	0	Válvula ON/OFF
Recirculación refrigerante	189	10	28	10	Reductor a 2" 2 válvulas ON/OFF
Producto-1	19,40	10	6	0	Válvula ON/OFF
Producto-2	28,40	10	5	0	Válvula ON/OFF
Sulfúrico-0	131,50	10	21	11	16 válvulas ON/OFF 1 válvula regulación Revestimiento de polipropileno
Producto-3	7	4	5	2	2 válvulas ON/OFF 1 válvula regulación
Producto-4	10	4	5	2	2 válvulas ON/OFF, válvula de regulación
Producto-5	11,50	4	6	2	2 válvulas ON/OFF 1 válvula de regulación
Producto-6	10	4	6	3	2 válvulas ON/OFF 2 válvulas de regulación
Agua-vapor	21,40	4	7	0	Válvula ON/OFF
Residuo-0	102,40	10	13	4	Ensanche por reductor de 4" a 10" 5 válvulas ON/OFF
Residuo 1	85,40	10	15	4	2 ensanches por reduct. de 4" a 10" 4 válvulas ON/OFF

Estos datos ayudarán al dimensionado de las bombas de cada línea. Habrá que tener en cuenta para la construcción y montaje que hay líneas comunes e individuales así como los acoples de unas redes con otras.

## 12.2. BOMBAS

La secuencia para el cálculo de la potencia de cada bomba ha sido la siguiente:

- Calcular el caudal máximo que va a soportar la línea. Se aumentará éste valor a efectos de cálculos posteriores para así tener un margen amplio de seguridad.
- Se halla la velocidad del fluido según el caudal, la densidad y la sección de tubería.
- Se calcula el número de Reynolds.
- Con el Reynolds y la rugosidad relativa (0,002 para la tubería de 10") se utiliza el diagrama de Moody para hallar un factor de fricción en caso de flujo turbulento. Para flujo laminar:  $f = \frac{64}{\text{Re}}$
- Se hace una determinación adicional del factor de fricción con la fórmula empírica  $f = 0,16\text{Re}^{-0,16}$ , se escoge el factor de fricción mayor.
- Se determina la longitud máxima que puede recorrer el fluido dentro de la tubería (camino más largo).
- Se determina la longitud equivalente de tubería sumando a la cifra anterior el equivalente en metros de tubo recto de todos los accesorios en el camino del flujo.

- Se calcula la pérdida de carga por la fórmula:  $hf = f \cdot \frac{L_e \cdot v^2}{D_i \cdot 2 \cdot g}$

- Se determina la altura útil de la bomba con la ecuación de Bernouilli:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (z_1 - z_2) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + hf_{1-2}$$

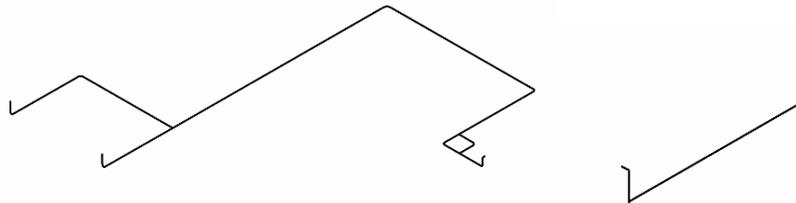
- Se calcula la potencia teórica de la bomba de la siguiente manera:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

- Aunque las bombas que se utilizarán tienen rendimientos mayores, se estimará un rendimiento global de la bomba del 50%.
- Para el caso de gases se calcula de forma parecida pero teniendo en cuenta la compresibilidad del fluido.

Seguidamente se expondrán las líneas de tubería presentes en el proyecto para calcular la potencia de la bomba que se necesita para la impulsión del fluido.

### 1. Línea: Melazas-0

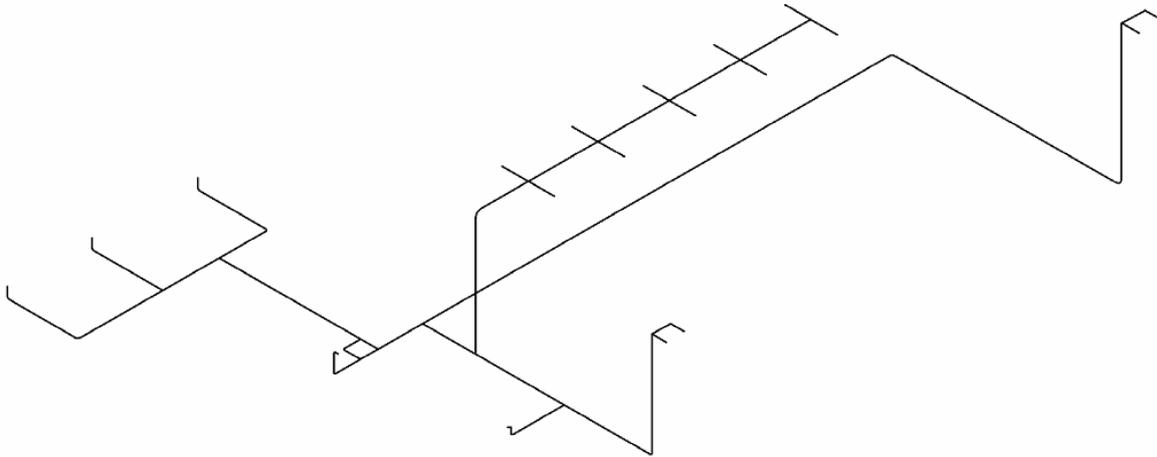


Esta línea conduce la melaza de remolacha desde los tanques de almacenamiento hasta el filtro rotatorio de melaza. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

La distancia máxima se ha calculado midiendo la distancia entre el depósito más alejado y el filtro. El caudal máximo se ha estimado al doble del normal, presumiendo el caso más desfavorable de tener que llenar dos fermentadores simultáneamente con melaza. Se dispondrá de una bomba adicional que funcionará derivando el flujo.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
41,04	6.892,30	0,03	579,98	-	0,11	213,04	0,004	0,64	0,16	0,32

## 2. Línea: Agua-0



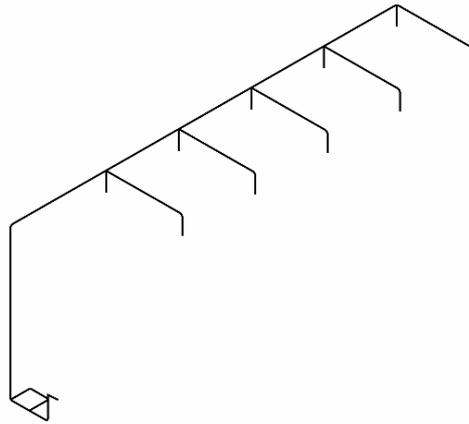
Conduce el agua almacenada en los depósitos hasta los fermentadores para diluir la melaza, hasta el reactor de lechada para preparar la misma, los filtros para el lavado de la torta y circuito de refrigeración de equipos.

Debido a la alta demanda de agua esta línea debe de contar con una bomba en reserva lista para su uso inmediato, en caso de fallo de la primera, que funcionará derivando el flujo. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

El caudal usado en el diseño contempla la refrigeración de 8 fermentadores, el llenado de 2 fermentadores y del depósito de lechada y el lavado simultáneo en todos los filtros, una situación mucho más restrictiva que la operación normal de la planta.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	leq (m)	hf (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
84,60	23.792,40	0,12	35.278,01	0,025	0,030	940,60	0,078	8,44	7,19	14.38

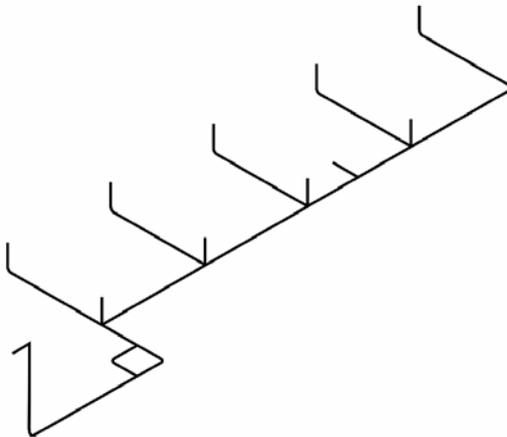
### 3. Línea: Agua-1, Melazas-1



En este caso como caudal se utiliza el de llenado de dos fermentadores simultáneamente. Habrá que tener en cuenta que la línea es común a la red de agua y de melazas y cada materia prima se carga por separado, mezclándose dentro del reactor, primero se introduce el agua y después la melaza; ambas procederán de la columna de intercambio iónico. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teórica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
91	14.153,85	0,08	22.260,67	0,028	0,032	214	0,008	360,87	4,75	9,50

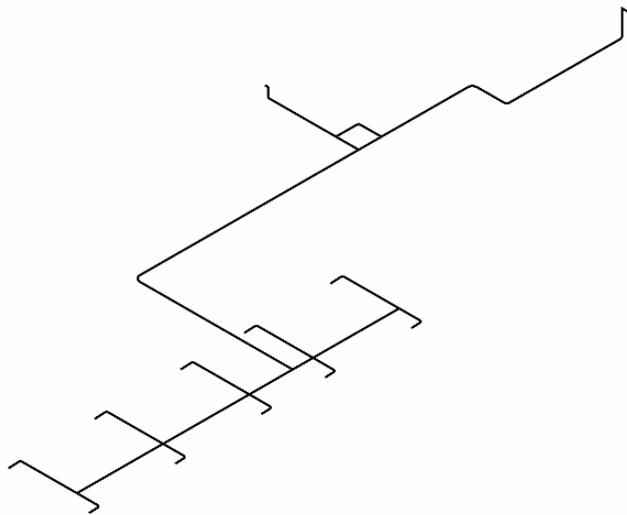
### 4. Línea: Producto-0



En esta ocasión el caudal máximo también se ha tomado a partir de la descarga simultánea de dos fermentadores. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{\max}$ (m)	$Q_{\max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
33,30	15.666,70	0,06	3.975,25	0,040	0,042	172,10	0,004	0,41	0,23	0,46

### 5. Línea: Vapor-0

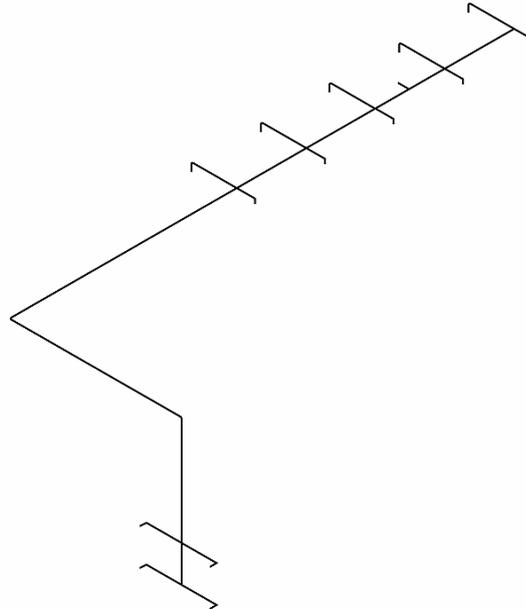


La línea Vapor-0 acopla a la línea Vapor-1 cuando está en servicio para la esterilización de los fermentadores, por ello, para hallar la distancia máxima recorrida por el elemento de flujo, los accesorios que atraviesa y la potencia de impulsión, ha de utilizarse el desarrollo del camino desde el acople en vapor-1 hasta el fermentador más lejano a éste.

Para determinar su caudal se ha supuesto una situación en la que se requiera esterilizar simultáneamente dos fermentadores (situación que no se producirá). La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S y estará debidamente aislada para evitar pérdidas de calor.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	leq (m)	hf (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
41	9.000	22,70	857.464,50	0,015	0,018	310	0,568	1,57	17,75	35,50

### 6. Línea: Aire-0, Vapor-1

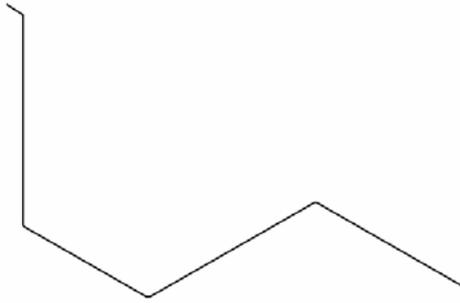


La línea estará compartida por la conducción de aire y de vapor sólo en la zona de entrada al fermentador, con ramales idénticos y separados uno de otro por una válvula ON/OFF ya que solo podrá entrar al fermentador aire o vapor nunca ambos a la vez.

Para el caudal máximo de aire necesario se supone una aireación de todos los fermentadores a la vez. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	leq (m)	hf (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
55,70	856,70	3,57	49.670,33	0,022	0,028	324,70	22,51	29,51	0,91	1,83

### 7. Línea: Descarga de emergencia

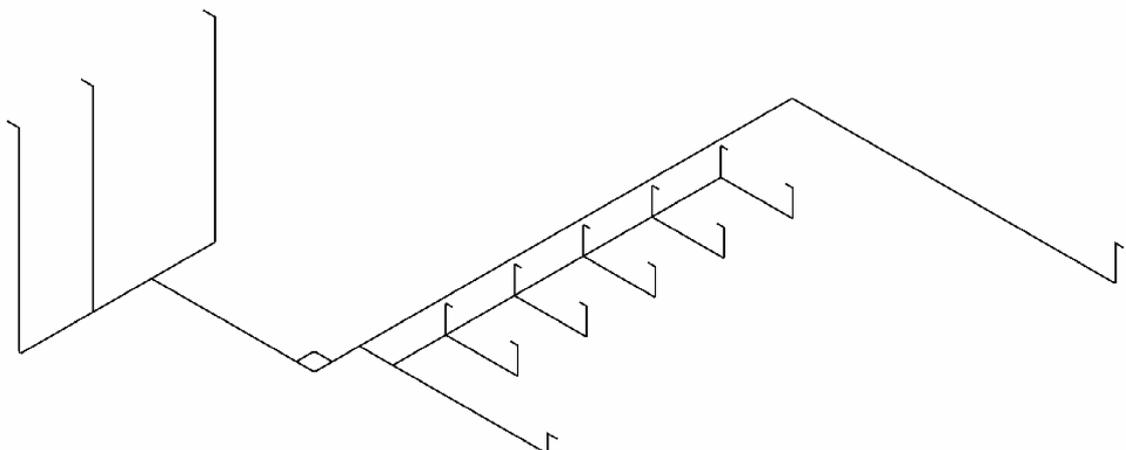


Esta red esta acoplada a la línea producto-0 y unida a ella mediante una válvula ON/OFF. Se usará exclusivamente en caso de que haya que evacuar el contenido de un fermentador por cualquier anomalía que lo requiera. Esta línea solo necesita una bomba ya que su uso será muy esporádico.

En este caso a la distancia a recorrer se le sumará el camino recorrido por el fluido desde el fermentador más alejado hasta el punto de acople. El caudal, en este caso, es el de descarga de un fermentador. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	leq (m)	hf (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
59,50	15.569,67	0,071	12.681,05	0,029	0,035	95,50	0,003	12,00	6,69	13,38

### 8. Línea: Recirculación refrigerante

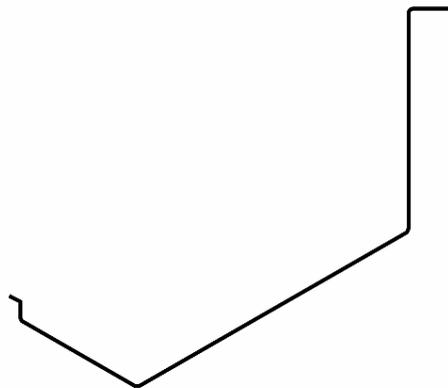


Esta línea retornará el agua que refrigera los reactores de la planta de vuelta a los depósitos de agua. Como otras anteriores, dispone de doble bomba ya que es esencial su correcto funcionamiento, al ser crucial para la correcta refrigeración de los equipos.

El caudal másico usado supone la descarga simultánea de todo el refrigerante de la planta. No es necesario su aislamiento térmico ya que el fluido no llevara una alta temperatura y el calor que transporta no es aprovechable. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
84	7.200	0,04	14.732,30	0,029	0,034	381	0,003	12,00	3,10	6,20

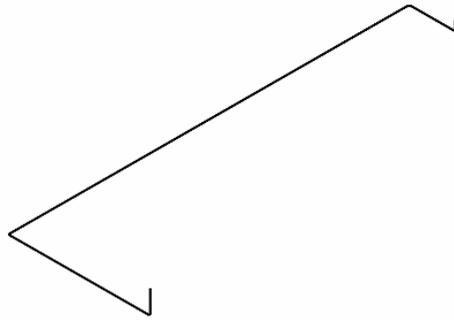
#### 9. Línea: Producto-1



Esta línea comunica el filtro de retirada del micelio con el reactor de lechada. En esta ocasión para el caudal máximo se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
19,40	11.284,41	0,04	62.000,92	0,021	0,039	163,40	0,002	6,00	2,42	4,85

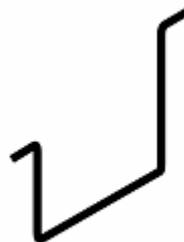
### 10. Línea: Producto-2



Conduce la suspensión de citrato cálcico hasta el filtro donde será separada del líquido. Para el caudal máximo se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{\max}$ (m)	$Q_{\max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
28,40	16.654,41	0,06	9.262,04	0,034	0,037	178,40	0,004	0,40	0,24	0,48

### 11. Línea: Producto-3



Esta tubería conducirá el ácido cítrico disuelto hasta el intercambiador iónico. El caudal máximo se ha supuesto un 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 4" de diámetro exterior, schedule 5S, al ser de este calibre el acoplamiento a ambas unidades.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
7	19.133,79	0,62	74.537,93	0,021	0,026	133	0,66	2,16	1,48	2,96

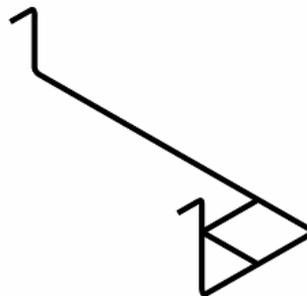
### 12. Línea: Producto-4



La línea llevará el ácido cítrico disuelto hasta los evaporadores para su concentración. Para calcular el caudal máximo se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 4" de diámetro exterior, schedule 5S, al ser de este calibre el acoplamiento a ambas unidades.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
10	19.133,79	0,62	74.537,93	0,021	0,026	136	0,67	4,67	3,20	6,40

### 13. Línea: Producto-5



Conduce el líquido saturado al cristizador. El caudal máximo se ha supuesto con un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 4" de diámetro exterior, schedule 5S, al ser de este calibre el acoplamiento a ambas unidades.

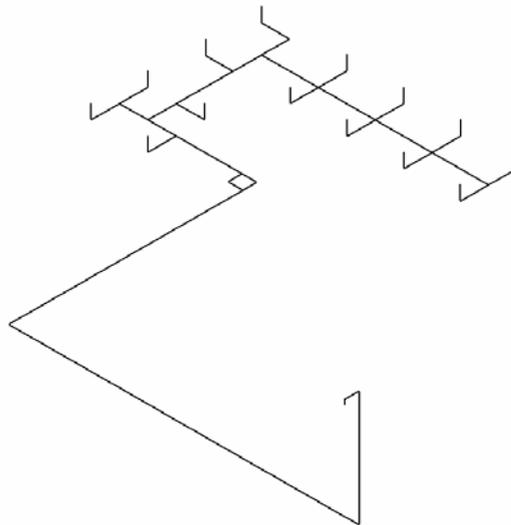
$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
11,50	3.918,99	0,11	7.012,50	0,036	0,038	144,50	0,033	1,53	0,22	0,44

#### 14. Línea: Producto-6

Esta línea transporta el ácido cítrico cristalizado a las centrifugas donde se separará del licor madre. El caudal máximo se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 4" de diámetro exterior, schedule 5S, al ser de este calibre el acoplamiento a ambas unidades.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
10	3.918,99	0,11	2.266	-	0,028	130	0,022	1,52	0,22	0,44

#### 15. Línea: Sulfúrico

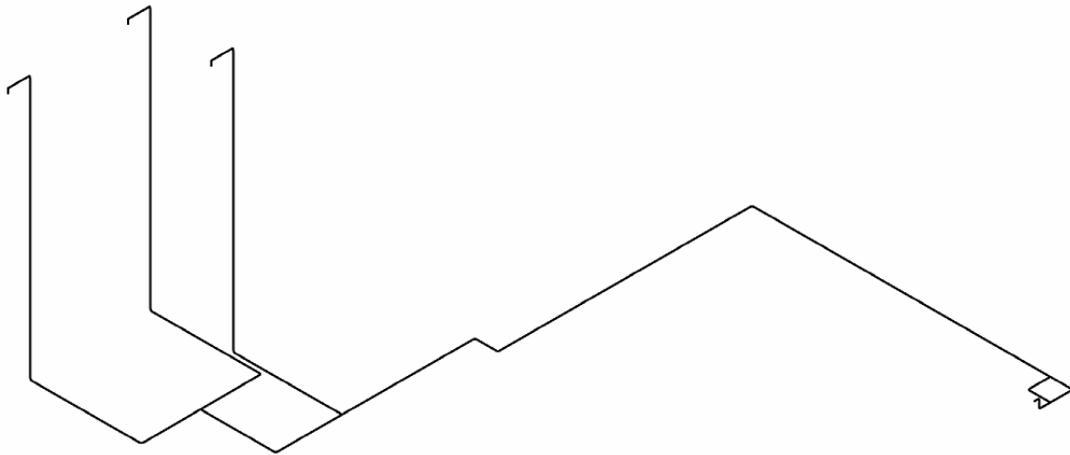


Conecta los tanques de ácido sulfúrico con el tanque de descomposición del citrato. La distancia máxima se calcula desde el depósito más lejano en la línea.

El caudal máximo, como en otras ocasiones, se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior revestida internamente de polipropileno (lo que se ha tenido en cuenta para la rugosidad relativa).

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
85,50	7.549,95	0,04	9.501,67	0,032	0,037	298,50	0,026	8,03	2,16	4,32

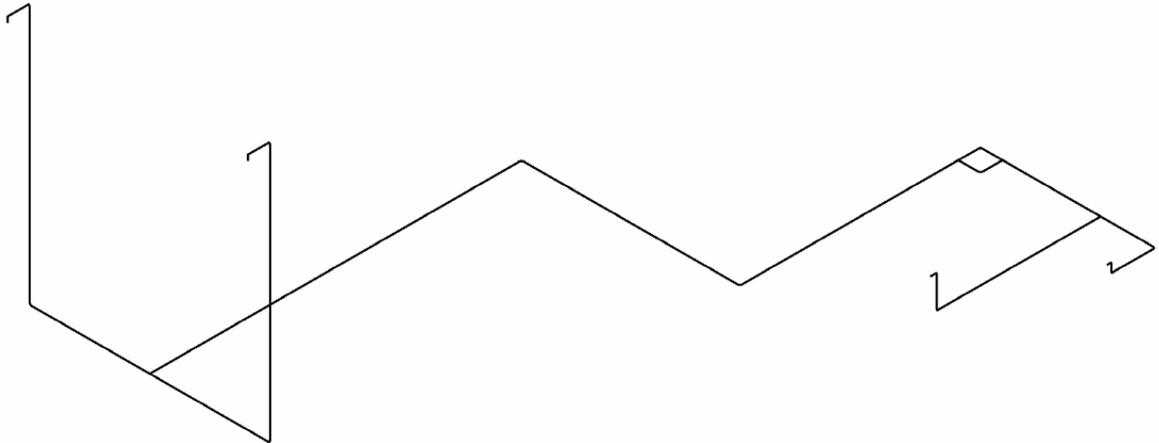
### 16. Línea: Residuo-0



La línea retirará del filtro el licor post-fermentativo que se ha separado del citrato. El caudal máximo se ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
62,15	13.352,13	0,06	16.770,55	0,028	0,033	266,15	0,053	12,05	5,74	11,48

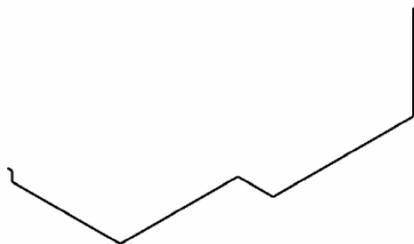
17. Línea: Residuo-1



Esta red recoge el líquido retirado en el cristalizador y en las centrifugadoras. Al caudal que circula se le ha supuesto un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S.

$D_{max}$ (m)	$Q_{max}$ (kg/h)	$V$ (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	$l_{eq}$ (m)	$h_f$ (m)	H (m)	$P_{teorica}$ (HP)	$P_{real}$ (HP)
66,90	842,39	0,004	11.195,50	-	0,053	262	0	12	0,37	0,74

18. Línea: Agua-Vapor

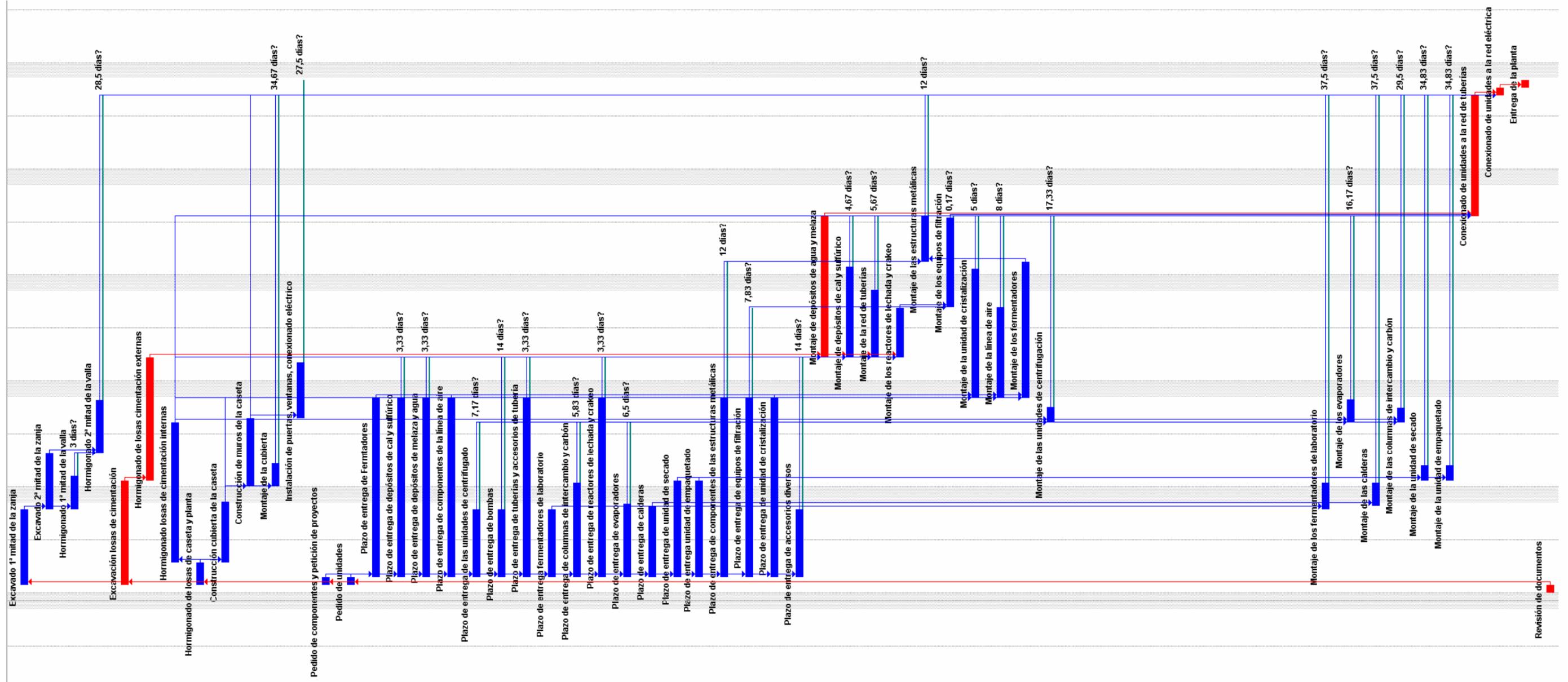


Esta línea recoge el vapor de agua saliente del evaporador y lo conduce a la caldera para reutilizarse. El caudal máximo se ha supuesto con un aumento del 50% sobre el normal de la línea. La tubería será de acero inoxidable AISI 316 de 10" de diámetro exterior, schedule 5S. Poseerá aislamiento térmico.

$D_{\max}$ (m)	$Q_{\max}$ (kg/h)	V (m/s)	Re	$f_1$	$f_2$	leq (m)	hf (m)	H (m)	$P_{\text{teórica}}$ (HP)	$P_{\text{real}}$ (HP)
21,40	25.700	0,12	169.548,61	0,018	0,023	174,40	0,011	0,41	0,38	0,76

Se adquirirán generalmente bombas de mayor caudal a las necesarias pero buscando homogeneidad de equipos para así facilitar el mantenimiento y cambio de estas según las necesidades que se presenten.

## DOCUMENTO SEGUNDO: PLANOS



**UNIVERSIDAD DE CÁDIZ**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO**

PLANO: **DIAGRAMA DE GANTT**

Nº: 1

Fecha: Octubre 2008

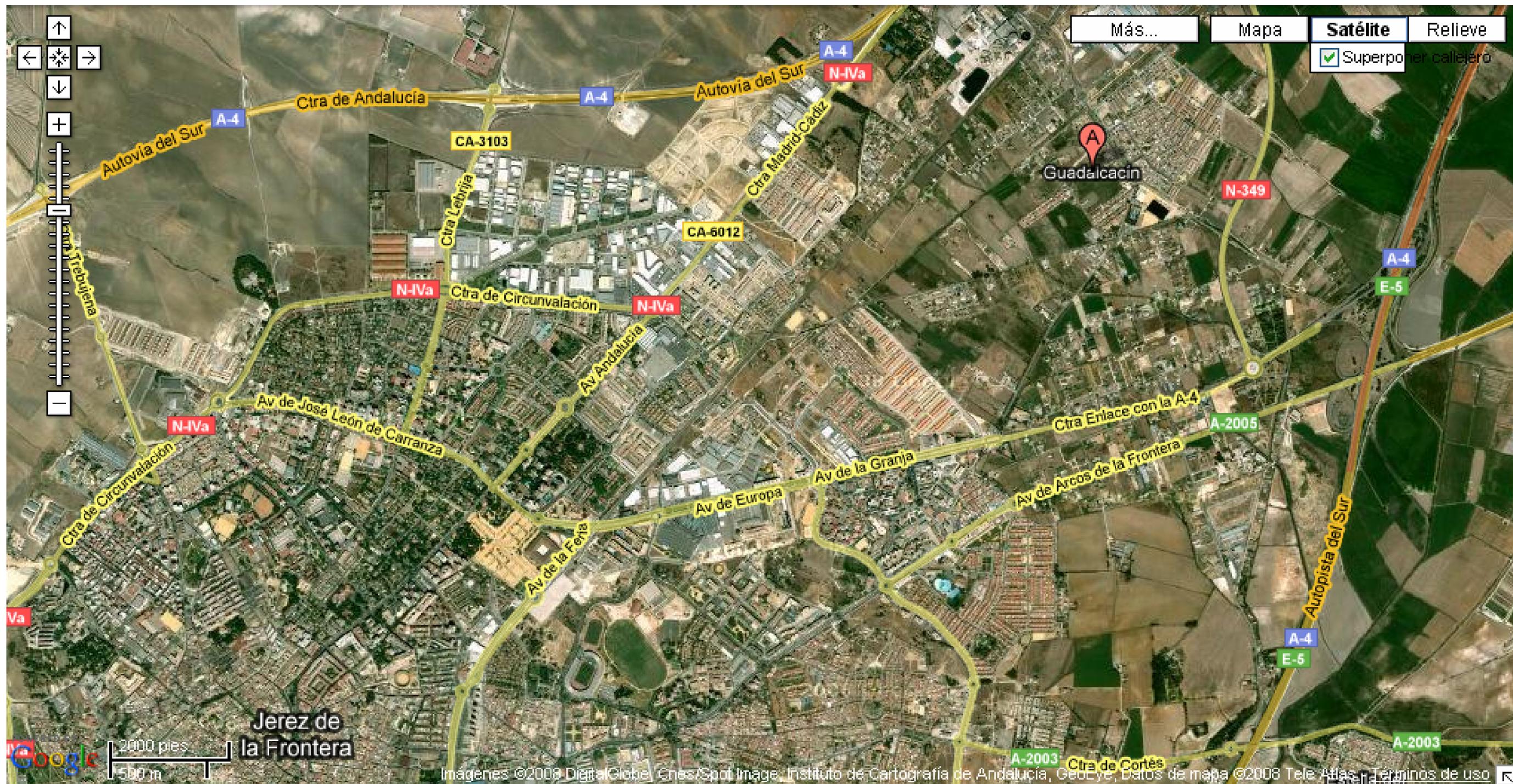
Firma:

EL INGENIERO: **F. Javier Rivada Núñez**









**UNIVERSIDAD DE CÁDIZ**

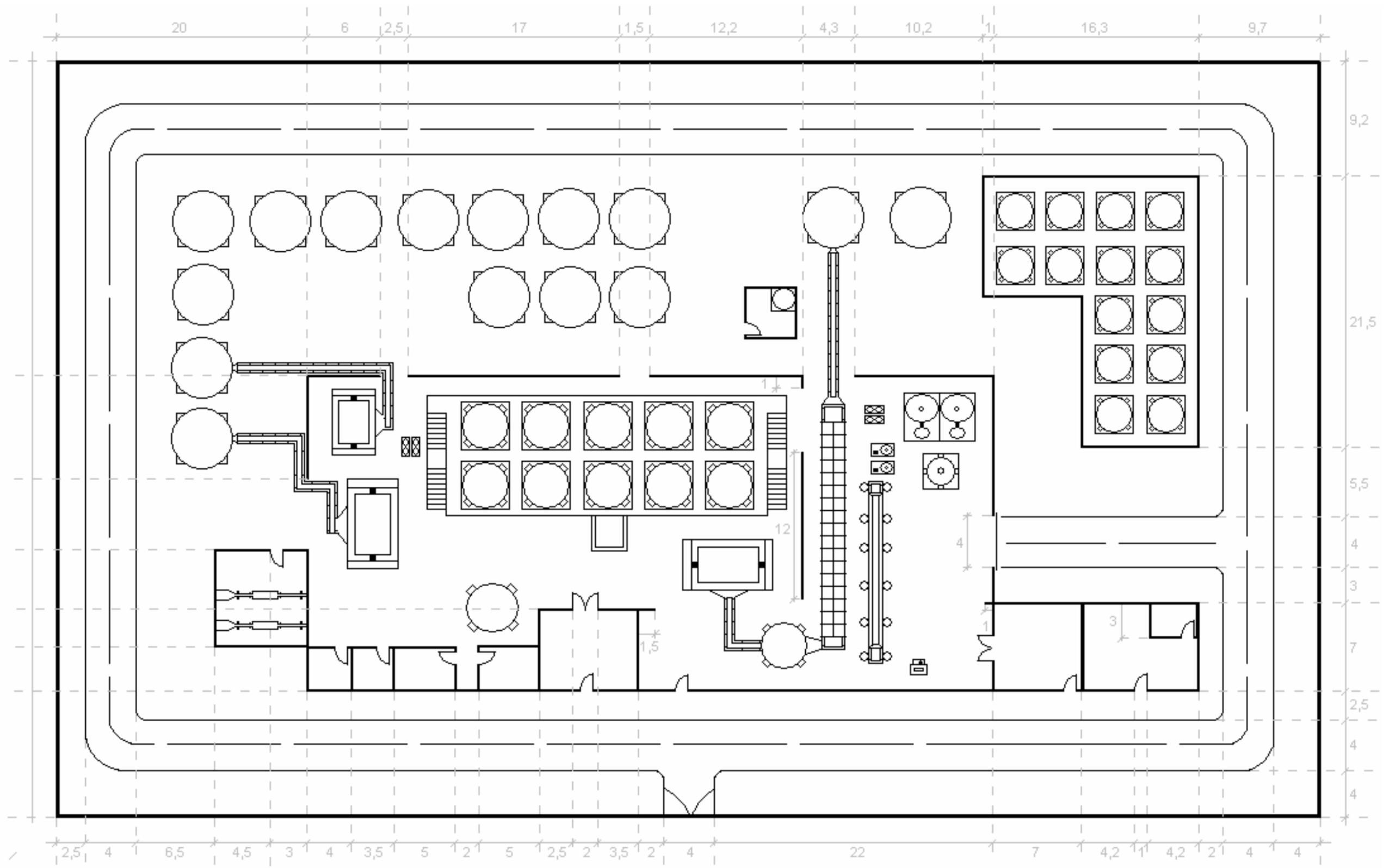
**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO**

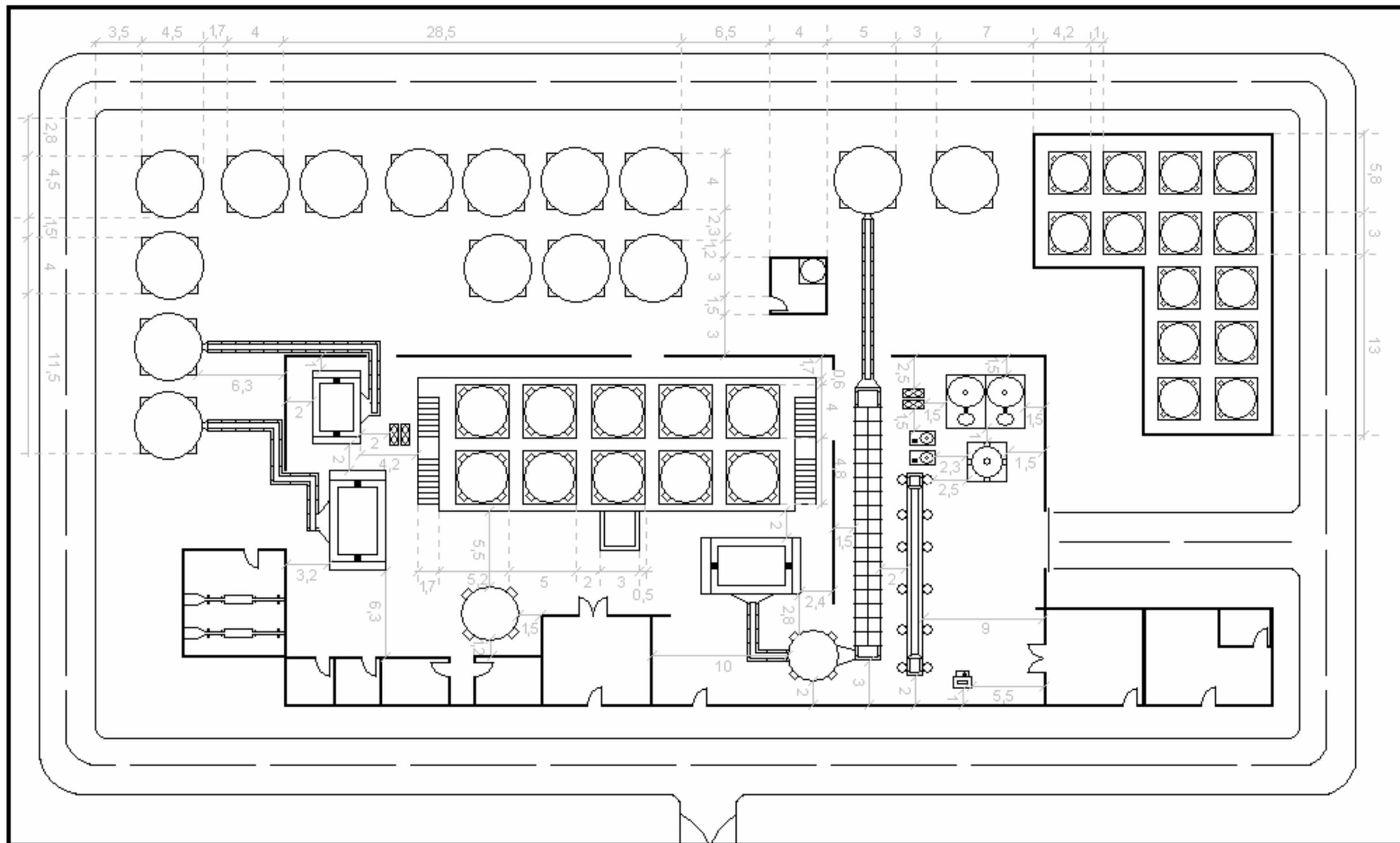
PLANO: LOCALIZACIÓN Nº: 5

Fecha: Octubre 2008 Firma:

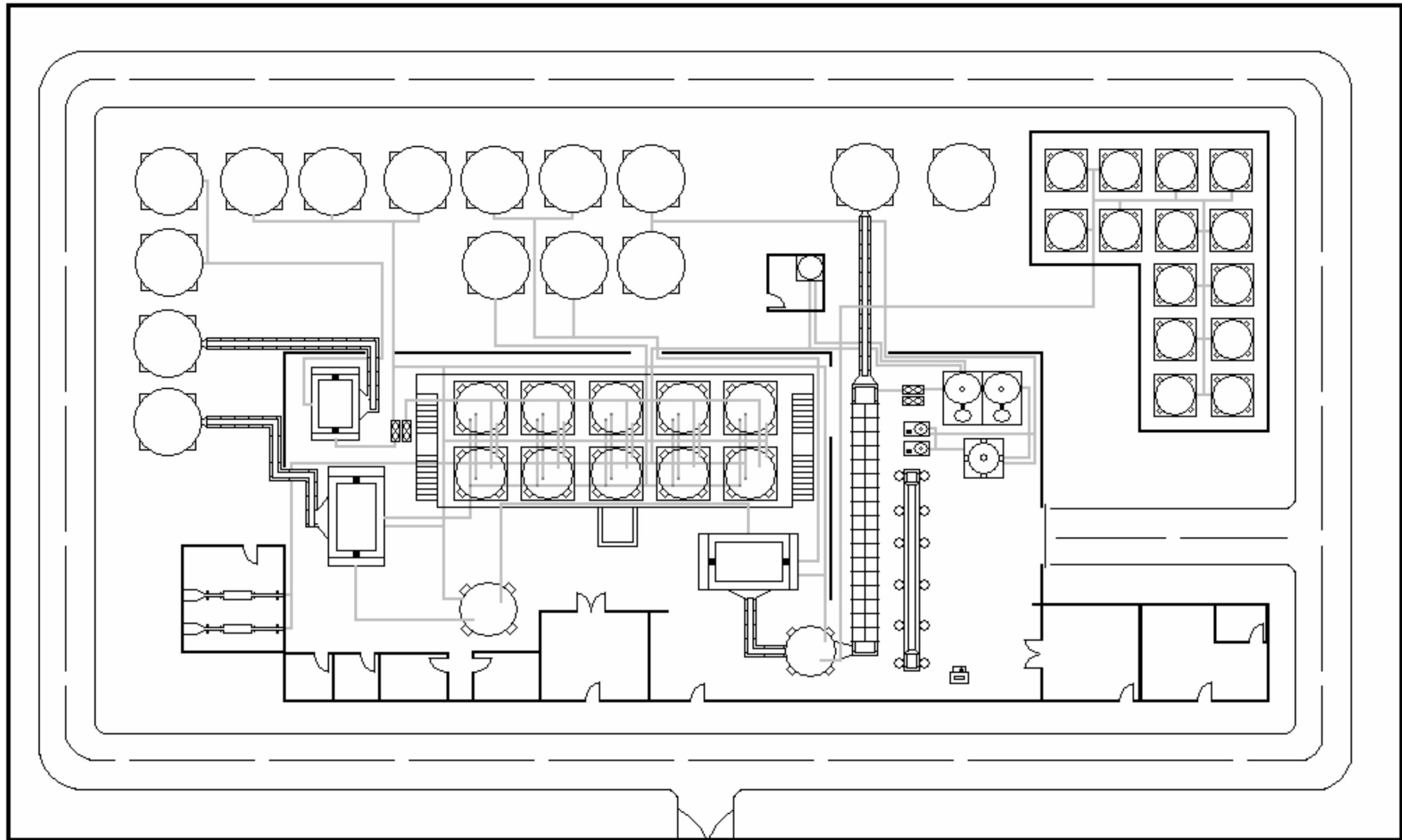
EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Distribución en Planta 1	Nº: 6
Escala 1:300	Fecha: Octubre 2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Distribución en planta 2	Nº: 7
Escala 1:300	Fecha: Octubre 2008	Firma:
EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez		



**UNIVERSIDAD DE CÁDIZ**

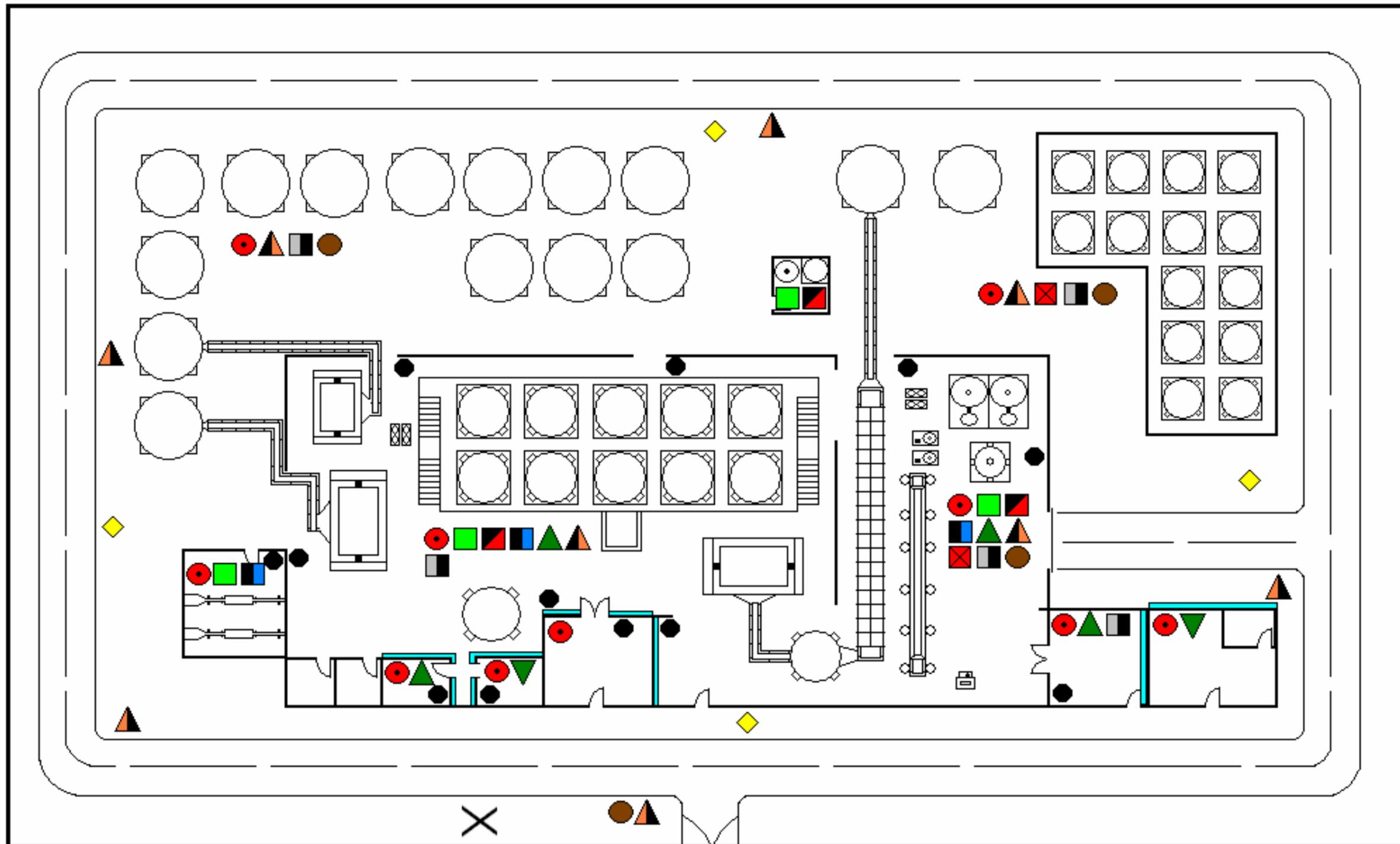
**PROYECTO FIN DE CARRERA**

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

PLANO: Distribución en planta 3 N°: 8

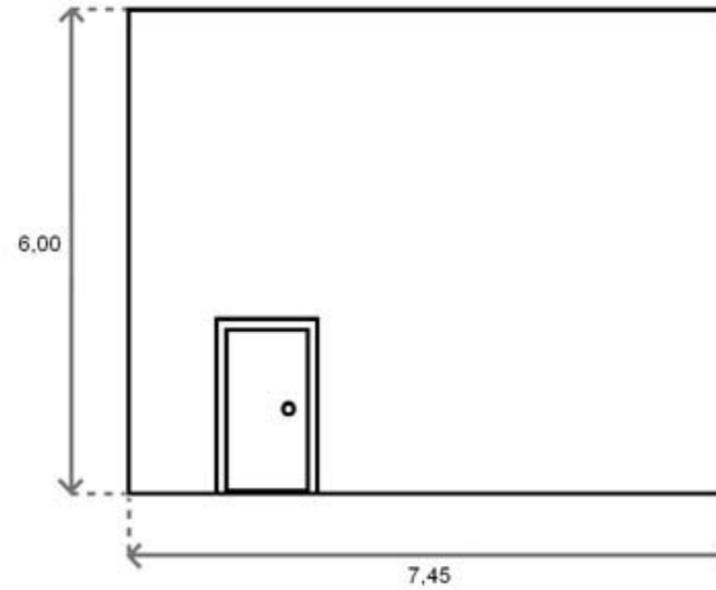
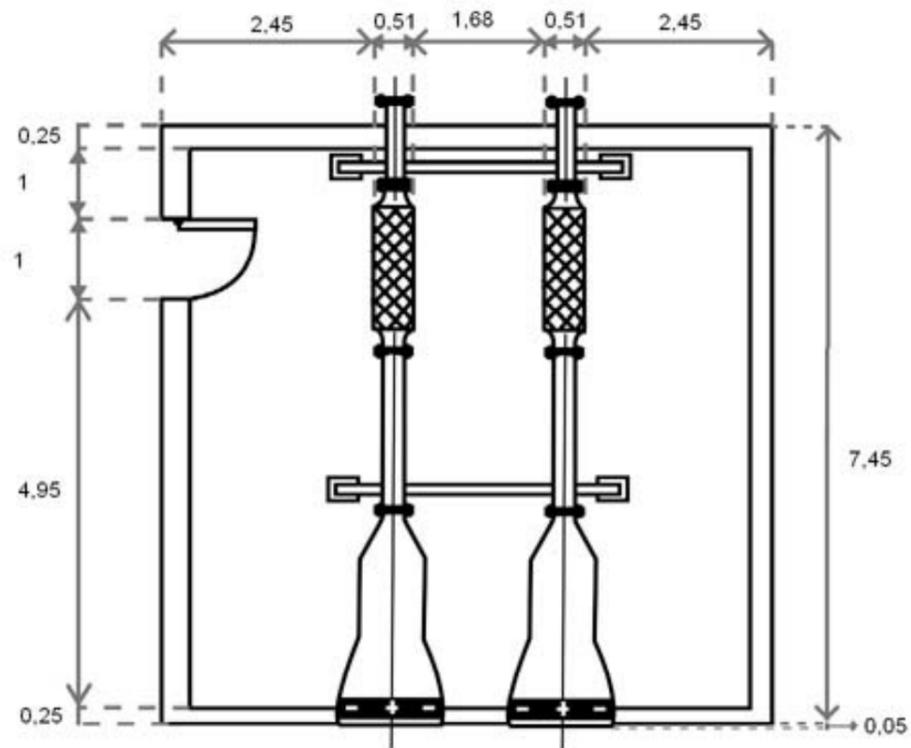
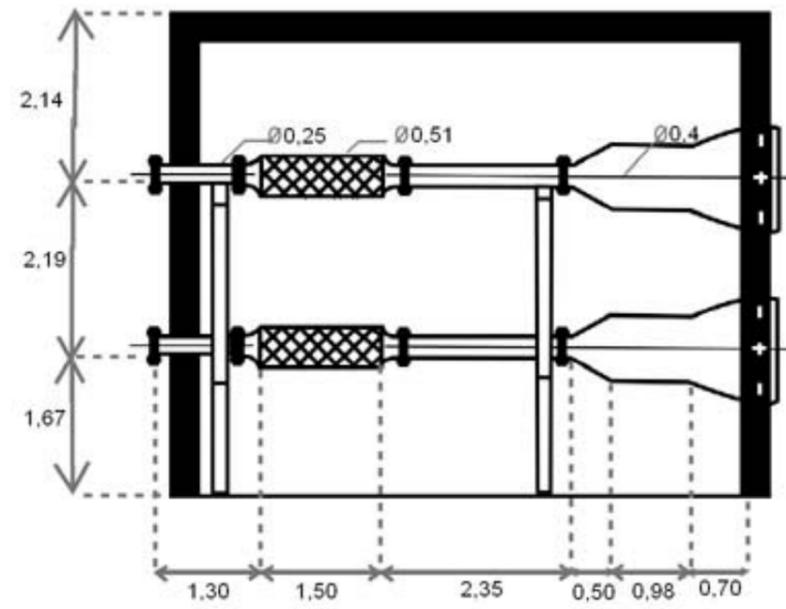
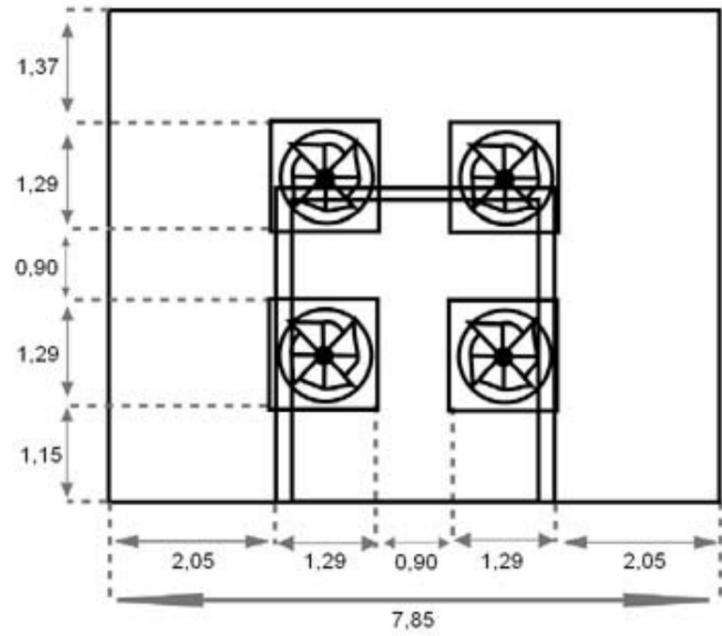
Escala 1:270 Fecha: Octubre 2008 Firma:

EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez

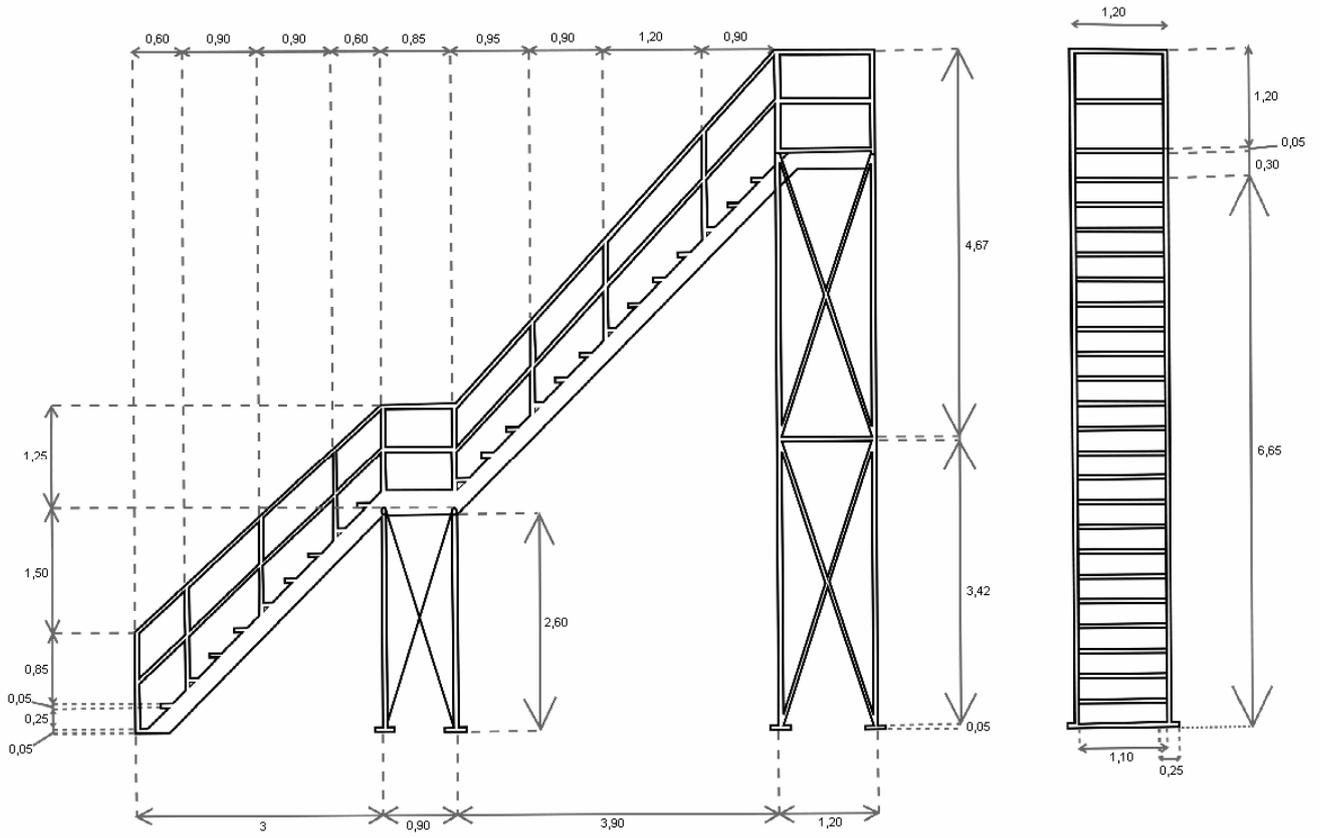


- Fuego
- Ruido
- ▲ Calor
- Vibración
- Golpes con maquinaria
- Polvo
- ▲ Esfuerzo físico
- ▼ Esfuerzo mental
- ▲ Caídas
- ▲ Atropello
- Sustancias peligrosas
- ▭ Aislamiento acústico
- ◆ B.I.E.S.
- Extintor
- ✕ Punto de encuentro

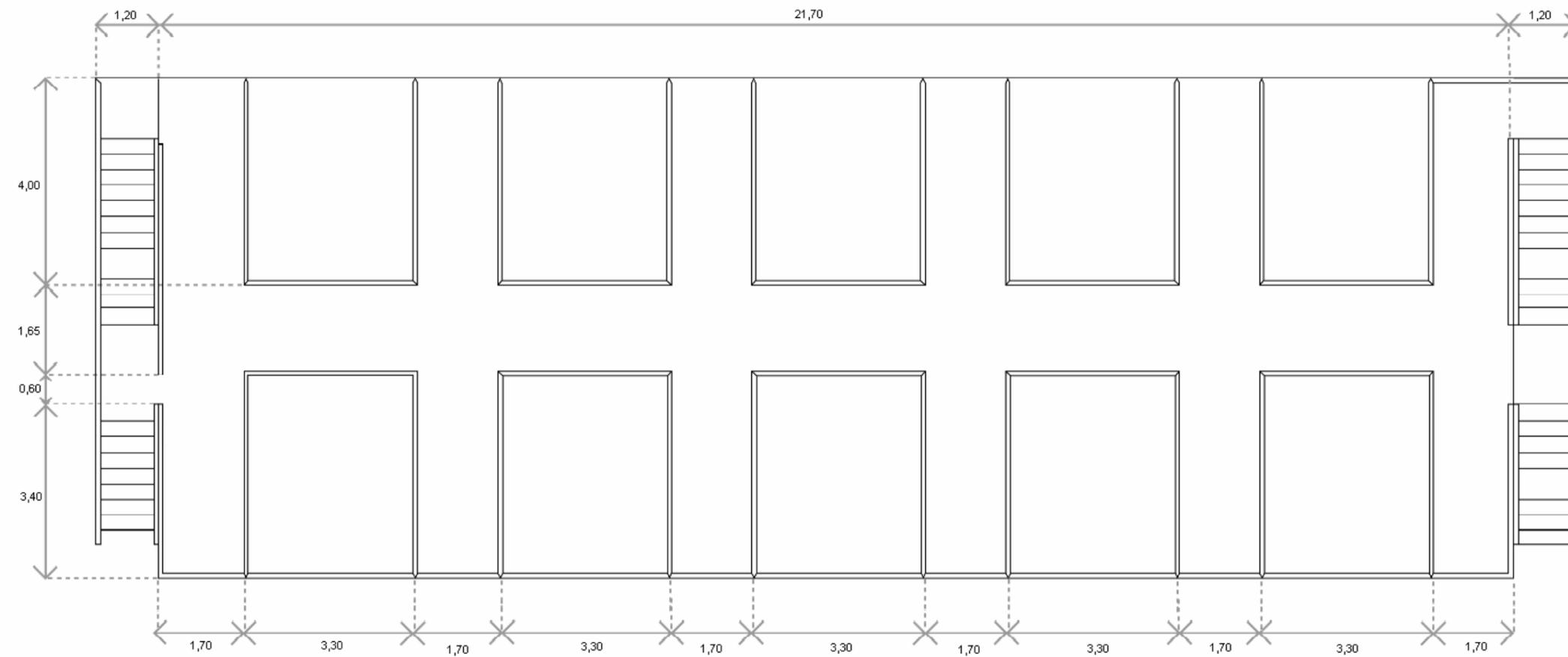
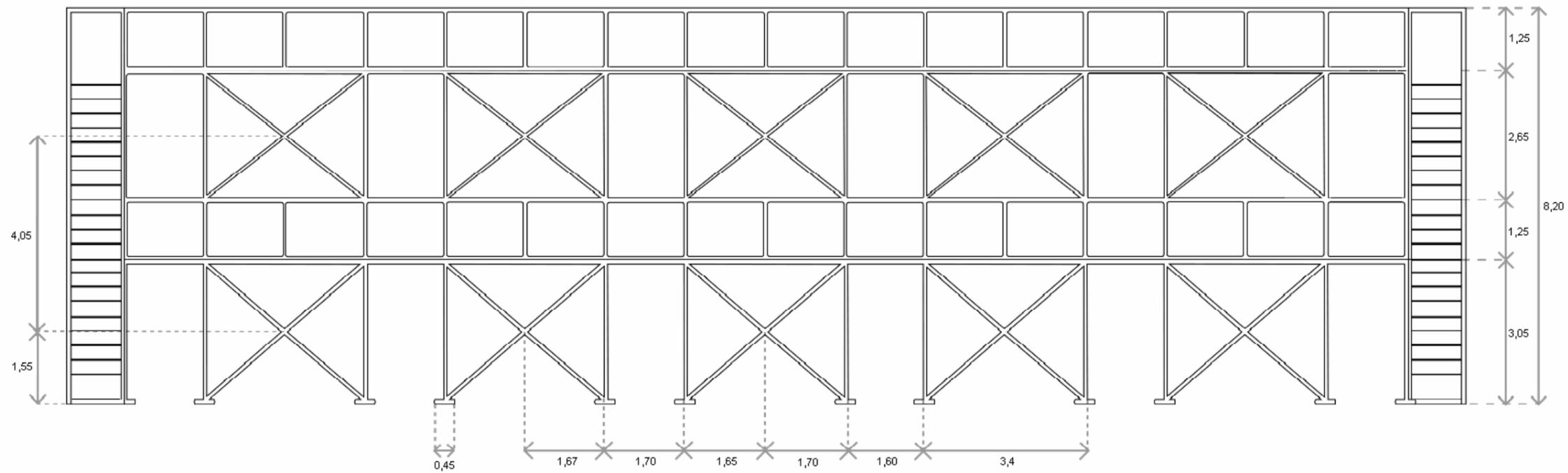
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Mapa de riesgos.	Nº: 9
EL INGENIERO:	Fecha: Octubre 2008	Firma:
F. Javier Rivada Núñez		



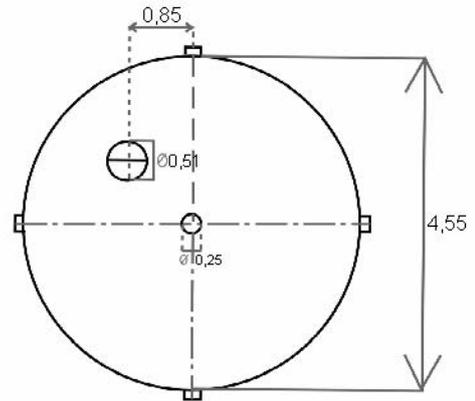
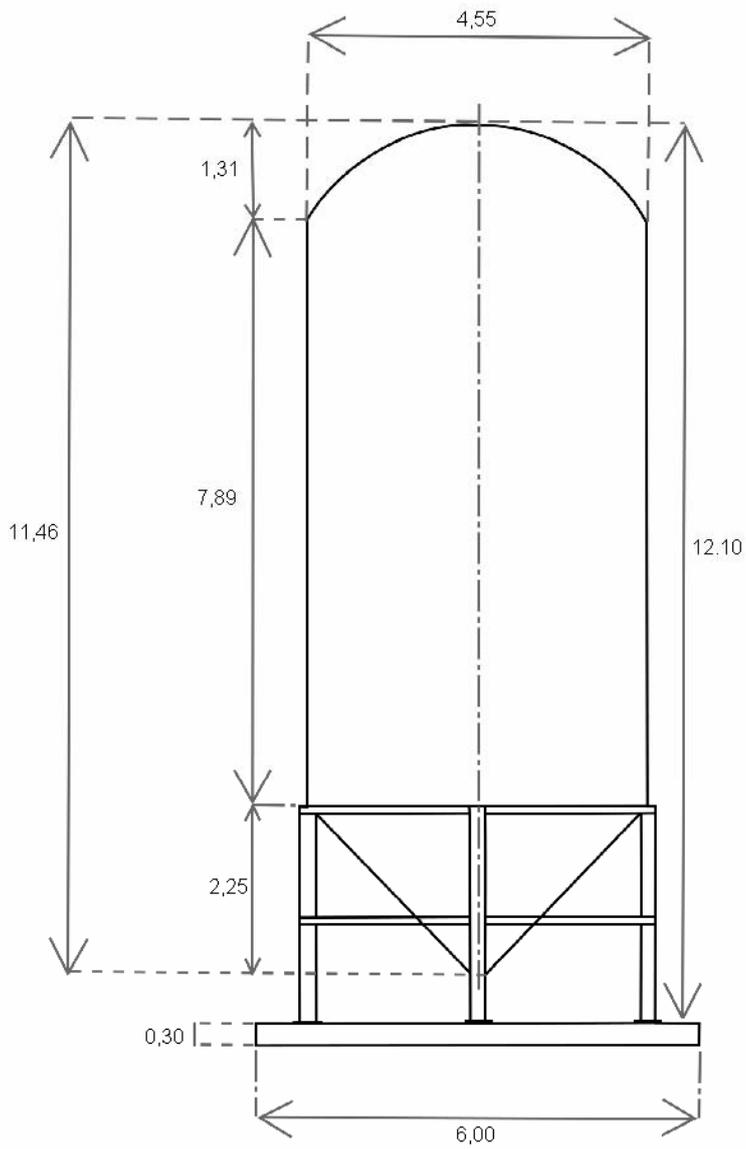
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Caseta de ventiladores	Nº: 10
	Fecha: Octubre-2006	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



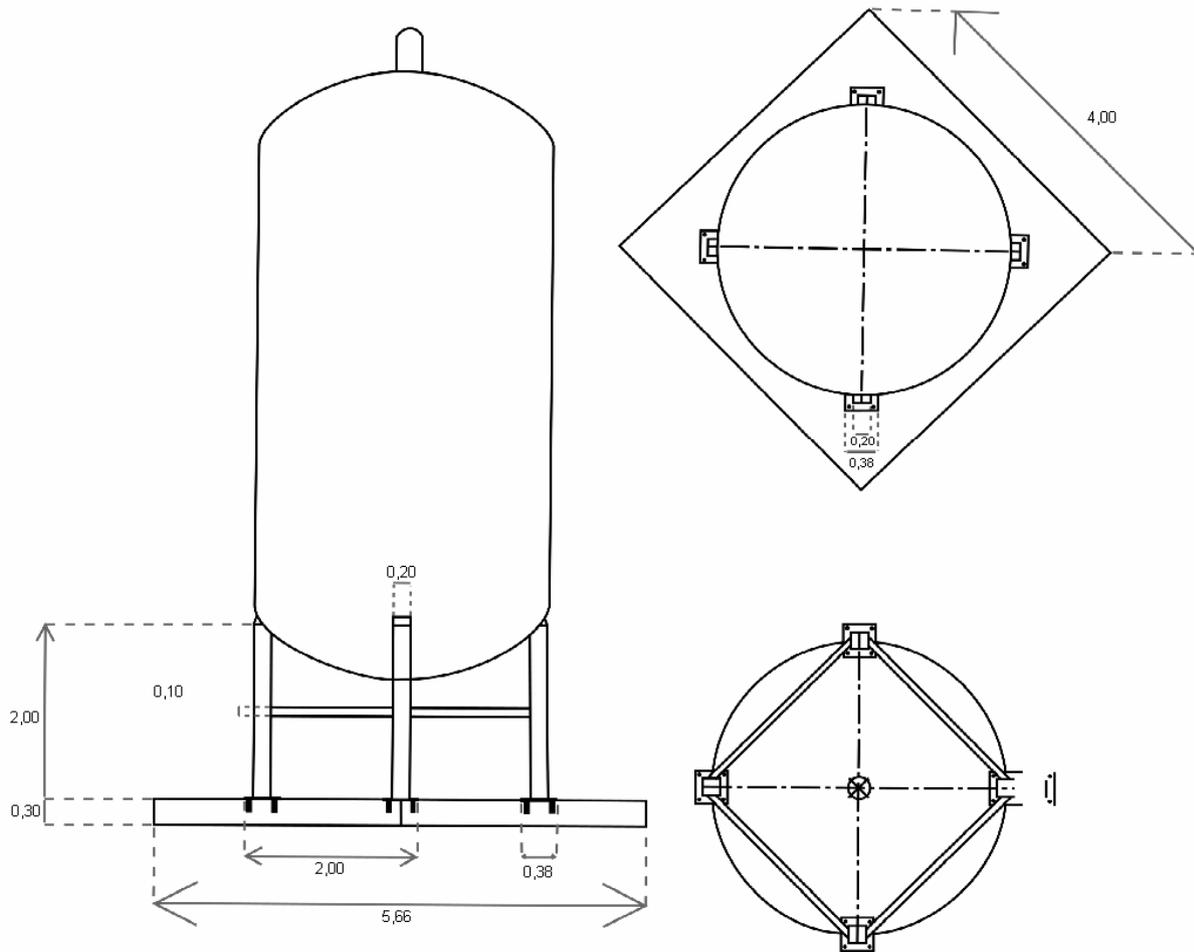
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCION DE ACIDO CITRICO		
PLANO: Escaleras	Nº: 11	1:100
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



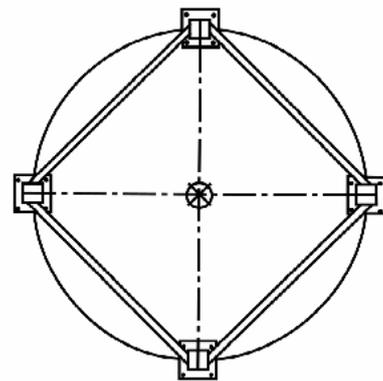
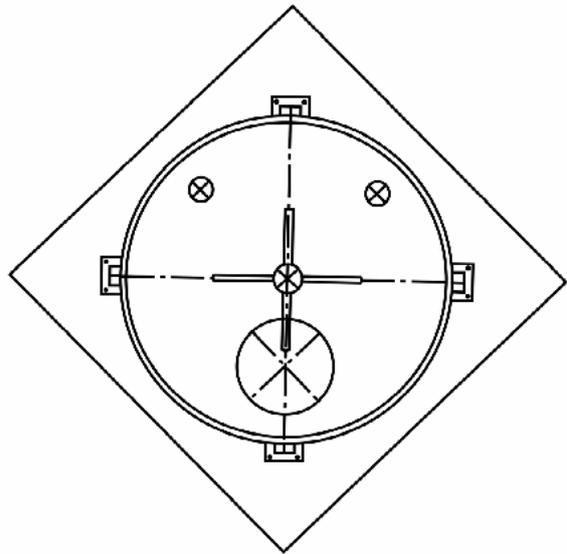
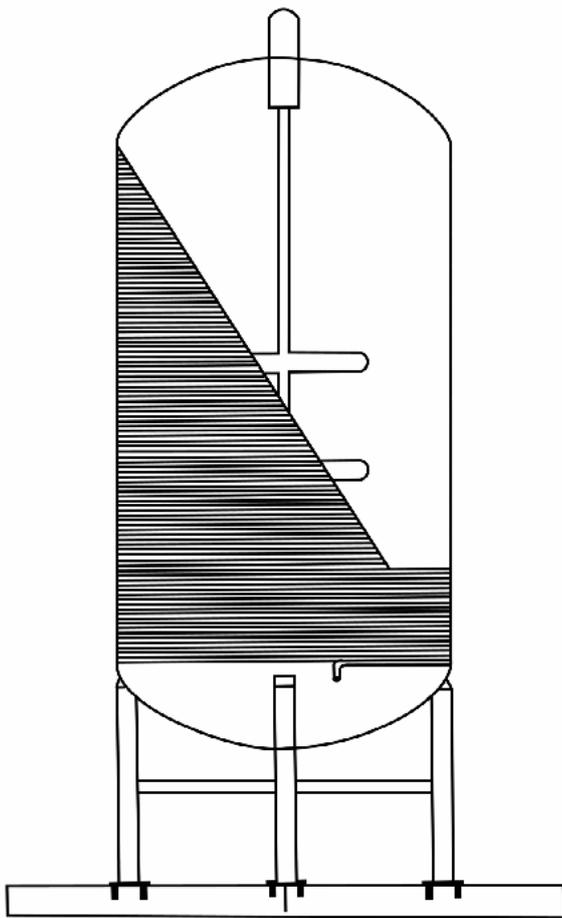
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Estructura metálica	Nº: 12
Escala: 1:100	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



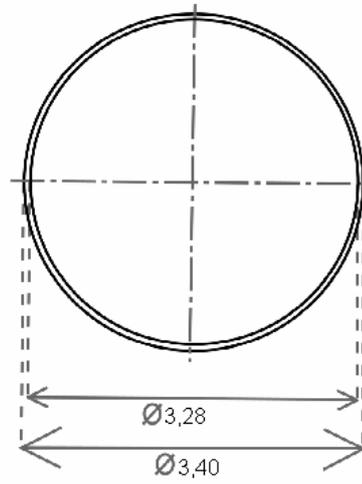
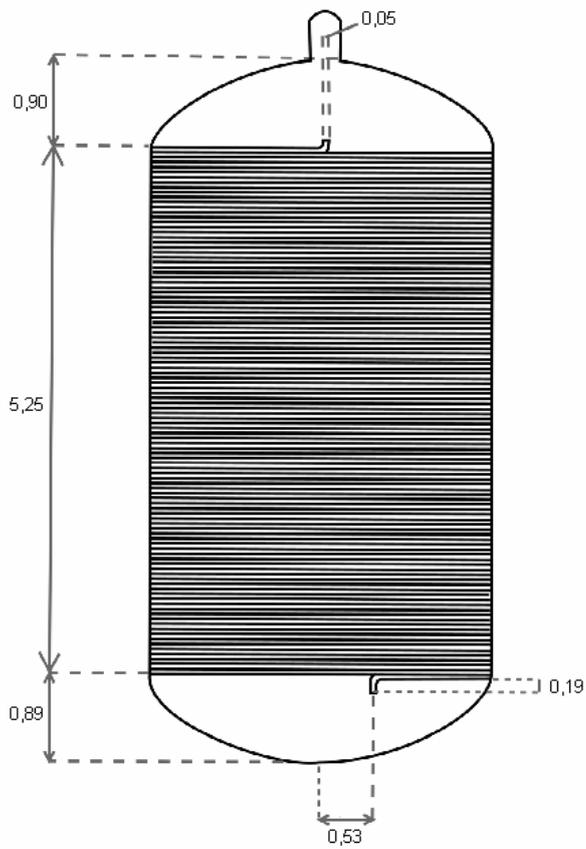
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCION DE ACIDO CITRICO		
PLANO: Depósitos	Nº: 13	1:100
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



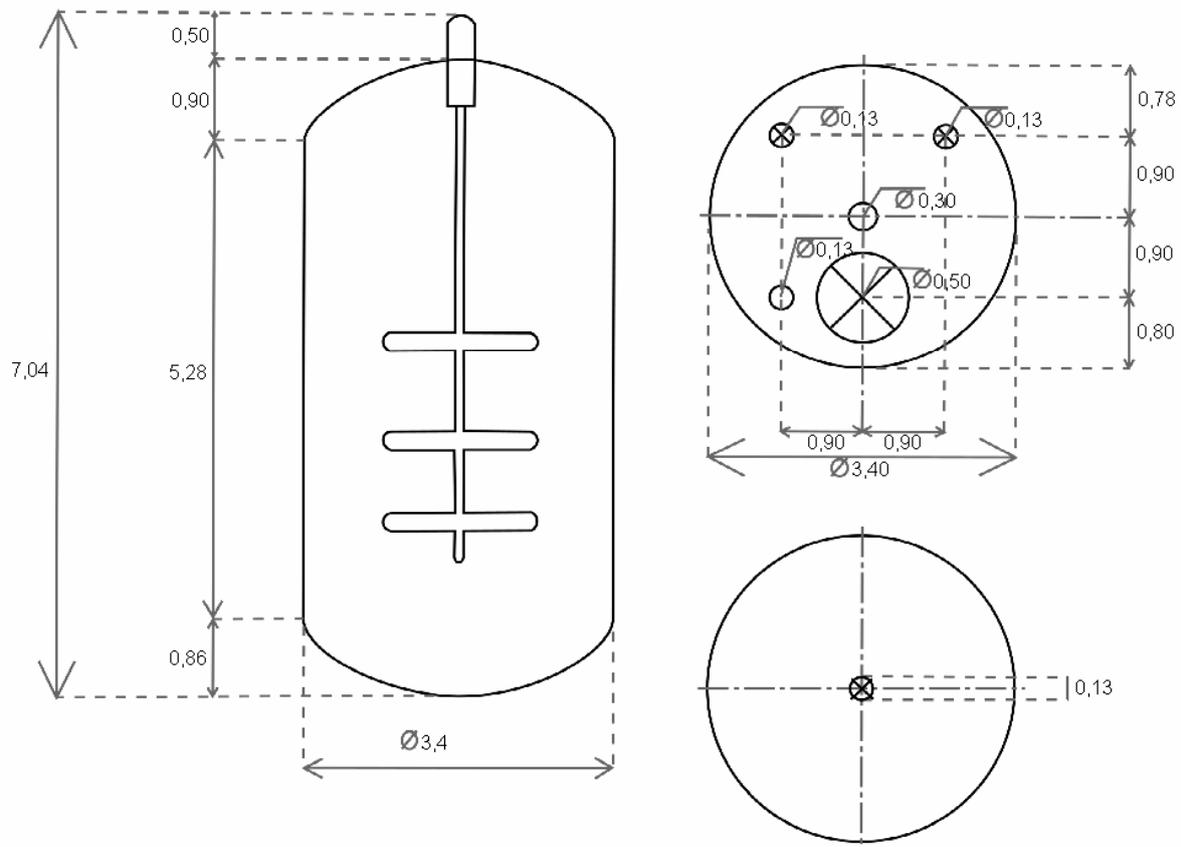
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO: Fermentador	Nº: 14	1:125
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



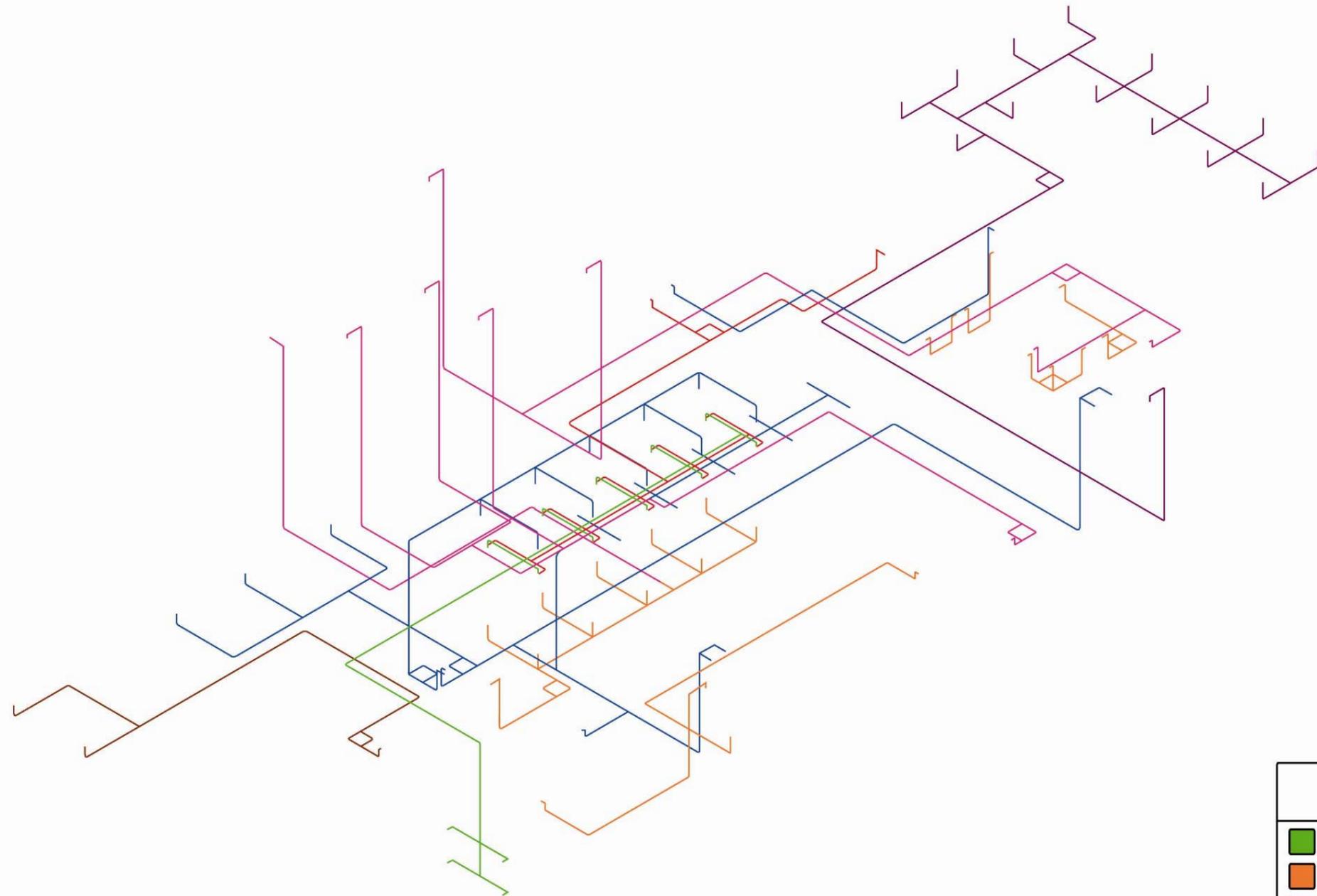
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO: Fermentador	Nº: 15	1:125
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO: Fermentador	Nº: 16	1:75
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		

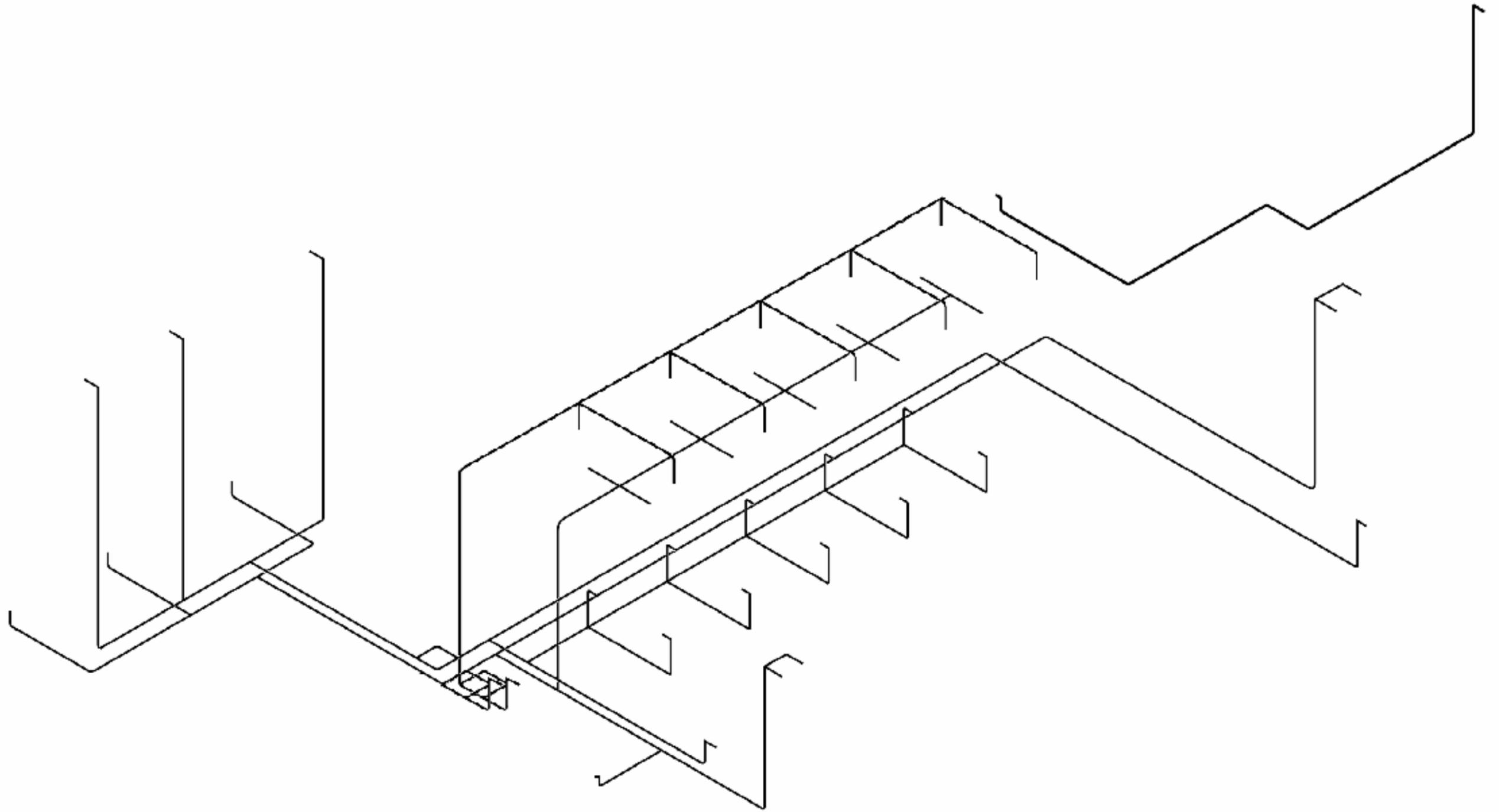


<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO: Fermentador	Nº: 17	1:75
Fecha: Octubre-2008	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		

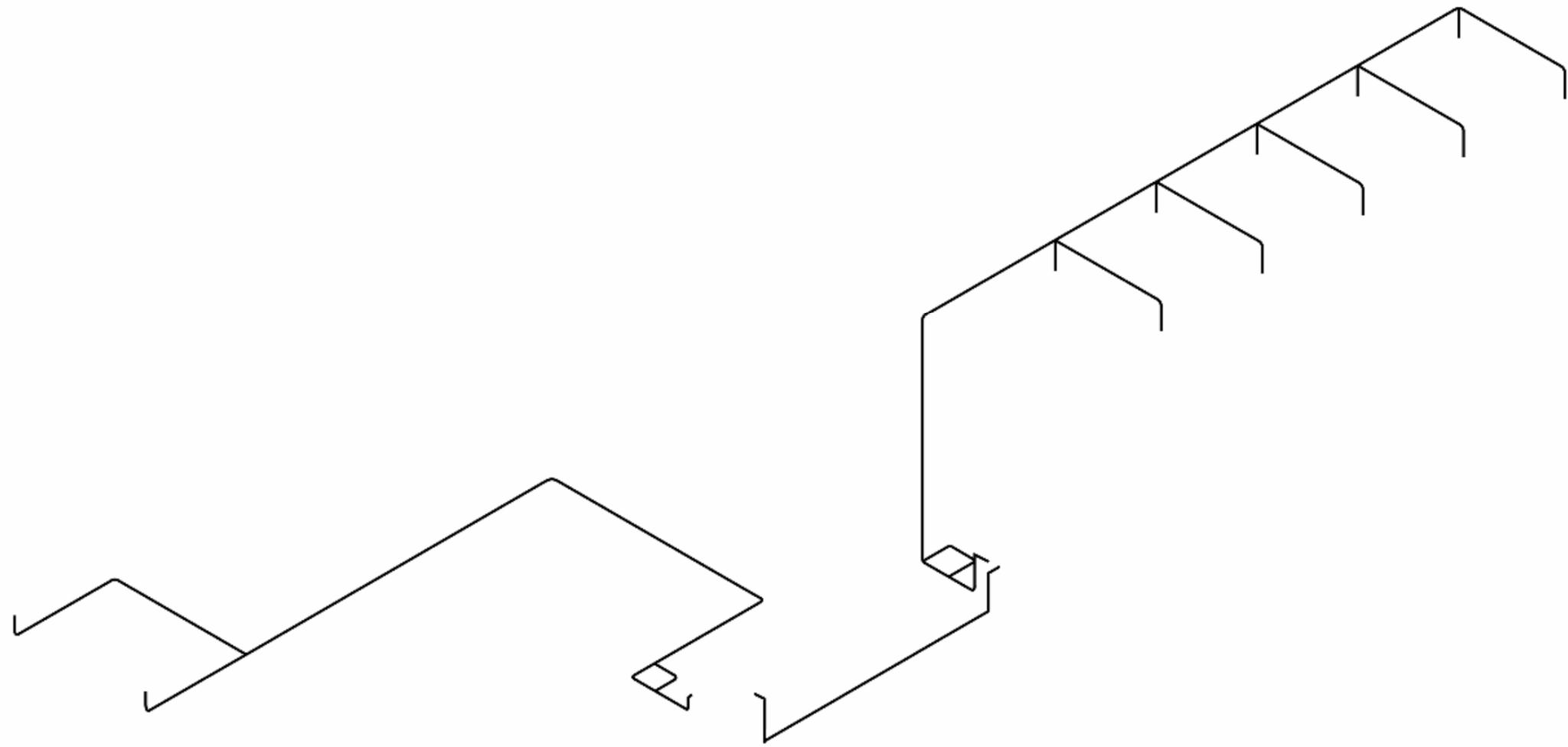


LEYENDA	
<span style="color: green;">■</span>	AIRE
<span style="color: orange;">■</span>	PRODUCTO
<span style="color: purple;">■</span>	SULFÚRICO
<span style="color: blue;">■</span>	AGUA
<span style="color: pink;">■</span>	RESIDUO
<span style="color: red;">■</span>	VAPOR

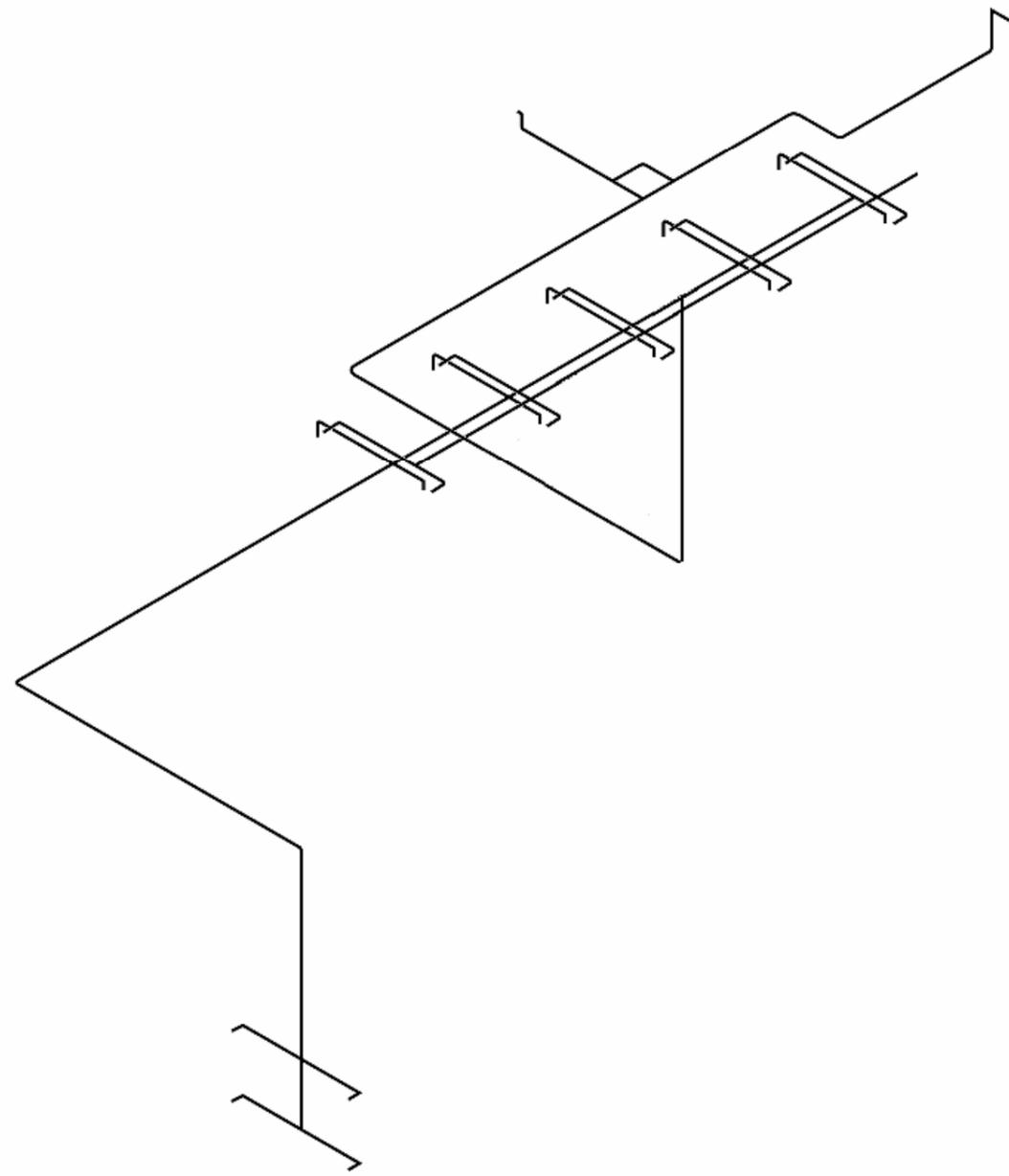
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Red tuberías	Nº: 18
Escala 1:300	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



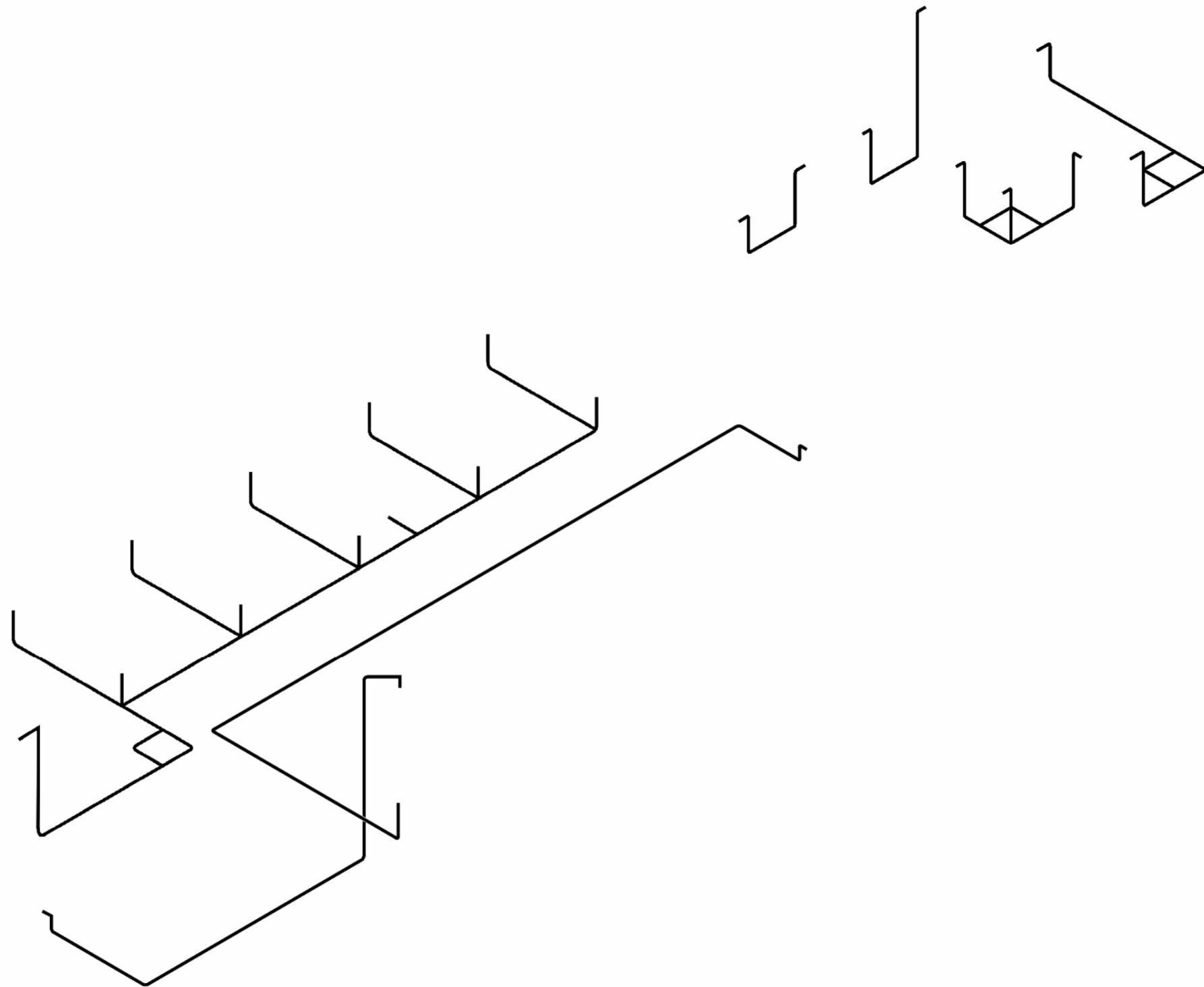
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO: Red de Agua		Nº: 19
Escala 1:200	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez		



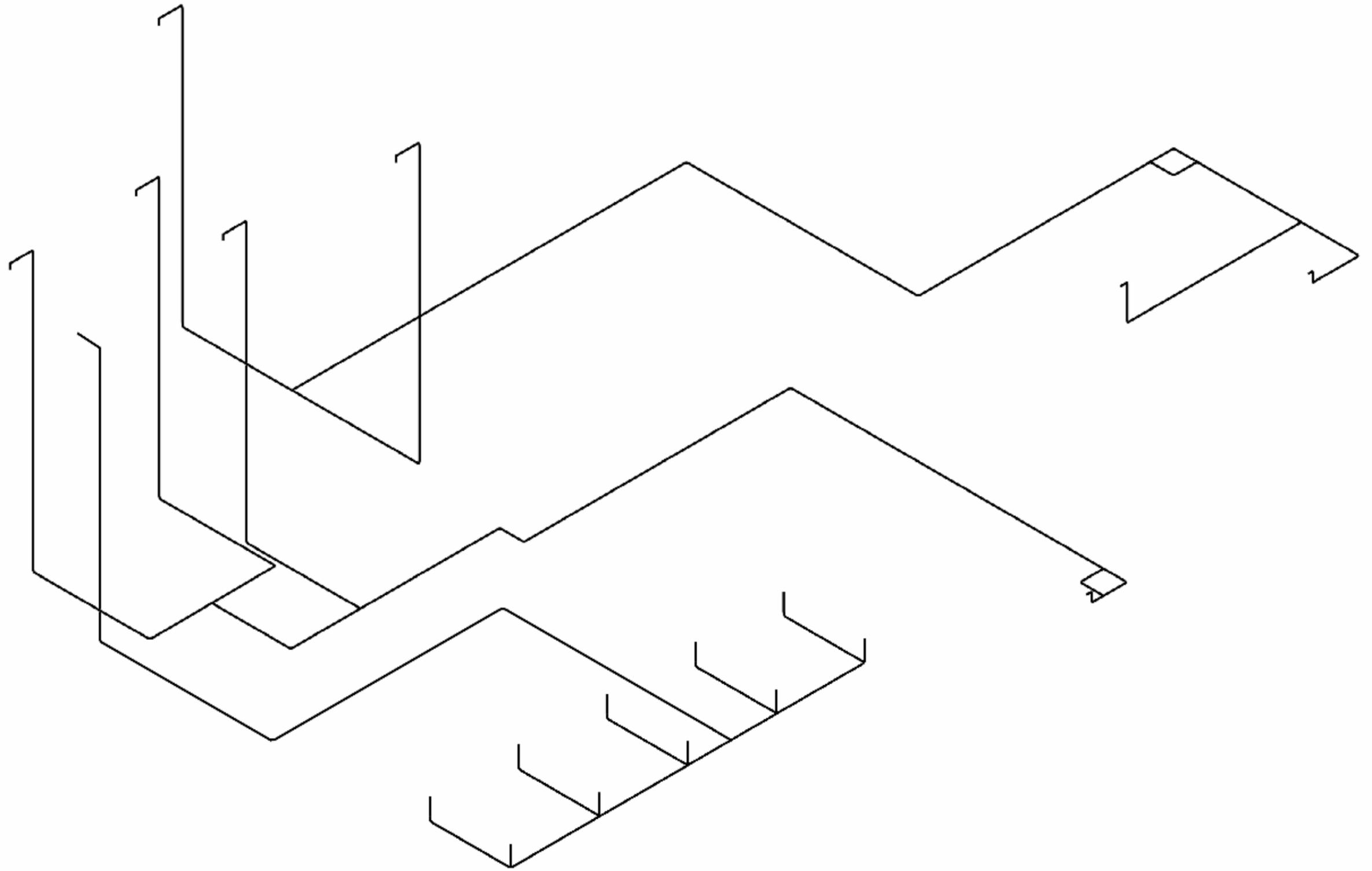
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b>		
PLANO:	Red de Melazas	Nº: 20
Escala 1:200	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez		



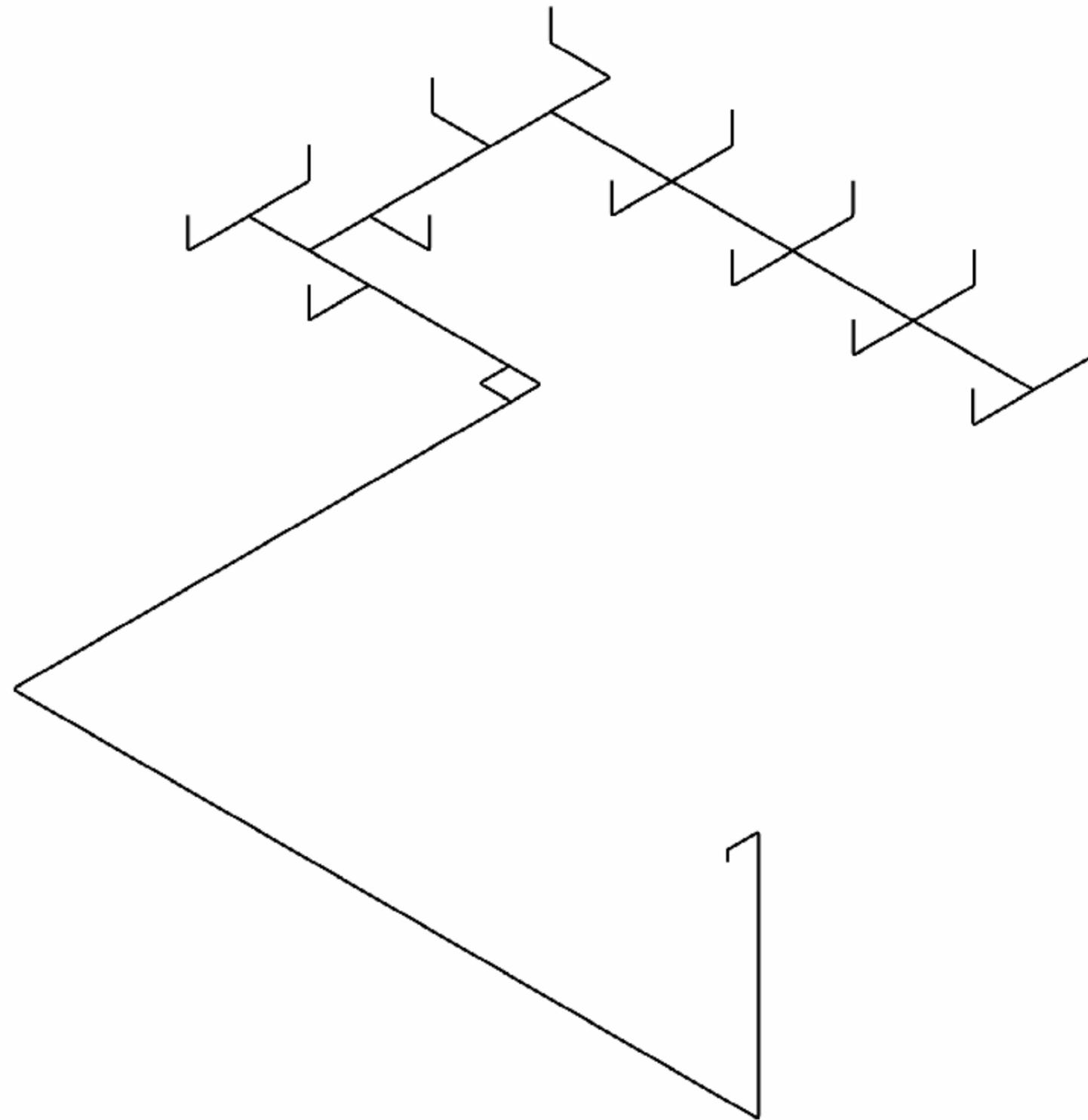
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Red de Vapor	Nº: 21
Escala 1:200	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



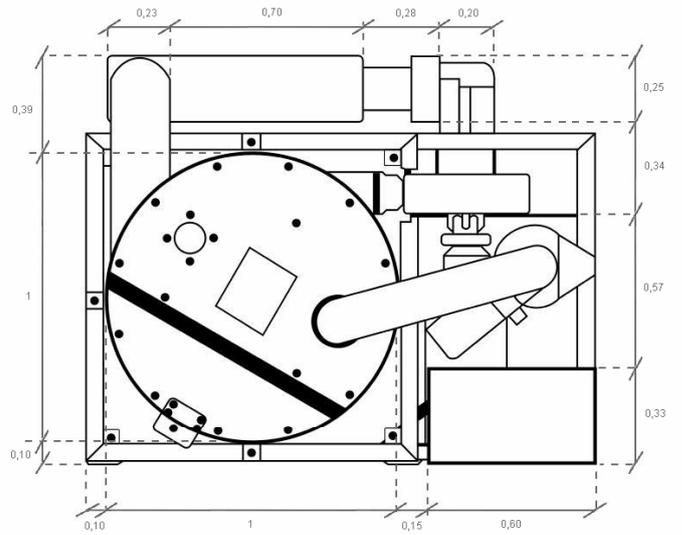
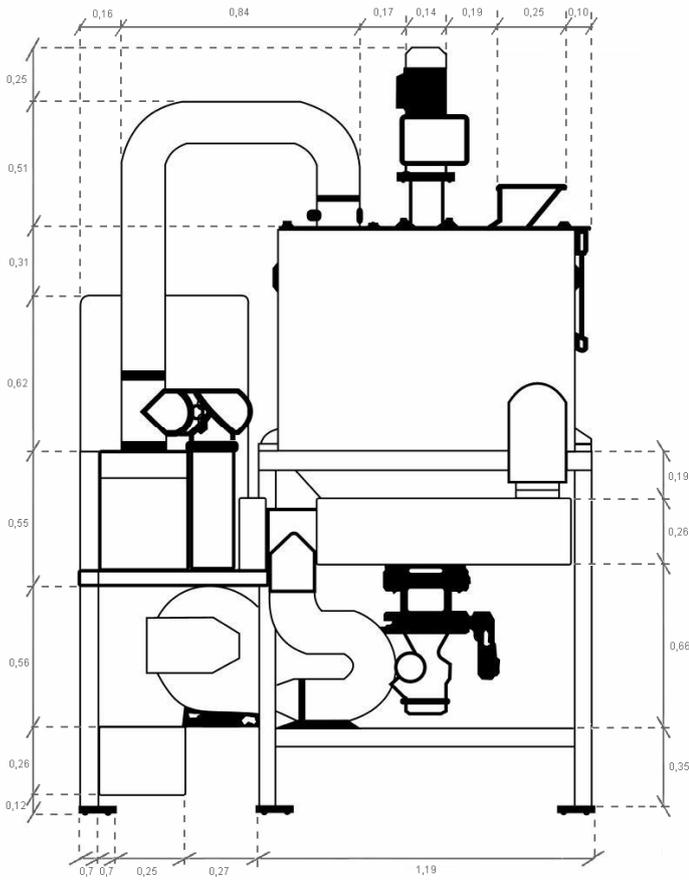
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Red de Producto	Nº: 22
Escala 1:255	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO: F. Javier Rivada Núñez		



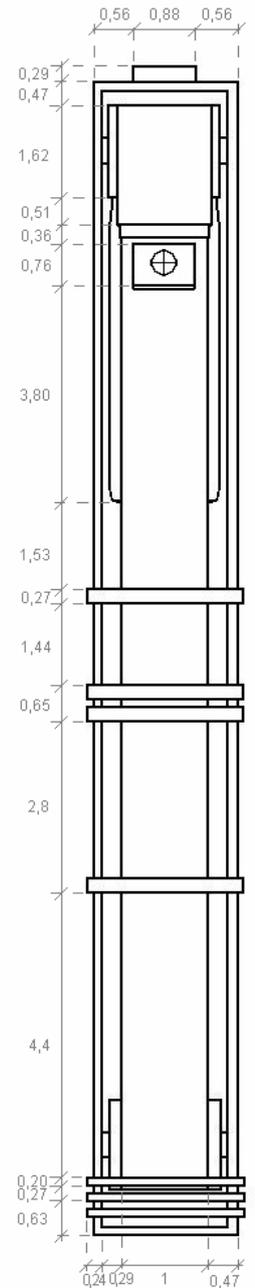
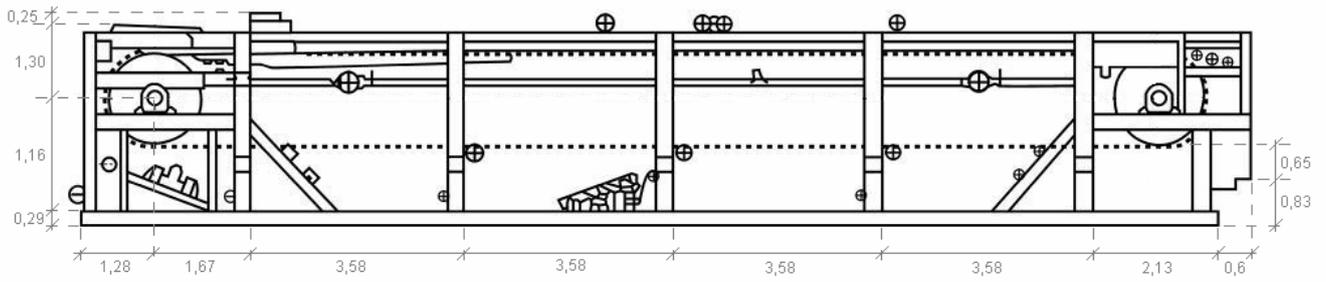
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Red de Residuos	Nº: 23
Escala 1:150	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



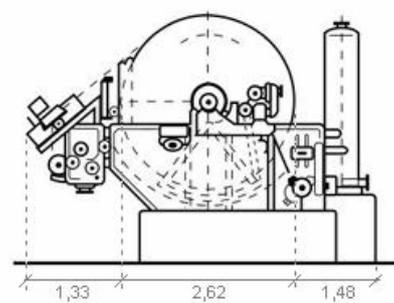
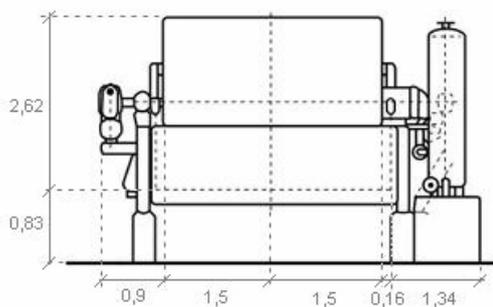
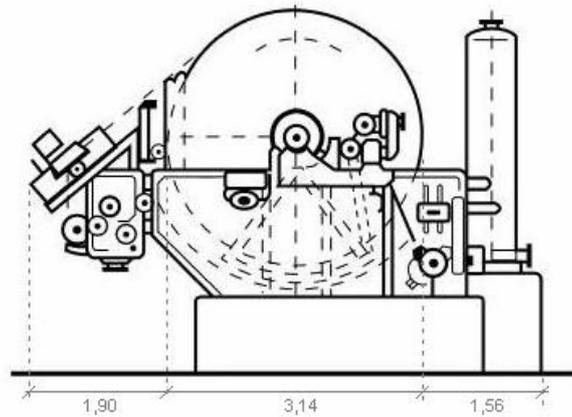
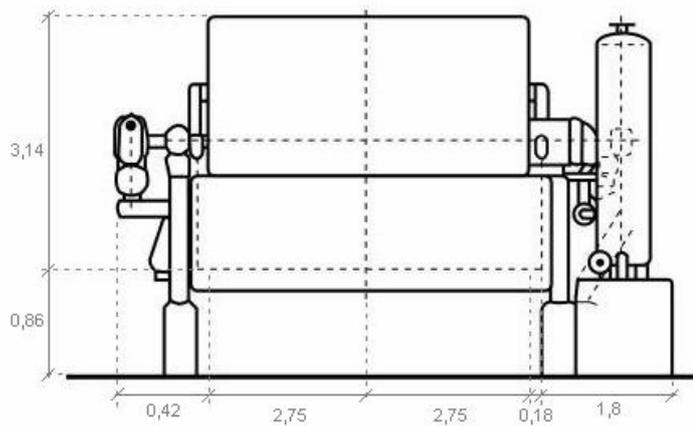
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO		
PLANO:	Red de Sulfúrico	Nº: 24
Escala 1:150	Fecha: Octubre-2008	Firma:
EL INGENIERO:	F. Javier Rivada Núñez	



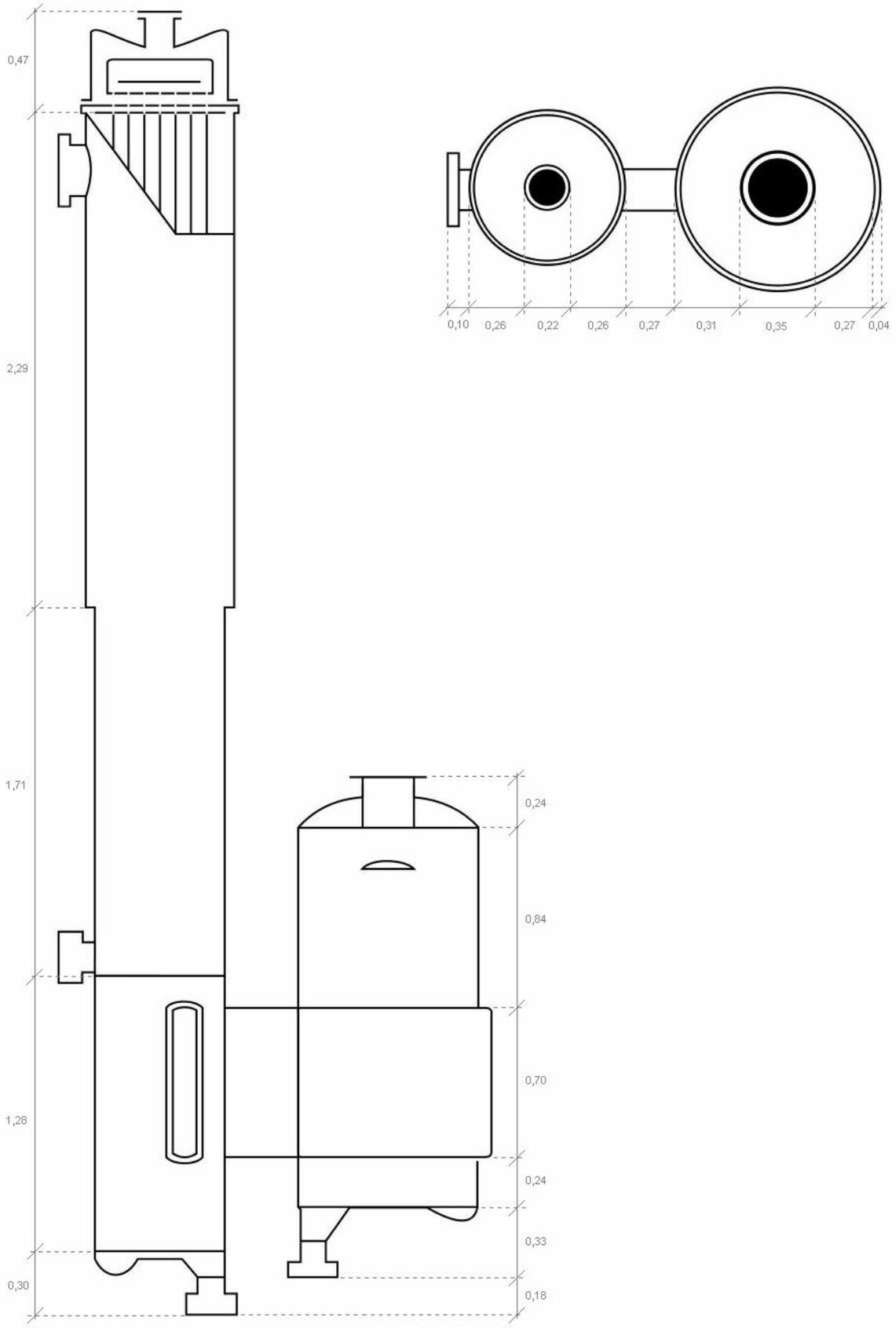
<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b>		
PLANO: Cristalizador	Nº: 25	1:28
Fecha: Febrero-2009	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b>		
PLANO: Filtro de banda	Nº: 26	1:130
Fecha: Febrero-2009	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b>		
PLANO: Filtros de tambor	Nº: 27	1:71
Fecha: Febrero-2009	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		



<b>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</b>		
<b>PROYECTO FIN DE CARRERA</b>		
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO</b>		
PLANO: Evaporador	Nº: 28	1:370
Fecha: Febrero-2009	Firma:	
F. Javier Rivada Núñez		

## DOCUMENTO TERCERO:PLIEGO DE CONDICIONES

# PLIEGO DE CONDICIONES

## ÍNDICE:

### 1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO

### 2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

#### 2.1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

#### 2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

#### 2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES

### 3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

#### 3.1. COMIENZO DE LAS OBRAS

#### 3.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS

#### 3.3. CIMENTACIONES

#### 3.4. ESTRUCTURAS DE ACERO

#### 3.5. ALBAÑILERÍA

#### 3.6. PINTURA

#### 3.7. INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN Y ALUMBRADO

#### 3.8. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

#### 3.9. BOMBAS

#### 3.10. TUBERÍAS

#### 3.11. AISLAMIENTO TÉRMICO

#### 3.12. AISLAMIENTO ACÚSTICO

#### 3.13. SEGURIDAD Y SALUD EN LA OBRA

## 1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO

### 1.1. INTERPRETACIÓN DEL SIGUIENTE PLIEGO

El presente pliego tiende a unificar criterios y establecer normas definidas en las obras que se realizarán en el presente proyecto. Se establecerán los criterios que se han de aplicar en la ejecución de las obras; también se deben fijar las características y ensayos de los materiales a emplear, las normas que se han de seguir en la ejecución de las distintas unidades de obra, las pruebas previstas para la recepción, las formas de medida y abono de las obras y el plazo de garantía.

### 1.2. OBJETO DEL PLIEGO

El pliego incluirá las prescripciones técnicas que han de regir en la ejecución de las obras del presente proyecto, así como las condiciones facultativas, económicas y legales.

Será objeto de estudio todas las obras incluidas en el presupuesto, abarcando todos los oficios y materiales que se emplearán en ella.

### 1.3. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LA OBRA

Serán cinco los documentos que definirán la obra: Memoria Descriptiva, Anexos a la Memoria, Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto.

- En la Memoria Descriptiva se describirán con detalle las obras e instalaciones.
- En los Anexos a la Memoria o Memoria Técnica se reflejan todos los cálculos necesarios para la realización del proyecto.
- En los Planos se definirá la situación de la planta así como su diseño.

- En el Pliego de Condiciones se hará una descripción de las obras.
- En el Presupuesto se definirán, especificando su número, las unidades de obra completas.

El contratista encargado de la realización de las obras estará obligado a seguir estrictamente todo lo especificado en el presente pliego.

#### 1.4. ALCANCE DE LA DOCUMENTACIÓN

Los diversos anexos y documentos del presente proyecto se complementan mutuamente. En consecuencia, una obra que venga indicada en los planos y presupuesto y que no venga indicada en los otros documentos, debe ser ejecutada por el contratista sin indemnización alguna por parte del propietario. Lo mismo se entiende para todos los trabajos accesorios no indicados en planos y documentos, pero generalmente admitidos como necesarios al complemento normal de ejecución de una obra de calidad irreprochable.

#### 1.5. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE DICHOS DOCUMENTOS

Los cinco documentos que definen este proyecto son compatibles entre sí y además se complementan unos a otros. Se ha de procurar que sólo con la ayuda de los Planos y del Pliego de Condiciones se pueda ejecutar totalmente el proyecto.

En cuanto al orden de prioridad dependerá del aspecto que se considere. Si se mira desde un punto de vista técnico - teórico, el documento más importante es la Memoria General y en especial la Memoria de Cálculo, seguido de los Planos. Si se mira desde el punto de vista jurídico - legal, será el Pliego de Condiciones el documento más importante.

## 1.6. DISPOSICIONES A TENER EN CUENTA

El Adjudicatario deberá atenerse en la adjudicación de la obra a las condiciones especiales dadas en los documentos que a continuación se expresan, respecto a condiciones de los materiales y forma de ejecutar los trabajos y ensayos a que deben ser sometidos:

### ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, FÁBRICAS, SOLADOS...

- Norma MV-101/1962. "Acciones en la Edificación". Decreto 1 95/1963 del M° de la Vivienda.
- Ley 6/1998, de 13 de Abril, sobre régimen del suelo y valoraciones.
- Ley 1/1997, de 18 de Junio, por la que se adoptan con carácter urgente y transitorio disposiciones en materia de régimen de suelo y ordenación urbana en Andalucía.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Norma EH-91: "Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón en Masa y Armado".
- Norma Básica de la Edificación NBE-FL-90. "Muros resistentes de Fábricas de Ladrillo" R.D. 1723/1990 de 20 de Diciembre (BOE 4.1.91).
- Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-94). R.D. 2543/1994 de 29 de Diciembre (BOE 8.2.1996).

### ABASTECIMIENTO DE AGUAS Y VERTIDO

- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tubería de abastecimiento de agua. Orden del MOPU de 28 de Julio (BOE 2.10.74 - 3.10.74 - 30-10-74).
- Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de

Agua del M° de Industria.

## INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución de Sevillana de Electricidad.

## ESTRUCTURAS DE ACERO.

- Norma NBE EA - 95. "Estructuras de Acero en Edificación". R.D. 1829/1995, de 1995.
- Normas Tecnológicas de la Edificación.

## APARATOS A PRESIÓN

- Reglamento de Aparatos a Presión (R.A.P.). R.D. 1244/79 del M° de Industria y Energía.

## PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

- N.B.E C.P.I-96. "Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios" del M. O. P. T.

- P.C.I - "Protección Contra Incendios en los Establecimientos Industriales".
- Reglamento de instalaciones de protección contra incendios R.D. 1942/1993 (BOE 14.12.93).
- Normas Tecnológicas de la Edificación.

#### MEDIO AMBIENTE

- Norma Básica de Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios. Orden del MOPU de 29 de Septiembre de 1988 (BOE 7.9.81 - 3.9.82 -7-10.82 - 8.10.88).
- Ley 7/1994 de 18 de Mayo, de Protección Ambiental.
- Decreto 153/1996 de 30 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Informe Ambiental.

#### SEGURIDAD Y SALUD

- Ley de 31/1995, de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

## 2. CONDICIONES GENERALES

### 2.1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

#### 2.1.1. DIRECCIÓN FACULTATIVA

##### *Artículo 1. Dirección facultativa.*

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

##### *Artículo 2. Facultades de la dirección facultativa.*

Además de las facultades particulares que corresponden a la Dirección Facultativa, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y con relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo pudiendo incluso con causa justificada, recusar en nombre de la propiedad al Contratista, si considera que al adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todas las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa asimismo, el Contratista se obliga a facilitar a la Dirección Facultativa la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesaria sobre el incumplimiento de las condiciones de la contrata y el ritmo de realización de los trabajos, tal como está previsto en el plan de obra.

A todos estos efectos el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico, los capataces y encargados necesarios que a juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida

conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

*Artículo 3. Responsabilidades de la dirección facultativa por el retraso de la obra.*

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplimentado los plazos de obra estipulados, alegando como causa la carencia de planos y órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que la Contrata, en uso de las facultades que en este artículo se le conceda los haya solicitado por escrito a la Dirección Facultativa y éste no los haya entregado. En este único caso, el Contratista quedará facultado para recurrir entre los amigables componedores previamente designados, los cuales decidirán sobre la procedencia o no del requerimiento, en caso afirmativo, la Dirección Facultativa será la responsable del retraso sufrido, pero únicamente en las unidades de obra afectadas por el requerimiento del Contratista y las subsiguientes que con ellas estuviesen relacionadas.

*Artículo 4. Cambio del director de obra.*

Desde que se dé inicio a las obras, hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado, que cuidará que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para percibir notificaciones de las órdenes de servicios y de las instrucciones escritas o verbales emitidas por la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Así mismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a su representante y personal cualificado y en especial del jefe de obra deberá comunicarlo a la Dirección Facultativa, no pudiendo producir el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados y empresarios de las obras, y en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en

el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa del recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

## 2.1.2. OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA

### *Artículo 5. Obligaciones y derechos del contratista.*

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la necesidad de someter a control todos los materiales que se han de colocar en las obras, sin que este control previo sea una recepción definitiva de los materiales. Igualmente tiene el derecho a exigir cuantos catálogos certificados, muestras y ensayos que estime oportunos para asegurarse de la calidad de los materiales.

Una vez adjudicados la obra definitiva y antes de su instalación, el Contratista presentará al técnico encargado, los catálogos, muestra, etc. Que se relacionen en este pliego, según los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por la Dirección de Obra. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Director de Obra, antes de instalarse comprobara sus características en un laboratorio oficial, en el que se realizara las pruebas necesarias.

El control previo no constituye su recepción definitiva pudiéndose ser rechazados por la Dirección de la Obra aun después de colocados si no cumplen con las condiciones exigibles en el presente Pliego de Condiciones debiéndose ser reemplazados por otros que cumplen con las calidades exigibles y a cargo de la Contrata.

### *Artículo 6. Remisión por solicitud de ofertas.*

Por la Dirección facultativa se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente proyecto, para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado proyecto o un extracto con los datos suficientes. En caso de que el ofertante lo estime

de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

*Artículo 7. Presencia del contratista en la obra.*

El Contratista, por sí o por medio de sus representantes o encargados estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que hará en la obra durante la jornada laboral.

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.

*Artículo 8. Oficina de obra.*

El Contratista habilitará una oficina de obra en la que existirá una mesa o tablero adecuado, para extender y consultar sobre él 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.

*Artículo 9. Residencia del contratista.*

Desde que se dé comienzo a las obras hasta su recepción definitiva, el Contratista, o un representante suyo autorizado, deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección facultativa y notificándole expresamente la persona que, durante su ausencia, le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa por

parte de los dependientes de la Contrata.

*Artículo 10. Recusación por el contratista del personal nombrado por la Dirección facultativa.*

El Contratista no podrá recusar al personal técnico de cualquier índole, dependiente de la Dirección facultativa o de la propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir 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 12, pero que sin por esta causa pueda interrumpirse la marcha de los trabajos.

### 2.1.3. TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES

*Artículo 11. Libro de órdenes.*

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a su disposición de la Dirección Facultativa un libro de órdenes con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea oportuno dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y por el Contratista o por su representante en obra, la copia de cada orden quedará en poder de la Dirección Facultativa.

El hecho de que en el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tienen la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista, no podrá tener en cuenta ningún acontecimiento o documento que no haya quedado mencionado en su momento oportuno en el libro de órdenes.

*Artículo 12. Reclamaciones contra la Dirección Facultativa.*

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la Dirección Facultativa sólo podrán presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes; contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar sus responsabilidades, 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.

*Artículo 13. Despidos por insubordinación, incapacidad y mala fe.*

Por falta de respeto y obediencia a la Dirección Facultativa o al personal encargado de la vigilancia de las obras por manifiesta incapacidad, o por actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, el contratista tendrá obligación de despedir a sus dependientes y operarios a requerimiento de la Dirección Facultativa.

*Artículo 14. Orden de los trabajos.*

El Director de Obra fijará en el orden que hayan de seguirse en la realización de las distintas partes que componen este Proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en el presente Proyecto.

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo aquellos casos en que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección.

Estas órdenes deberán comunicarse precisamente por escrito a la Contrata y ésta estará obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

*Artículo 15. Replanteo.*

Antes de dar comienzo las obras, la Dirección Facultativa auxiliada del personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la Dirección Facultativa, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

El contratista está obligado a satisfacer los gastos de replanteo, tanto en general como parciales, y sucesivas comprobaciones. Así mismo, serán de cuenta del contratista los que originen el alquiler o adquisición de los terrenos para depósitos de maquinaria y materiales, los de protección de materiales y obra contra todo deterioro, daño e incendio, cumpliéndose los requisitos vigentes para almacenamiento de carburantes desde los puntos de vista de seguridad y accidentes, los de limpieza y evacuación de los desperdicios, basura, escombros, etc., los motivados por desagües y señalización y demás recursos.

También serán de cuenta del Contratista los gastos totales de Dirección Facultativa y desplazamiento de personal y material para la inspección y vigilancia, recepción y liquidación.

*Artículo 16. Comienzo de las obras.*

El contratista deberá dar comienzo a las obras en el plazo marcado en el Contrato de adjudicación de la obra desarrollándose en las formas necesarias para que dentro de los periodos parciales en aquel reseñados, queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido por el Contrato.

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. Previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 15.

*Artículo 17. Plazo de ejecución.*

Los plazos de ejecución total y parciales, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo, que no exceda de 7 días a partir de la fecha de la contrata, y deberán quedar terminadas en el plazo improrrogable de 12 meses, contados a partir de la fecha del acta de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables. No obstante además de lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificaciones cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra debidos a exigencias de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el Contrato.

Si por cualquier causa ajena por completo al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director Obra la prórroga estrictamente necesaria.

*Artículo 18. Condiciones generales de 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 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 ascienden los presupuestos aprobados.

*Artículo 19. Trabajos defectuosos.*

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en

la edificación y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle la excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Facultativa o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados 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 advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos 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 con lo establecido en el artículo 22.

*Artículo 20. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del Proyecto.*

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones, las órdenes e instrucciones de los planos, 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 al enterado, que figura así mismo 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 estos crea oportuno no hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro del plazo de 15 días a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo

solicitase.

*Artículo 21. Ampliación del Proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.*

Si por causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que se especifiquen, como la rescisión en el capítulo de condiciones generales de índole legal, aquel no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la Contrata, previo informe de la Dirección Facultativa.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso de que por ello se originaría en los plazos acordados razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

*Artículo 22. Obras ocultas.*

De todos los trabajos donde haya unidades de obra que tienen que quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado y se entregarán uno al Propietario, otro a la Dirección Facultativa y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos.

Dichos planos, que deberán ir acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

*Artículo 23. Vicios ocultos.*

Si la Dirección Facultativa tuviese fundadas razones para creer la existencia de vicios ocultos de construcciones en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que supone defectuosos. Los gastos de demoliciones y reconstrucción que se ocasiona serán de cuenta del Contratista,

siempre que los vicios existan realmente y en caso contrario correrán a cargo del Propietario.

*Artículo 24. Características de los materiales, de los aparatos y su procedencia.*

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el Contrato, que están perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sea, a lo preceptuado en el Pliego de Condiciones y a las condiciones y a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

*Artículo 25. Empleo de los materiales y aparatos.*

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y aparatos que no fuesen de la calidad requerida, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa, en los términos que prescriben los Pliegos, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar en ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones vigente en la obra. Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicadas será a cargo del Contratista.

*Artículo 26. Materiales no utilizables.*

El Contratista, a su costa transportará y colocará agrupándolos ordenadamente en el sitio de la obra en el que por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc. que no serán utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa, pero acordando previamente con el Contratista la justa tasación de dichos materiales y los gastos de sus transportes.

*Artículo 27. Materiales y aparatos defectuosos.*

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen preparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los pliegos de condiciones, o a falta de estas a las órdenes de la Dirección Facultativa. La Dirección Facultativa podrá permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le parezcan o aceptar el empleo de otros de calidad superior a la indicada en los pliegos; si no le fuese posible al Contratista suministrarlos en el modo requerido por ellos, se descontará en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización alguna en el segundo.

*Artículo 28. Medios auxiliares.*

Serán de cuenta y riesgo del Contratista los andamiajes, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesitan al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Todos estos, siempre que no se haya estipulado lo Contrario en las condiciones particulares de la obra quedarán a beneficio del Contratista, sin que este pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando estos estén detallados en el presupuesto y consignados por partida alzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento del Contrato por parte del Contratista, los medios auxiliares del Constructor podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la Administración, para la terminación de las obras.

En cualquier caso, todos estos medios auxiliares quedarán en propiedad del Contratista una vez terminadas las obras, pero ningún derecho tendrá a reclamación alguna por parte de los desperfectos a que su uso haya dado lugar.

*Artículo 29. Medidas de seguridad.*

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre la seguridad e higiene en el trabajo, tanto en lo que se refiere al personal de la obra como a terceros.

Como elemento primordial de seguridad se prescribirá el establecimiento de señalización necesaria tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencia bien a peligros que existan o a las limitaciones de las estructuras.

Se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales establecidas por el Ministerio competente, y en su defecto por departamentos nacionales u organismos internacionales.

#### 2.1.4. RECEPCIÓN PROVISIONAL, PLAZO DE GARANTÍA Y RECEPCIÓN DEFINITIVA

Tanto en la recepción provisional, como definitiva, se observará lo regulado en el artículo 169 y siguientes del Reglamento de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales.

##### *Artículo 30. Recepción provisional.*

Terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas estando presente la comisión que designe el Contratista y el Director de Obra. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Obra estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en este pliego y buena ejecución y calidad de las mismas, siendo inapelable el fallo que dicho Director, a la vista del resultado de las mismas, de donde sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente pliego y precediéndose, en el plazo más breve posible, a su medición general y definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar

en el acta especificando las premisas que el Director de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ello.

*Artículo 31. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente.*

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección Facultativa fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

*Artículo 32. Plazo de garantía.*

El plazo de garantía será de un año a contar desde la fecha de su recepción provisional.

Durante el periodo de garantía todas las reparaciones derivadas de mala construcción imputables al contratista serán abonadas por éste.

Si el Director de Obra tuviera fundadas razones para creer en la existencia de

vicios de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar antes de la recepción definitiva las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos. Los gastos derivados en dichas demoliciones correrán a cargo del Contratista, siempre que existan tales vicios, en caso contrario correrán a cargo de la Propiedad.

*Artículo 33. Recepción definitiva.*

Pasado el plazo de garantía, si las obras se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, de acuerdo al presente pliego, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente las obras se procederá de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se detraerán las sanciones o cargas que procedan conforme a lo estipulado en el presente pliego.

En caso de que las obras no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

#### 2.1.5. CASOS NO PREVISTOS EN ESTE PLIEGO

El Director de Obra dará las normas a seguir en todo aquello que no quede regulado en este Pliego de Condiciones.

## 2.2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

### 2.2.1. BASE FUNDAMENTAL

#### *Artículo 34. Alcance.*

Comprenderán las que afecten al coste y pago de las obras contratadas, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del Contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo contratado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el Contratista, y de acuerdo con las condiciones convenidas, las que le fueran adjudicadas.

#### *Artículo 35. Base fundamental.*

La base fundamental de estas condiciones es la de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción contratada.

### 2.2.2. GARANTÍAS DE CUMPLIMIENTO Y FIANZAS

#### *Artículo 36. Garantías.*

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del

## Contrato.

### *Artículo 37. Fianzas.*

Si la obra se adjudica por subasta, el depósito para tomar parte de ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de un 3% como mínimo del total del presupuesto de la contrata.

La persona o entidad a quien se haya adjudicado la ejecución de la obra, deberá depositar en el punto y plazo marcados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva de estas y, en su defecto, su importe será del 10% de la cantidad por la que se otorgue la adjudicación de la obra.

La fianza que se exigirá al Contratista se convendrá entre el Ingeniero y el Contratista, entre una de las siguientes:

- Depósito de valores públicos del Estado por un importe del 10% del presupuesto de la obra contratada.
- Depósito en metálico de la misma cuantía indicada en el anterior apartado.
- Depósito previo en metálico de la misma cuantía del 10% del presupuesto mediante deducción del 5% efectuadas del importe de cada certificación abonada al Contratista.
- Descuento del 10% efectuado sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

### *Artículo 38. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza.*

Si el Contratista se negara a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero, 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 baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

*Artículo 39. Devolución de la fianza.*

La fianza será devuelta al Contratista en el plazo que no exceda de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de la certificación del Alcalde al Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, y no haya reclamación alguna contra aquel 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.

### 2.2.3. PENALIZACIONES

*Artículo 40. Importe de indemnización por retraso no justificado.*

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista, por causa de retraso no justificada en el plazo de terminación de las obras contratadas, se fijará entre cualquiera de los siguientes:

- Una cantidad fija durante el tiempo del retraso.
- El importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, previamente fijados.
- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso.

La cuantía y el procedimiento a seguir para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se obtendrán expresamente entre ambas partes contratantes, antes de la firma del Contrato; a falta de este previo convenio, la cuantía de la indemnización se entiende que será el abono por el Contratista al Propietario de un interés del 4,5% anual, sobre las sumas totales de las cantidades desembolsadas por el Propietario, debidamente justificadas y durante el plazo de retraso de la entrega de las obras, en las condiciones contratadas.

#### 2.2.4. PRECIOS Y REVISIONES

##### *Artículo 41. Precios contradictorios.*

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección técnica el acta de avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, la Dirección Facultativa propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Contratista estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle la Dirección Facultativa y a concluir a satisfacción de éste.

De los precios así acordados se levantarán actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, el Propietario y el Contratista o los representantes autorizados a estos efectos por estos últimos.

*Artículo 42. Revisión de precios.*

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en más o menos de 5%, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la obra que falte por ejecutar. En caso de urgencia podrá autorizarse la adquisición de materiales a precios superiores, siendo el abono de la diferencia con los contratos.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello que en principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales se admite durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado. El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando los contratados. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de recontinuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se tendrá en cuenta y cuando proceda, el acopio de materiales en la obra en el caso que estuviese abonado total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero en su representación no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

*Artículo 43. Reclamaciones de aumentos de precios.*

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación y observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que se aprobase para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contrato, señalados en los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa, sino en el caso de que la Dirección Facultativa o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, puesto esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

*Artículo 44. Normas para la adquisición de los materiales.*

Si al Contratista se le autoriza a gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Si los materiales fuesen de inferior calidad a las muestras presentadas y aprobadas, el Contratista adquiere la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios que por su incumplimiento se originen, cuya cuantía la evaluará el Ingeniero Director.

*Artículo 45. Intervención administrativa del Propietario.*

Todos los documentos que deben figurar en las cuentas de administración llevarán la conformidad del representante en los partes de jornales, transportes y materiales, firmando su conformidad en cada uno de ellos.

*Artículo 46. Mejora de obras.*

No se admitirán mejorar las obras, más que en el caso que el Ingeniero haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo el caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero ordene también por escrito la ampliación de las contratadas.

Será condición indispensable que ambas partes contratadas convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos de todas las mejoras.

*Artículo 47. Unidades de obra no conformes con el Proyecto.*

Si el Contratista, por causa Justificada a juicio del Ingeniero propusiera la ejecución de algún trabajo que no esté conforme con las condiciones de la contrata y por causas especiales de excepción la estimase el Ingeniero, éste resolverá dando conocimiento al Propietario y estableciendo contradictoriamente con el Contratista la rebaja del precio.

## 2.2.5. MEDICIÓN, VALORACIÓN Y ABONO DE LAS UNIDADES DE OBRA

*Artículo 48. Medición, valoración y abono de las unidades de obra.*

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se

practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran.

La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de Obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista las obras de fábrica ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto o a las modificaciones introducidas por el Director Técnico en el replanteo o durante la ejecución de las obras, que constarán en planos de detalle y órdenes escritas. Se abonarán por su volumen o su superficie real de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuran en el cuadro de precios.

*Artículo 49. Mediciones parciales y finales.*

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de lo que se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

*Artículo 50. Composición de los precios unitarios.*

Los precios unitarios se compondrán preceptivamente de la siguiente forma:

- Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas intervenidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- Materiales, expresando la cantidad que en cada unidad de obra se precise de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo en origen.
- Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de trabajo.
- Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad.
- Tanto por ciento de gastos generales.
- Tanto por ciento de seguros y cargas sociales.
- Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista.

*Artículo 51. Composición de los precios por ejecución material.*

Se entiende por precio de ejecución material el que importe el coste total de la unidad de obra, es decir, el resultante de la suma de las partidas que importan los conceptos "dos" y "seis", ambos inclusive, del artículo precedente, es decir, p.d.m. será igual a la suma de los cinco primeros conceptos del artículo anterior.

*Artículo 52. Composición de los precios por contrata.*

En el caso de que los trabajos a realizar en la obra y obra aneja, se entiende por precio de contrata que el importe del coste de la unidad de obra total, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre éste último precio en concepto de "beneficio industrial del Contratista".

A falta de convenio especial se aplicará el 15%. De acuerdo con lo establecido se entiende por importe de contrata de un edificio u obra aneja, a la suma de su

importe de ejecución material más el 15% de beneficio industrial:

- Imprevistos 1%.
- Gastos de administración y dirección práctica de los trabajos 5%.
- Intereses del capital adelantado por el Contratista 3%.
- Beneficio industrial del Contratista 6%.

*Artículo 53. Composición de los precios por administración.*

Se denominan obras por administración aquellas en que las gestiones que se precisen realizar, las lleva acabo el Propietario, bien por sí o por un representante suyo, o bien por mediación de su Constructor.

Las obras por administración directa son aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo lleve las gestiones precisas para la ejecución de las obras.

Las obras por administración indirecta son aquellas en las que convienen un Propietario y el Contratista, para que éste por cuenta de aquel y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y así se convengan.

Por parte del Propietario, tiene la obligación de abonar directamente o por mediación del contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos. Por parte del contratista, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecute por administración indirecta, regirán las normas que a tales fines se establece en las Condiciones Particulares de índole Económico vigente en la obra:

- Las facturas de los transportes de materiales entrados en la obra.
- Los documentos justificativos de las partidas abonadas por los seguros y cargas sociales vigentes.
- Las nóminas de los jornales abonados.

- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra.
- A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Contratista se le aplicará un 15%, incluidos los medios auxiliares y los de seguridad.

*Artículo 54. Precio del material acopiado a pie de obra.*

Si el Propietario ordenase por escrito al Contratista el acopio de materiales o aparatos en la obra a los precios contratados y ésta así lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

*Artículo 55. Precios de las unidades de obra y de las partidas alzadas.*

En los precios de las distintas unidades de obra, en los de aquellas que hayan de abonarse por partidas alzadas, se entenderán que se comprende el de la adquisición de todos los materiales necesarios, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación, pruebas y toda clase de operaciones y gastos que vayan a realizarse, así como riesgos y gravámenes que puedan sufrirse, aún cuando no figuren explícitamente en el cuadro de precios, para dejar la obra completamente terminada, con arreglo a las condiciones, y para conservarla hasta el momento en que se realice la entrega.

Los precios serán invariables, cualquiera que sea la procedencia de los materiales y el medio de transporte, sin más excepción que la expresada en este Pliego.

*Artículo 56. Relaciones valoradas y certificaciones.*

Lo ejecutado por el Contratista se valorará aplicando al resultado de la medición general los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo en cuenta además lo establecido en el presente pliego respecto a mejoras o sustituciones de materiales y a las obras accesorias y especiales.

Al Contratista se lo facilitarán por el Ingeniero los datos de la certificación,

acompañándolos de una nota de envío, al objeto, que dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del envío de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad, hacer en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el Ingeniero aceptará o rechazará las reclamaciones al Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Ingeniero en la forma prevenida en los pliegos anteriores.

Cuando por la importancia de la obra, o por la clase y número de documentos, no considere el Contratista suficiente aquel plazo para su examen, podrá el Ingeniero concederle una prórroga. Si transcurrido el plazo de 10 días a la prórroga expresada no hubiese devuelto el Contratista los documentos remitidos, se considerará que está conforme con los referidos datos, y expedirá el Ingeniero la certificación de las obras ejecutadas.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere.

En el caso de que el Ingeniero lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

*Artículo 57. Valoración en el caso de rescisión.*

Cuando 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 del Ingeniero y la contrata y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores 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 se consideren necesarios para terminar las obras y quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que si no tendrán lugar el abono por este concepto, cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los tercios de la obra contratada.

Se abonarán los materiales acopiados al pie de obra si son de recibo y de aplicación para terminar esta, en una cantidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos. También se abonarán los materiales acopiados fuera de la obra, siempre que se transporten al pie de ella.

En el caso de rescisión por falta de pago o retraso en el abono o suspensión por plazo superior de un año imputable al Propietario, se concederá al contratista además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijará el Ingeniero, la cual no podrá exceder del 3% del valor de las obras que falten por ejecutar.

En caso de rescisión por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las condiciones legales, no procederá más que el reintegro al Contratista de los gastos por custodias de fianza, anuncio de subasta y formalización del contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles destinados a las obras.

En caso de rescisión por falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización a las obras pero si a que se abonen las ejecutadas, con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo.

Si lo incompleto, es la unidad de obra y la parte ejecutada en ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que correspondan según la descomposición del precio que figura en el cuadro del 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 integra, quedando en esta suma, así obtenida, comprendidos todos los medios auxiliares.

En general se dará al Contratista un plazo de tiempo que determinará la Dirección de la Obra, dentro de los límites de 20 y 60 días para poner el material en curso de instalaciones de ser aceptado como obra terminada, teniendo en cuenta que las no finalizadas se liquidarán a los precios elementales que figuren en el presupuesto, así como los recibos de los materiales a pie de obra que reúnan las debidas condiciones se seguirá por las disposiciones vigentes.

*Artículo 58. Equivocaciones en el presupuesto.*

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte, que si la obra ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades que las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

*Artículo 59. Formas de abono de las obras.*

El abono de los trabajos efectuados se efectuará por uno de los procedimientos siguientes, convenido por el Ingeniero y el Contratista antes de dar comienzo los trabajos:

- 1°. Tipo fijo o a tanto alzado total.
- 2°. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar el número de unidades ejecutadas.
- 3°. Tanto variable por unidad de obra según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Ingeniero.
- 4°. Por lista de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego determina.
- 5°. Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

*Artículo 60. Abono de unidades de obra 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 el Ingeniero.

*Artículo 61. Abono de trabajos presupuestados con partidas alzadas.*

Si existen precios contratados para unidades de obras iguales a las presupuestadas mediante partida alzada se abonará previa medición y aplicación del precio establecido.

Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerá, precios contradictorios para las unidades con partidas alzadas, deducidos de los similares contratados.

Si no existen precios contratados, para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse en cuyo caso, el Ingeniero director de la obra indicará al Contratista y con anterioridad a

su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta.

*Artículo 62. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.*

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos para su abono se procederá así:

- Si los trabajos se realizan y están especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Ingeniero exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valoradas a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos fueran inferiores a los que rijan en la época de su realización en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso de las obras, por haber sido utilizadas durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, nada se abonará por ellos al Contratista.

*Artículo 63. Abono de obras incompletas.*

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra en forma distinta, ni que tenga derecho el Contratista a reclamación alguna por insuficiencia u omisión del costo de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono cuando esté acopiado en obra la totalidad del material, incluidos accesorios, o realizados en su totalidad las labores u operaciones que determina la definición de la partida, ya que el criterio a seguir ha de ser que sólo se consideran abonables fases con ejecución terminadas, perdiendo el Adjudicatario todos los derechos en el caso de dejarlas incompletas.

*Artículo 64. Liquidaciones parciales.*

Las liquidaciones se harán por certificaciones mensuales y se hallarán multiplicando las unidades resultantes de las mediciones por el precio asignado de cada unidad en el presupuesto. Se añadirá el % correspondiente al sistema de Contrato, desquitando las rebajas que se obtuvieran en subasta.

*Artículo 65. Carácter provisional de las liquidaciones parciales.*

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

La Propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

*Artículo 66. Liquidación final.*

La liquidación general se llevará a cabo una vez terminadas las obras y en ella se hará constar las mediciones y valoraciones de todas las unidades de obra realizadas, las que constituyen modificaciones del proyecto, y los documentos y aumentos que se aplicaron en las liquidaciones parciales, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección técnica con sus precios.

De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Propiedad con el visto bueno del Ingeniero Director.

*Artículo 67. Liquidación en caso de rescisión.*

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se

redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

*Artículo 68. Pagos.*

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y sus importes corresponderán precisamente al de las certificaciones de obras expedidas por el ingeniero, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

*Artículo 69. Suspensión o retrasos en el ritmo de los trabajos por retraso en los pagos.*

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos o ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

*Artículo 70. 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 además el derecho de percibir el abono de un 4,5% anual en concepto de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo, tendrá derecho el Contratista a la rescisión del Contrato, precediéndose a la ejecución de la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que la cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

Se rechazará toda solicitud de rescisión del Contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra en los materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el Contrato.

*Artículo 71. Indemnización de daños causados por fuerza mayor.*

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas ocasionadas en la obra sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los producidos por terremotos o los maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de los ríos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomarán las medidas posibles dentro de sus medios para evitar los daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno e que estén construidas las obras.

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas con materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares.

## 2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES

### 2.3.1. ARBITRIO Y JURISDICCIÓN

#### *Artículo 72. Formalización del Contrato.*

Los Contratos se formalizarán mediante documentos privados, que podrán elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Este documento contendrá una cláusula en la que se expresa terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del Contrato, conforme a lo previsto en el Pliego General de Condiciones.

El Contratista antes de firmar la escritura habrá firmado también su conformidad al pie del Pliego de Condiciones Particulares que ha de regir la obra, en los planos, cuadros de precios y presupuesto general.

Serán de cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne la contrata.

#### *Artículo 73. Arbitraje obligatorio.*

Ambas partes se comprometen a someterse en sus diferencias al arbitraje de amigables compondores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por la contrata y tres Ingenieros por el C.O. correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

#### *Artículo 74. Jurisdicción competente.*

En caso de no haberse llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes son obligadas a someterse a la discusión de todas las cuestiones que pueden 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.

## 2.3.2. RESPONSABILIDADES LEGALES DEL CONTRATISTA

### *Artículo 75. Medidas preparatorias.*

Antes de comenzar las obras el Contratista tiene la obligación de verificar los documentos y de volver a tomar sobre el terreno todas las medidas y datos que le sean necesarios. Caso de no haber indicado al Director de obra en tiempo útil, los errores que pudieran contener dichos documentos, el Contratista acepta todas las responsabilidades.

### *Artículo 76. Responsabilidad en la ejecución de las obras.*

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. 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 Facultativa haya examinado o reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas las liquidaciones parciales.

### *Artículo 77. Legislación Social.*

Habrá de tenerse en cuenta por parte del Contratista la Reglamentación de Trabajo, así como las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, los Accidentes de Trabajo, Seguridad e Higiene en el Trabajo y demás con carácter social urgentes durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir lo reglamentado sobre seguridad e higiene en el trabajo, así como la legislación actual en el momento de ejecución de las obras en relación sobre protección a la industria nacional y fomento del consumo de artículos nacionales.

*Artículo 78. Medidas de seguridad.*

En caso de accidentes ocurridos a los operarios con motivo de ejercicios en los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos vigentes en la legislación, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidad en cualquier aspecto.

De los accidentes y perjuicios de todo género que por cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudiera recaer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya se considera que los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente, dichas disposiciones legales, será preceptivo que el tablón de anuncios de la obra presente artículos del Pliego de Condiciones Generales de índole general, sometido previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes perpetúen para evitar en lo posible accidentes a los obreros y a los andantes no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

Se exigirán con especial atención la observación de lo regulado por la ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.).

*Artículo 79. Vallado y policía de obra.*

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo, y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

*Artículo 80. Permisos y Licencias.*

El adjudicatario estará obligado a tener todos los permisos y licencias, para la ejecución de las obras y posterior puesta en servicio y deberá abonar todas las cargas, tasas e impuestos derivados de la obtención de dichos permisos.

*Artículo 81. Daños a terceros.*

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobreviniese en la edificación donde se efectúan las obras.

Como en las contiguas, será, por tanto, de sus cuentas el abono de las indemnizaciones a quien corresponde y cuando ello hubiera 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.

*Artículo 82. Seguro de la obra.*

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante 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 se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a él, se abone la obra que se construye y a medida que esta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos

En las obras de reparación o reforma, se fijará la porción de la obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza de

seguros, las pondrá el Contratista antes de contratadas, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

*Artículo 83. Suplementos.*

El Contratista no puede hacer ningún trabajo que ocasione suplementos de gastos sin autorización escrita del Propietario de la instalación y con el visto bueno del Director de obra.

*Artículo 84. Conservación y otros.*

El Contratista ejecutor de las obras tendrá que conservar a su cargo todos los elementos de las obras civiles y eléctricas desde el comienzo de las obras hasta la recepción definitiva de las mismas. A este respecto, los gastos derivados de la conservación, tales como revisiones periódicas de las instalaciones, vigilancia, reposición de posibles desperfectos causados por terceros, limpieza de aparatos, etc. correrán a cargo del Contratista, no pudiendo éste alegar que la instalación esté o no en servicio.

La sustitución o reparación será decidida por la Dirección de obra, que juzgará a la vista del incidente si el elemento puede ser reparado o totalmente sustituido por uno nuevo teniendo que aceptar totalmente dicha decisión.

El Contratista estará obligado a ejecutar aquellos detalles imprevistos por su minuciosidad o que se hayan omitido si el Director de la obra lo juzga necesario.

*Artículo 85. Hallazgos.*

El Propietario se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte, o sustancias minerales utilizables, que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en su terreno o edificaciones. El Contratista deberá emplear para extraerlo todas las precauciones que se le indiquen por la Dirección.

El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán así mismo, de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de la ejecución de las obras, aparecieran en los solares o terrenos donde se realicen las obras, pero el Contratista, en el caso de tratarse de aguas y si las utilizara, serán de cargo del Contratista las obras que sean convenientes ejecutar para recogerlas para su utilización.

La utilización para el aprovechamiento de gravas y arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecuten, así como las condiciones técnicas y económicas en que estos aprovechamientos han de concederse y ejecutarse se señalarán para cada caso concreto por la Dirección Facultativa.

*Artículo 86. Anuncios y carteles.*

Sin previa autorización de la Propiedad no podrán ponerse, ni en sus vallas, más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y la policía local.

*Artículo 87. Copia de documentos.*

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, presupuesto, y pliego de condiciones y demás documentos del proyecto.

### 2.3.3. SUBCONTRATAS

*Artículo 88. Subcontratas.*

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de la obra a otra u otras empresas, administradores, constructores, instaladores, etc. no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

El Contratista será el único responsable de la totalidad de la obra tanto desde el punto de vista legal como económico, reconociéndose como el único interlocutor válido para la Dirección Técnica.

#### 2.3.4. PAGO DE ARBITRIOS

##### *Artículo 89. Pagos de arbitrios.*

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de otro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la Dirección Facultativa considere justo hacerlo.

#### 2.3.5. CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO

##### *Artículo 90. Causas de rescisión del contrato.*

Se consideran causas suficientes de rescisión de Contrato las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndico se ofrecieran a llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que este último caso tengan derecho a indemnización alguna.

Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:

- La modificación del Proyecto en forma tal, que representan alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen más o menos un 25% como mínimo del importe de aquel.
- La modificación de las unidades de obra siempre que estas modificaciones representen más o menos del 40% como mínimo de algunas de las unidades que figuren en las modificaciones del Proyecto, o más de un 50% de unidades del Proyecto modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo de la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
- El no dar comienzo de la contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.
- Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras. La mala fe de la ejecución de los trabajos.
- El abonado de la obra sin causa justificada.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a esta.

Quedará rescindido el contrato por incumplimiento del contratista de las condiciones estipuladas en este Pliego perdiendo en este caso la fianza, y quedando sin derecho a reclamación alguna.

### 3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

En este Capítulo se detallan las características técnicas de los materiales, maquinarias y equipos a emplear, y los medios de ejecución de las obras, además se redactarán las normas de seguridad en el desarrollo de los trabajos y los métodos de medición y valoración a seguir; para cada uno de los capítulos que conforman la ejecución al completo del Proyecto.

#### GENERALIDADES

##### *1. Medición y valoración de las Unidades de Obra.*

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran. La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista, las obras de tierra, de fábrica y accesorios, ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto, o a las mediciones introducidas por el Director de la Obra, en el replanteo de las mismas, que costará en el plano de detalle y órdenes escritas, se abonará por el volumen o peso de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuren en el cuadro de precios.

## *2. Condiciones Generales de seguridad e higiene en el trabajo.*

De acuerdo con lo prescrito en el Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en vigor, las obras objeto del Proyecto satisfará todas las medidas de seguridad e higiene en beneficio del personal de la misma, haya de realizar su trabajo.

### 3.1. COMIENZO DE LAS OBRAS.

#### 3.1.1. REPLANTEO

El Director Obra auxiliado por el personal técnico y equipo de trabajo, de la empresa adjudicataria encargada de la ejecución, efectuará sobre el terreno el replanteo general de las obras que comprenden el Proyecto, así como los replanteos parciales que sean necesarios durante la ejecución de las mismas, dejando constancia material mediante señales, hitos y referencias colocadas en puntos fijos del terreno que tengan garantía de permanencia para que durante la ejecución de las obras puedan fijarse con relación a ellas, la situación en planta o en altura de cualquier elemento o parte de las mismas obras.

El Contratista facilitará a sus expensas cuantos medios materiales y auxiliares se necesiten para llevar a cabo los replanteos generales y parciales.

Con los resultados obtenidos, se levantará acta, acompañada de planos, mediciones y valoraciones, firmadas por el Director Obra y el Contratista o representante en quien delegue, en la que se hará constar las modificaciones introducidas, caso de que se produzcan, presupuestos resultantes y cuantas incidencias sean de interés para un mejor realización de las obras.

El Contratista, desde el momento que firma el acta de replanteo, se hace responsable de la conservación y reposición de todos los datos que motiven las operaciones reseñadas en este artículo, incluidos materiales, colaboración etc.

Si durante la realización de las obras se apreciase un error en los replanteos, alineaciones o dimensiones de una parte cualquiera de las obras, el Contratista procederá a su rectificación a su costa. La verificación de los replanteos, alineaciones o dimensiones por la Dirección de obra, no eximirá al Contratista de sus responsabilidades en cuanto a sus exactitudes.

### 3.1.2. LIMPIEZA DEL TERRENO

Las operaciones de desbrozado deberán ser efectuadas con las debidas precauciones de seguridad a fin de evitar daños en las construcciones existentes, propiedades colindantes, vías y servicios públicos y accidentes cualquier tipo.

Todos los materiales que puedan ser destruidos por el fuego serán quemados, de acuerdo con las normas que sobre el particular existan en la localidad.

Los materiales no combustibles podrán ser utilizados por el Contratista en la forma que considere más conveniente, previa autorización del Director de Obra.

## 3.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS.

### 3.2.1. EXCAVACIONES

Las excavaciones a realizar son:

- Excavaciones en el Centro de Transformación: las necesarias para realizar las arquetas de puesta a tierra, así como las requeridas para el montaje de los centros prefabricados.
- Excavaciones para cimientos de la planta.
- Excavaciones para cimentar la valla exterior.
- Excavaciones para las losas de apoyo de las unidades.

Para no disgregar el terreno más allá de lo previsto, el Director de Obra podrá ordenar que las excavaciones para cimientos de obras de fábrica, sean realizadas por etapas sucesivas.

Si el suelo fuera arcilloso, se realizará la excavación en dos partes, dejando sin ejecutar una capa final, 15 cm, hasta el momento de construir las cimentaciones de la obra.

Si del reconocimiento del terreno, practicado al efectuar las excavaciones, resultase necesidad o conveniencia de variar el sistema de cimentación previsto para las obras de fábrica, se reformará el Proyecto, suspendido mientras tanto los trabajos que fueran necesarios. El Contratista percibirá en este caso el coste de los trabajos realizados, pero no tendrá derecho a ninguna otra indemnización por la variación del Proyecto.

### EXCAVACIONES EN ZANJAS PARA TUBERÍAS

Las zanjas tendrán las dimensiones que figuran en los planos del Proyecto, debiendo llevar su fondo nivelado cuidadosamente para que el tubo apoye en toda su longitud. El Director de Obra indicará en cada caso, una vez abierta la zanja, si es preciso a la vista de la naturaleza del terreno, colocar la tubería a mayor profundidad.

Con arreglo a planos o en su caso a las indicaciones recibidas del Director de Obra como consecuencia del replanteo general, el Contratista realizará las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras objeto del proyecto. En tales excavaciones se incluirán los siguientes puntos:

- Desbroce y despeje del terreno.
- Extracción.
- Transporte de los productos removidos a acopio, lugar de empleo o vertedero.
- Acondicionamiento de terrenos si fuese necesario y cuantas operaciones fuesen necesarias para terminar lo obra.
- Relleno.

Toda excavación no realizada por el Adjudicatario según planos o con el visto bueno del Director de Obra, no serán abonados. El acopio del material extraído se realizará en lugar adecuado, de modo que no se perjudique el tráfico, ni perturbe desagües y drenajes. Estos trabajos se consideran intrínsecos a la obra y por tanto incluidas en las unidades correspondientes, por lo que no procede abono alguno complementario por tales conceptos. El relleno de la zanja se realizará siguiendo la estratificación indicada en planos. El relleno de las zanjas se realizará en tongadas sucesivas de espesor uniforme, y no siendo este superior a 30 cm. Tales tongadas serán compactadas humedeciendo ligeramente el material de relleno si fuese necesario. La terminación y la explanación de las superficies se realizarán de modo que no se puedan formar depósitos de agua.

## MEDICIÓN Y VALORACIÓN DE LAS EXCAVACIONES

Las excavaciones necesarias para la ejecución de las obras, se abonarán por su volumen referido al terreno antes de excavarlo, al precio respectivo por m<sup>3</sup> que figura en el cuadro de precios.

Los volúmenes se deducirán de las líneas teóricas de los planos y órdenes escritas del Director, a partir de los perfiles reales del terreno. Los precios comprenden todos los medios auxiliares y operaciones necesarias para hacer las excavaciones, así

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

como es rasanteo de las zanjas y la arena o material preciso para aquello.

También incluye la retirada de los productos de las excavaciones a sitios donde no afecten a las obras.

No serán abonados los trabajos y materiales que hayan de emplearse para evitar posibles desprendimientos, ni los excesos de excavaciones que por conveniencia u otras causas ajenas a la dirección de las obras ejecute el Contratista, así como las entibaciones que sean precisas ejecutar para seguridad del personal y evitar accidentes.

No serán abonados los desprendimientos, salvo en aquellos casos en que se pueda comprobar que ha sido debido a fuerza mayor. Nunca lo serán los debidos a negligencias del Contratista o por no haber cumplido las ordenes de la dirección de la obra.

Tampoco serán de abono la reparación de todas las avenas y desperfectos que en cualquier excavación puedan producirse por consecuencia de lluvias, tránsitos no autorizados y otras causas que no sean de fuerza mayor.

## MEDICIÓN Y VALORACIÓN DE LA EXCAVACIÓN EN ZANJA PARA TUBERÍAS

Se abonará por metro lineal o por metro cúbico, a tenor de la definición que se haga en el Cuadro de Precios.

También comprende el refino de la zanja y la compactación del fondo de la misma, cuando tal medida sea necesaria y así se ordene por el Director de Obra. Esta compactación se realizará al 95% del Proctor Normal, salvo distinta indicación del Director de Obra.

El precio también comprende, salvo que expresamente se indique lo contrario, todas las operaciones de carga, descarga y transporte a vertedero, cualquiera que sea la distancia de transporte, de todos los productos sobrantes de excavación, una vez rellena y compactada la zanja. También están comprendidos en el precio, el extendido de las tierras en vertederos, y la indemnización por la zona ocupada por

éstas.

Antes de proceder al relleno con arena para la cama de asiento de las tuberías, el Contratista deberá obtener del Director de Obra la aprobación de la excavación, no pudiendo sin la misma comenzar el relleno.

### 3.2.2. DRENAJE

En el lecho de las excavaciones realizadas se depositará una capa de áridos, de modo que se obtenga un eficaz drenaje. El espesor de dicha capa será la especificada en los planos. El tamaño de granos de los áridos, no será superior a 76 m, cedazo 80 UNE, y al cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE no rebasará el 5%. Si no pudiera encontrar un material que cumpla estos requisitos podrá recurrirse a un drenaje formado por varias capas. Una vez abierta la zanja de drenaje, si el fondo fuese impermeable (arcilla, etc.), la capa superior a los cables o tubos también será impermeable. En caso de que el lecho fuese de material permeable, el relleno será en su totalidad de material permeable.

### 3.2.3. VACIADO DE TIERRAS

El Contratista ejecutará las excavaciones según el trazado y profundidad que se determina en los planos. Los productos de los desmontes y los sobrantes del relleno de zanjas, se verterán en los lugares que a tal fin designe el Director de Obra. El vaciado se hará por franjas horizontales de altura no mayor de 1.5 m al ejecutarse a mano o de 3 m al ejecutarse a máquina, trabajando ésta en dirección no perpendicular a los bordes con elemento estructurales y barras o medianerías, dejando sin excavar una zona de protección de ancho no menor de 1 m. que se quitará a mano antes de descender la máquina en ese borde a la franja interior.

Antes de empezar el vaciado, la Dirección aprobará el replanteo realizado, así como los accesos propuestos que serán clausurables y separados para peatones y vehículo de carga.

Las camillas del replanteo serán dobles en los extremos de las alineaciones y estarán separadas del borde del vaciado a no menos de 1 m.

Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que no puedan ser afectados por el vaciado a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y/o verticales de los puntos del terreno y/o edificaciones próximas. Las lecturas diarias de los desplazamientos referidos a estos puntos, se anotarán en un estadillo para su control por la Dirección.

Cuando al excavar se encuentre cualquier anomalía no prevista, con variación de los estratos y/o de sus características, cursos de aguas subterráneas, restos de construcciones, valores arqueológicos, se parará la obra al menos en ese tajo, y se comunicará a la Dirección.

El solar estará rodeado de una valla, verja o muro de altura no menor de 2m.

No se acumulará terreno de excavación, ni otros materiales, junto al borde del vaciado, debiendo estar separado de éste una distancia no menor de 2 veces la profundidad del vaciado en ese borde, salvo autorización en cada caso de la Dirección de Obra.

El refino y saneo de las paredes del vaciado se realizará para cada profundidad parcial no mayor de 3 m.

Siempre que por circunstancias imprevistas se presente un problema de urgencia, el Contratista tomará provisionalmente las medidas oportunas, a juicio del mismo, y se lo comunicará lo antes posible a la Dirección.

Una vez alcanzada la cota inferior del vaciado, se hará una revisión general de las edificaciones medianeras para observar las lesiones que haya sufrido, tomándose las medidas oportunas.

En tanto se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondo del vaciado, se conservarán las contenciones, apuntalamientos y apeos realizados. En el fondo del vaciado se mantendrá el desagüe necesario para impedir la acumulación de agua.

Serán condiciones de no - aceptación:

- En dimensiones, errores superiores al 2,50% y variaciones de  $\pm 10$  cm.
- En altura, mayor de 1,65m con medios manuales o mayor de 3,30m con medios mecánicos.
- En zona de protección, inferior de 1m.

La unidad de medición será el metro cúbico de volumen excavado medido sobre perfiles.

#### 3.2.4. ENTIBACIONES

El Contratista deberá efectuar todas las entibaciones necesarias para garantizar la seguridad de las operaciones y buena ejecución de los trabajos.

Las zanjas y pozos se podrán realizar sin entibar hasta una profundidad máxima de 1,30m, siempre que no le afecten empujes de viales o cimentaciones próximas, en cuyo caso habría que ir a entibaciones ligeras.

En profundidades de 1,30m a 2m habría que ir a entibaciones ligeras o cuajadas en el caso de viales o cimentaciones próximas.

Para profundidades mayores se realizarán entibaciones cuajadas en todos los casos.

Se estará en todo momento a lo dispuesto en la Norma NTE-ADZ sobre zanjas y pozos en tanto en cuanto a la disposición de la entibación como a la madera a emplear.

Será de obligación para el Contratista la diaria revisión de lo entibado antes de comenzar la jornada de trabajo.

#### 3.2.5. RELLENOS

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

Podrán emplearse para rellenos todos los productos de dentro y fuera de la obra, siempre que reúnan las condiciones indispensables para una buena consolidación, compactación y asiento uniforme.

### 3.3. CIMENTACIONES

### 3.3.1. HORMIGONES

Para su ejecución se tendrán en cuenta las prescripciones de la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de obras de Hormigón en Masa y Armado EH-92.

A los distintos hormigones que se empleen o puedan emplearse se les exigirá como mínimo las resistencias características a compresión a los veintiocho (28) días, en probetas cilíndricas de quince (15) centímetros de diámetro y treinta (30) centímetros de altura, que se determinan en los planos.

Si los hormigones no cumplieran como mínimo con los valores de resistencia, se adoptará por el Director de Obra la decisión que proceda conforme al artículo 69.4 de la citada Instrucción.

Las relaciones máximas de agua y cemento a emplear, salvo autorización expresa y por escrito del Técnico Encargado, serán del sesenta por ciento (60%).

Los asentos máximos de los hormigones después de depositado el hormigón, pero antes de consolidado, serán en alzados o cimientos, en masa de cuarenta (40) milímetros y en hormigones armados de sesenta (60) milímetros.

El hormigón armado de la solera así como el de las demás partes de la obra, se verificará de la forma más continua posible, y cuando haya que interrumpir el trabajo, se procurará dejar la superficie sin terminar, lo más resguardada posible de los agentes exteriores, cubriéndola con sacos húmedos. Al reanudar el trabajo, si no se presentase síntomas de iniciación de fraguado, se cubrirá la superficie con una delgada capa de mortero rico (volúmenes iguales de cemento y arena fina), inmediatamente se procederá al hormigonado, apisonado con especial esmero por pequeñas proporciones. Si se hubiera iniciado el fraguado de la superficie del hormigón, se empezará por picarlo frotando con cepillos de alambre, se humedecerá en abundancia y se cubrirá con el mortero rico procedente. Se atenderá en todo a lo dispuesto en la vigente instrucción EH-91.

Podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado del hormigón

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

en obra, todas las aguas sancionadas como aceptables en la práctica. Cuando no se posea antecedentes de su utilización o así determine el Director de Obra, deberán analizarse las aguas, rechazándose las que no cumplan una o varias de las condiciones dadas en la EH-91.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar las características exigidas al hormigón.

La utilización de aditivos deberá ser aprobada previamente por la Dirección. Para ello será necesario que las características de los mismos, especialmente su comportamiento al emplearlo en las cantidades previstas, vengán garantizadas por el fabricante, y se realicen ensayos previos en todos y cada uno de los casos.

Los hormigones serán objeto de ensayos de control en el ámbito reducido según la EH-91 y cuya frecuencia será fijada por la Dirección Técnica. Si los ensayos de probetas efectuados en laboratorio oficial aconsejan el reajuste de la dosificación, el Contratista está obligado a aceptar tal modificación, alterando los precios del hormigón sólo en lo que a partidas de cemento y áridos se refiere; que se obtendrían multiplicando los pesos o volúmenes definitivos por los costes que para dichos materiales figuran en los precios descompuestos.

## MEDICIÓN Y VALORACIÓN DEL HORMIGÓN

- Hormigón en masa:

Se abonará por m<sup>3</sup> al precio asignado en el Presupuesto que comprende todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, así como de medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrado, mastrado y cuantos elementos y labores se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente Pliego.

Sólo se abonará el hormigón realmente colocado para lo cual se medirá la rentabilidad de cada amasado y el volumen así deducido se multiplicará por el número de masa; cada masa se controlará con los medios adecuados para asegurar que su composición es constante.

El hormigón no se enlucirá y si esto fuese preciso por su defectuosa ejecución, el Director de la Obra podrá demoler la parte defectuosa u ordenar su enlucimiento y pintura a costa del Contratista.

- Hormigón armado:

Se abonará por m<sup>3</sup> asignado en el Presupuesto, considerándose, incluso en el precio todos los materiales necesarios para la formación de la fábrica, armaduras, doblado y cortado de las mismas, montaje, así como los medios auxiliares para su ejecución y puesta en obra, encofrados maestrados y cuantos elementos y laboras se precisen para el acabado del hormigón según las condiciones reseñadas en el presente Pliego.

Sólo se abonará el hormigón colocado terminándose su cuantía de la misma forma que en el apartado anterior.

### 3.3.2. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

Las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón especifican a continuación.

Tales condiciones deberán ser satisfechas por todas las unidades de producto componentes del total, entendiéndose por unidad de producto la cantidad de hormigón fabricado de una sola vez.

- Dosificación del hormigón.

La dosificación de los áridos se hará con arreglo a lo dispuesto en la Instrucción EH-91, empleando para ello las mezclas de áridos que sea necesario y siguiendo lo ordenado por la Dirección de la Obra.

En el caso de que se emplearan productos de adición, el Contratista está obligado instalar los dispositivos de dosificación correspondientes.

Tanto estos agentes como los aceleradores de fraguado solamente podrán ser empleados con autorización escrita de la Dirección. Su uso no revela al Contratista de la obligación de cumplir los requisitos sobre el curado de hormigón.

- Consistencia del hormigón.

Se medirán por medio del Cono de Abrams en la forma prescrita por la EH-91 y se clasificará en seca, plástica, blanda y fluida. La consistencia del hormigón a emplear en cimentación será plástica blanda (asiento máximo 9 cm en cono de Abrams) para vibrar y se medirá en el momento de su puesta en obra.

- Resistencia del hormigón.

Las resistencias que deben tener las diferentes clases de hormigones, en probeta cilíndrica, a los 28 días de su fabricación será las que se fijen en los planos del Proyecto.

Los criterios a seguir en la toma de muestras en cuanto a la determinación del número de probetas a tomar por elemento o módulo serán los que establece la EH-91.

- Aditivos.

Se prohibirá la utilización de cualquier aditivo (acelerantes o retardantes), pudiéndose emplear únicamente algún tipo de impermeabilizante y siempre con la autorización expresa de la Dirección Técnica.

- Puesta en hora del hormigón.

Además de las prescripciones de la instrucción EH-91 se tendrá en cuenta lo siguiente. Podrá realizarse amasado a pie de obra o de central.

En caso de la fabricación a pie de obra, el tiempo de amasado será del orden de 1 minuto y 1/2, y como mínimo un minuto más tantas veces 15 segundos como fracciones de 400 litros en exceso sobre 750 litros tenga la capacidad de la hormigonera. Se prohibirá totalmente mezclar masas frescas de diferentes dosificaciones. Si durante el amasado surgiera un endurecimiento prematuro (falso fraguado) de la masa, no se añadirá agua, debiendo prolongarse el tiempo de amasado.

Si el hormigón es de central amasadora, y transportado por medio de camiones hasta el lugar del vertido se deberán cumplir los siguientes condicionantes:

- El tiempo transcurrido desde el amasado hasta la puesta en obra no deberá ser mayor de 1 hora.
- Debe evitarse que el hormigón se seque o pierda agua durante el transporte.
- Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa principio de fraguado, la masa se desechará en su totalidad.
- La planta suministradora estará regulada en la fabricación del hormigón por la Norma EH-PRE-91 y homologada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Preparado.

El transporte de las hormigoneras al punto de colocación al punto de colocación se realizará de forma que el hormigón no pierda compacidad ni homogeneidad.

El vertido del hormigón se efectuará de manera que no se produzcan disgregaciones y a una altura máxima de caída libre de 1 m, evitando desplazamientos verticales de la masa una vez vertida. Preferiblemente el hormigón debe ir dirigido mediante canaletas.

El hormigón en masa y moldeado, se extenderá por capas de espesor comprendido entre 15 y 30 cm, vibrando el moldeado hasta hacer que refluya el agua a la superficie e intensificando el vibrado junto a los paramentos y rincones del encofrado.

Hormigón armado, el de los pilares, se verterá en capas de 40 cm de espesor máximo vibrándole eficazmente y cuidando de que el hormigón envuelva perfectamente la armadura, vigilando especialmente los paramentos y las esquinas.

Las losas se hormigonarán en todo el grueso, avanzando con el hormigón al vibrarlo, pero efectuando los vertidos de forma que el recorrido sobre el encofrado no sea superior a 2 cm.

Las vigas se hormigonarán, desde un extremo, en toda su dimensión, vertiendo las diferentes amasadas en los puntos convenientes.

- Juntas de hormigonado.

Son las producidas al interrumpir la labor del hormigonado, en las que se precisa conseguir la adherencia de un hormigón fresco en otro endurecido. La situación de estas juntas se fijará por la Dirección de Obra, debiendo quedar la superficie del hormigón anterior cubierto con sacos húmedos para protegerlo de los agentes exteriores.

Para conseguir la adherencia del que se vierte posteriormente, se limpiará convenientemente la superficie del hormigón, rascando la lechada superficial hasta que a juicio de la Dirección quede lo suficientemente limpia.

Se verterá a continuación una capa de mortero, de 2 cm de espesor, de dosificación ligeramente superior a la del hormigón empleado, sobre la superficie humedecida.

Los muros o pilares se hormigonarán de una sola vez, siempre que sea posible, hasta el plano de apoyo de los forjados. Cuando ello no sea posible, se permitirá una sola junta horizontal hacia la mitad de la altura.

- Temperatura del hormigonado.

El hormigonado se realizará a temperaturas comprendidas entre los 0° C y los 40° C (5° C y 35° C en elementos de gran canto o de superficie muy extensa). Si fuese necesario realizar el hormigonado fuera de estos márgenes se utilizarán

las precauciones que dictaminará la Dirección Técnica.

- Curado del hormigón.

El curado del hormigón se realizará una vez endurecido el elemento lo suficiente para no producir deslavado de su superficie. Se realizará de la siguiente forma:

- Durante los tres primeros días se protegerá de los rayos del sol, colocando sobre las superficies arpilleras mojas.
- Todas las superficies vistas se mantendrán continuamente húmedas por lo menos durante 8 días después del hormigonado, por riego o inundación.
- No se empleará para este riego tubería alguna de hierro que no sea galvanizado, extendiéndose esta prohibición a cualquier clase de tuberías que puedan disolver en el agua sustancias nocivas para el fraguado del hormigón o su buen aspecto. Deberá utilizarse preferentemente, para este trabajo, manguera de goma.
- La temperatura del agua empleada en el riego no será inferior en más de 20°C a la del hormigón para evitar la producción de grietas por enfriamiento brusco.
- Cuando la temperatura registrada sea menor de cuatro grados bajo cero (-4°C) o superior a cuarenta grados centígrados (40°C), con hormigón fresco se procederá a realizar una investigación para ver que las propiedades del hormigón no han sufrido cambio alguno.

En función de la climatología se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Actuaciones en tiempo frío: prevenir congelación.
- Actuaciones en tiempo caluroso: prevenir agrietamientos en la masa del hormigón.
- Actuaciones en tiempo lluvioso: prevenir lavado del hormigón.

- Paramentos de hormigón.

Los paramentos deben quedar lisos, sin defecto alguno y sin necesidad de repasos, por enlucidos o de cualquier otra forma, que no podrán ser aplicadas sin previa autorización de la Dirección de Obra.

Si fuese necesario repasar alguna superficie, los trabajos que se efectúen será por cuenta del Contratista y la hora será abonada como defectuosa, repercutiendo en el precio de encofrado y del hormigón en la cuantía que más adelante se señala.

- Encofrado y cimbras.

Los encofrados serán los suficientemente resistentes y estancos para soportar la carga y el empuje del hormigón fresco sin acusar deformación alguna.

Los de madera estarán formados por una tablazón sobre la que se colocarán en sus trasdós contrafuertes a una distancia no mayor de 2 m, y éstos sujetos con tornapuntas metálicos o de madera con la suficiente rigidez para asegurar la estabilidad del molde durante el hormigonado (sección mínima del rollizo de 8cm).

En caso de encofrados metálicos, irán perfectamente ensamblados y también sujetos con tornapuntas. La desviación máxima de los paramentos del encofrado con respecto a la vertical no sobrepasará 1 cm por cada tres metros de altura y la máxima irregularidad de la superficie no sobrepasará los 2 cm, se evitará golpear los encofrados una vez vertido el hormigón.

Se admitirán como tolerancia en la colocación del encofrado un máximo de 2 cm en aplomes y alineaciones y el 2% en menos y el 5% en más espesores y escuadras.

Los encofrados en acuerdos de secciones reproducirán lo más claramente posible la forma indicada por los planos yendo provistos del número necesario de muestra para ello y teniendo la tabla cortada de modo que las diferencias en dimensiones cortadas según las normales a la superficie no excedan de 1 mm.

- Desencofrado y descimbrado.

Los encofrados de elementos sometidos a cargas se quitarán lo antes posible, previa consulta al Director de Obra, pero nunca antes de 24 h, evitando el descascarillado de superficie que se provoca al desencofrar un hormigón fresco.

El plazo de descimbrado de los elementos se fijará por la Dirección de la Obra y se efectuará empleado juegos de cuñas, caja de arena u otros procedimientos adecuados para ello.

### 3.3.3. CIMENTACIONES

Las características de los componentes y ejecución de los hormigones será la siguiente.

La arena y la grava podrán ser de ríos, arroyos y canteras, no debiendo contener impurezas de carbón, escorias, yeso, etc.

Los áridos deben de proceder de rocas inertes sin actividad sobre el cemento. Se admitirá una cantidad de arcilla inferior a la que se indica posteriormente.

Las dimensiones de la grava será 2 a 6 cm, no admitiéndose piedras ni bloques de mayor tamaño. En caso de hormigones armados se indicarán las dimensiones de la grava.

No se podrán utilizar ninguna clase de arena que no haya sido examinada y aprobada por el personal técnico. Se dará preferencia a la arena cuarzosa sobre la de origen calizo, siendo preferibles las arenas de superficie áspera o angulosa.

La determinación de la cantidad de arcilla se realizará de la siguiente forma: cribamos 100 cm<sup>3</sup> de arena con el tamiz de 5mm, los cuales se vierten en una probeta de 300 cm<sup>3</sup> con 150 cm<sup>3</sup> de agua, una vez hecho esto se agita fuertemente tapando la boca con la mano, hecho esto se dejará sedimentar durante una hora. En estas condiciones el volumen de arcilla deberá de ser superior al 8%.

La medida de las materias orgánicas se hará mezclando 100 cm<sup>3</sup> de arena con una solución de sosa al 3% hasta completar los 150 cm<sup>3</sup>; después de 2 horas el líquido debe de quedar sin coloración o presentar como máximo un color amarillo pálido que se compara al de la solución testigo, formada por la mezcla de 97,5% de solución de sosa al 3%, 2,5% de solución de ácido tánico, 2% de alcohol de 10%.

Los ensayos de las arenas se harán sobre mortero de la siguiente dosificación: 1 parte de cemento y 3 partes de arena. Esta probeta de mortero conservada en agua durante 7 días, deberá de resistir a la tracción en la romana de Michaelis un esfuerzo comprendido entre 12 y 14Kg/cm<sup>2</sup>. Toda la arena que sin contener materias orgánicas no resista al esfuerzo de tracción antes indicado será rechazada. El resultado de este ensayo permitirá conocer si debe de aumentarse o disminuirse la dosificación del cemento empleado.

Respecto a la grava o piedra se prohíbe el empleo de cascote y otros elementos blandos o la piedra de estructura foliácea. Se recomienda la utilización de piedra de peso específico elevado.

El cemento utilizado será cualquiera de los cementos Portland de fraguado lento admitidos en el mercado. Previa autorización de Dirección de Obra podrán utilizarse cementos especiales que se crean convenientes.

El agua utilizada de río o de manantial a condición de que su mineralización no sea excesiva. Se prohíbe el empleo de aguas procedentes de ciénagas o muy ricas en sales carbonosas o selenitosas.

La mezcla de hormigón se efectuará en hormigonera o a mano, siendo preferible el primer método en beneficio de la compacidad ulterior. En el segundo caso se hará sobre chapa de hierro de suficientes dimensiones para evitar que se mezcle con las tierras.

Además:

- Se comprobará que el terreno de cimentación coincide con el previsto.
- En el momento de hormigonar se procederá a la operación de limpieza y nivelación, retirando la última capa de tierras sueltas.
- Se dejarán previstos los pasos de tuberías y mecinales. Se tendrá en cuenta la posición de las arquetas.
- Se colocarán previamente los elementos enterrados de la instalación de puesta a tierra.
- Se habrá ejecutado la capa de hormigón de limpieza y replanteado sobre ella.

La profundidad mínima del firme tendrá en cuenta la estabilidad del suelo frente a los agentes atmosféricos.

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de óxido no adherente, pintura, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial.

Los calzos, apoyos provisionales y separadores en los encofrados serán de mortero 1:3 o material plástico y se colocarán sobre la superficie de hormigón de limpieza, distanciados cien centímetros (100 cm) como máximo. El primero y el último se colocarán a una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50cm) del extremo de la barra.

Se extremarán las precauciones y correcta disposición de los separadores de capas, principalmente las superiores.

Durante la ejecución se evitará la actuación de cualquier carga estática o dinámica que pueda provocar daños en los elementos ya hormigonados.

El curado se realizará manteniendo húmeda la superficie de la cimentación mediante riego directo, que no produzca deslavado o a través de un material que sea capaz de retener la humedad.

#### 3.3.4. OBRA DE MADERA

Las dimensiones de las piezas necesarias para la construcción de obras provistas o auxiliares, así como su disposición o fijación técnica de las obras de carpintería, serán ejecutadas con la mayor perfección, presentando los embalajes bien ajustados y las molduras terminadas, debiendo quedar repasadas con papel de lija o llevadas al lugar de empleo sin imprimir.

#### 3.3.5. ARMADURAS

La cuantía y disposición de las armaduras de los diferentes elementos de la cimentación será la que nos dé el cálculo, y que viene reflejada en la Documentación Técnica.

Las armaduras se doblarán en frío y a velocidad moderada, por medios mecánicos, no admitiéndose aceros endurecidos por deformación en frío o sometidos a tratamientos térmicos especiales.

Las características geométricas y mecánicas de las armaduras serán las que se citan en el anexo correspondiente de la Memoria Técnica. En las zapatas se preverán unas armaduras de espera que se solaparán con las del pilar o enano en su caso, por medio del solape de barras, debiendo llevar unas patillas inferiores de longitud igual a 15 veces el diámetro de las barras de dicha patilla.

Protección de las armaduras:

- Las armaduras de las zapatas se colocarán sobre el hormigón de limpieza y separándose 10 cm de los laterales del pozo de cimentación.
- El recubrimiento de armaduras en zunchos de arriostramiento deberá ser de 35 mm, para ello se dispondrán separadores o calzos de igual o mayor resistencia característica que el hormigón a emplear y a una distancia máxima entre ellos de 1,5m.
- Las armaduras se colocaran limpias, exentas de óxido, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial así como también estarán exentas de defectos superficiales, grietas ni sopladuras. Se dispondrán de acuerdo con las indicaciones del Proyecto, sujetas entre sí y al encofrado de manera que puedan experimentar movimientos durante el vertido y compactación del hormigón, y permitan a éste envolverlas sin dejar coqueas.
- Cuando exista el peligro de que se puedan confundir unas barras con otras, se prohíbe el empleo simultáneo de aceros de características mecánicas diferentes, sin embargo se podrán utilizar, en un mismo elemento dos tipos de acero, uno para la armadura principal y otro para los estribos.
- Las armaduras se doblarán ajustándose a los planos del Proyecto, cumpliéndose las prescripciones de la EH-91.

### 3.4. ESTRUCTURAS DE ACERO

#### 3.4.1. ESTRUCTURA DE ACERO

El Contratista podrá subcontratar con la aprobación del Director de obras, la ejecución y montaje en obra de la estructura metálica de la nave con construcción que reúne los requisitos que establezca la legislación y las condiciones establecidas por el Ministerio de Industria.

En la ejecución de la estructura de acero laminado de la nave, se aplicará lo establecido en la norma NBE EA-95 "estructuras de acero en edificación" referente a la ejecución de uniones soldadas, ejecución en taller y montaje en obra.

El soldeo se realizará por cualquier de los procedimientos expresados en dicha norma, debiendo presentar el Constructor, si el Director de Obra lo requiere, una memoria de soldeo en la que detalle las técnicas operativas a utilizar dentro del procedimientos elegido.

El Director Obras podrá siempre que lo desee, directamente o por delegación, comprobar en el taller el cumplimiento de la mencionada norma, y durante el montaje en obra a vigilar su cumplimiento.

Las tolerancias en las dimensiones, forma y peso para la ejecución y montaje de la estructura, serán las establecidas en el capítulo VI de la NBE EA-95.

- Estructuras metálicas:

El acero para estructuras metálicas se abonará al precio que para el Kg de acero de las distintas clases de perfiles se asigna en el Presupuesto, considerándose incluso en dicho precio los costes de la adquisición, trabajos de taller, montaje, colocación en obra y pintura de resina o polimerizado, excepto las partes embebidas en hormigón que irán sin pintar.

El peso se deducirá siempre que sea posible de los pesos unitarios dados en el catálogo de perfiles y de las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su

ejecución y debidamente comprobado en las obras realizadas ya.

En otro caso se determinará el peso efectivo, debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de su colocación definitiva en obra, de las piezas y estructuras metálicas.

También comprende el precio, la soldadura a realizar durante el montaje.

- Acero en redondo:

El acero para armaduras y arriostramientos de las cabezas de los pilares o hincos se abonará al precio asignado en el Presupuesto, considerándose incluso en el mismo los costes de adquisición, trabajo de taller, montaje, colocación en obra, pruebas y pinturas de resinas o polimerización, excepto en los casos de armaduras embebidas en el hormigón que irán sin pintar, el peso se deducirá siempre que sean las dimensiones correspondientes medidas en los Planos del Proyecto o en los facilitados por el Director de las Obras durante su ejecución y debidamente comprobado en la obras realizadas ya. En otro caso se determinará el peso efectivo debiendo dar el Contratista su conformidad con las cifras obtenidas antes de la colocación definitiva en obra.

También comprende el precio, las soldaduras de las barras a las cabezas de los perfiles para conseguir un perfecto arriostramiento.

### 3.4.2. PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura estará protegida por dos capas de pintura. Cada capa deberá asegurarse una protección no menor que la proporcionada por tres capas de pintura tradicional que contenga 30% de aceites de linaza cocido.

Antes del pintado se presentará al Director Obra muestras de pintura y se pintarán para juzgar el color y acabado, quien dará su aprobación.

Referente a la protección de la estructura, se seguirá todo lo especificado en la NBE EA-95.

### 3.4.3. CARPINTERÍA METÁLICA.

Las obras de carpintería metálica deberán realizarse con perfección y acabado.

- Medición y valoración de las obras metálicas.

Los hierros y demás materiales metálicos se abonarán por su peso a los precios que figuran en el Presupuesto, en los cuales van incluidos todas las manipulaciones y operaciones necesarias para dejar la obra terminada.

### 3.5. ALBAÑILERÍA

#### 3.5.1.FÁBRICA DE LADRILLOS

Antes de su colocación en obra, los ladrillos deberán ser saturados de humedad, aunque bien escurridos del exceso de agua, con objeto de evitar el deslavamiento de los morteros. Deberá demolerse toda la fábrica en que el ladrillo no hubiese sido regado o lo hubiese sido deficientemente, a juicio del Técnico encargado.

El asiento del ladrillo se efectuará por hiladas horizontales, no debiendo corresponder en un mismo plano vertical las juntas de dos hiladas consecutivas. Los ladrillos se colocarán según el aparejo que determine el Director de Obra, siempre a restregón y sin moverlos después de efectuada la operación.

Los tendeles no deberán exceder, en ningún punto de 15 mm y las juntas no serán superiores a 9mm en parte alguna. Para colocar los ladrillos, una vez limpias y humedecidas las superficies sobre las que han de descansar, se echará el mortero en cantidad suficiente para que comprimiendo fuertemente sobre el ladrillo y apretando además contra los inmediatos, queden los espesores de junta señalados y el mortero refluya por todas partes.

Las juntas en los parámetros que hayan de enlucirse o revocarse, quedarán sin rellenar a tope para facilitar la adherencia del revoco o enlucido que completará el relleno y producirá la impermeabilidad de la fábrica de ladrillo.

Al reanudarse el trabajo se regará abundantemente la fábrica antigua, se barrerá y se sustituirá, empleando mortero nuevo, todo ladrillo deteriorado.

#### 3.5.2. EJECUCIÓN DEL MURO DE CERRAMIENTO

El plano de arranque del muro de cerramiento de la nave sobre la cimentación, se preparará de modo que guarde planeidad y horizontalidad. Deberá ir anclado en sus cuatro lados a elementos estructurales horizontales y verticales, de tal

manera que puede asegurado su estabilidad y la transmisión de los esfuerzos horizontales a que esté sometido.

Se comenzará su ejecución por las esquinas colocando en ellas, miras restas escantilladas con marcas de las alturas de las hiladas. Entre ellas se colocarán cuerdas de atirantar, bien tensas y en longitudes libres no superiores a 8 m. que servirán de guía para la alineación de paramentos y se irán elevando con la altura de una o varias hiladas para asegurar su horizontalidad.

La tolerancia máxima de desviación de los tendeles será de 0.5 cm/m y la falta de verticalidad no será superior a 3 mm/m. Durante la ejecución se prestará especial cuidado al pañeado y planeidad de los paramentos, comprobándose mediante renglones de 2 m de longitud, colocados de canto en distintas posiciones no tolerándose flechas superiores a 0.5 cm.

Cuando por cualquier motivo hayan de suspenderse los trabajos de construcción de la fábrica, se dejará el cerramiento con las diferentes hiladas formando entrantes y salientes, a manera de redientes para que al continuar la fábrica se pueda conseguir una perfecta trabazón entre la nueva y la antigua. En tiempo lluvioso o heladas se suspenderá la ejecución de la fábrica, debiendo proteger las partes de reciente ejecución.

En tiempo extremadamente seco y caluroso deberá mantenerse húmeda la fábrica de reciente ejecución, y una vez fraguado el mortero y durante 7 días, se regará abundantemente para que el proceso de endurecimiento no sufra alteración.

El rehuntado se realizará antes de que termine el proceso de endurecimiento del mortero, presionando con el llaguero lo suficiente para que el mortero se adhiera a las piezas de ambos lados de la junta.

El agarre del cerramiento a los pilares se realizará mediante dos  $\varnothing 8$ mm, situados a lo largo del tendel embebidos en la junta y soldados a los pilares metálicos. Se situarán estos agarres cada 6 hiladas de bloques.

Se terminará la ejecución del muro con el repaso de las llagas,

efectuándose a continuación la limpieza general de todo el paramento.

El mortero de agarre será M-40b, dosificación 1:6, resistencia 40 kg/cm<sup>2</sup> y consistencia en cono de Abrams 17 cm. Se extenderá sobre la superficie de asiento de los bloques una tongada de mortero en cantidad suficiente para formar juntas de 1 cm de espesor y que la llaga y el tendel rebosen.

Los encuentros de esquinas o con otros muros se hará mediante enjarjes en todo su espesor y en todas las hiladas. El cerramiento quedará plano y aplomado y tendrá una composición uniforme en toda su altura.

Se formará una barrera antihumedad en el arranque sobre cimentación, con lámina bituminosa que cumplirá las condiciones de la norma MV-301, de superficie no protegida con armaduras inorgánicas. La superficie en que vaya a colocarse la lámina será continua en toda la superficie de zócalo. Los solapes de la lámina no serán menores de 7 cm. La lámina estará colocada al menos una hilada de bloque, por encima del terreno y a una altura sobre el terreno no inferior a 30 cm.

Los muros de cerramiento irán protegidos exteriormente con un material que asegura su impermeabilidad, a no ser que el fabricante garantice mediante ensayos la impermeabilidad del bloque.

La unidad de medición del cerramiento para cada tipo, descontando huecos, será el m<sup>2</sup>, para la barrera antihumedad será el m tanto en planos como en obra.

- Medición y valoración de las obras de fábrica.

Se abonarán por metro cúbico medido en la obra ejecutada y completamente terminada, con arreglo a condiciones según el precio asignado en el Presupuesto, que incluye el refino de los paramentos y rejuntados, así, como los materiales y medios auxiliares necesarios.

### 3.5.3. EJECUCIÓN DE TABICADOS

Los ladrillos serán cerámicos, exentos de caliches con resistencia no inferior a 30 kg/cm<sup>2</sup> con huecos de eje paralelo a la mayor dimensión del ladrillo y con un volumen superior al 33% del total aparente.

Las condiciones dimensionales y de forma cumplirán lo establecido en la norma MV-201.

El acero o premarco se colocará en su posición perfectamente aplomado, alineado, y escuadrado, manteniendo los elementos necesarios para garantizar su indeformabilidad. Los elementos de indeformabilidad próximos al suelo se protegerán de los del paso sobre ellos.

El cerco llevará los elementos necesarios para su enlace al tabique. Cuando el cerco no tenga asegurado la indeformabilidad de sus ángulos se colocará con la ayuda de una plantilla. El ladrillo antes de colocarlo se humedecerá por riego sin llegar a empapararlo. Una vez replanteado el tabique con la primera hilada, se colocarán aplomadas y arriostras miras distancias 4 m como máximo, y los premarcos o cercos previstos. Sobre la hilada de replanteo se levantarán hiladas alineadas horizontalmente, procurando que el nivel superior del premarco cerco coincida con la junta horizontal.

Se retirarán las rebabas a medida que se suba el tabique procurando apretar las juntas. La unión se harán con enjarjes en todo su espesor, dejando dos hileras sin enjarjar. El encuentro de tabiques con elementos estructurales se harán de forma que no sean solidarios. El tabique quedará plano y aplomado, tendrá una composición uniforme en toda su altura y no presentará ladrillos rotos.

El panderete se ejecutará con ladrillo hueco sencillo tomado con pasta viva de yeso negro definido como Y-12. Se untará el ladrillo en canto y testa con cantidad suficiente para formar juntas de 1cm de espesor.

La roza tendrá una profundidad no mayor de 4cm sobre el bloque y de un canuto sobre ladrillo hueco. El ancho no será superior a dos veces su profundidad. Se ejecutará preferentemente a máquina y una vez guarnecido el tabique.

Serán condiciones de no-aceptación: desplomes en cerco superior a 1cm y descuadres en algunos de los ángulos de cerco, fijación deficiente de cerco al tabique, errores de replanteo superiores a  $\pm 2$ cm, no acumulativos; variaciones en planeidad de paramento medida con regla de 2m, superiores a 2cm; desplome del tabique superior a 1 cm en 3m; enjarje en unión inferior a lo especificado; profundidad de roza a un canuto sobre ladrillo hueco, distancia de roza a cerco inferior a 15cm, distancia entre rozas en dos caras del tabique inferior a 40cm.

La unidad de medición, tanto en planos como en obra será el m<sup>2</sup> de tabique.

#### 3.5.4. ENFOSCADOS, ENLUCIDOS Y GUARNECIDOS

Los paramentos que hayan de enfoscarse, se dejarán a juntas degolladas barriéndose y regándose antes de tendido de las capas de mortero.

Se prohíbe terminantemente bruñir los paramentos enfoscados con paleta. Si las condiciones de humedad y temperatura lo requiere, se humedecerán diariamente los enfoscados, pero siempre siguiendo el criterio del Director de Obra.

Los enlucidos de yeso tanto en paramentos horizontales como verticales se realizarán con yeso de buena calidad. Cuando el revestimiento de yeso deba tener un espesor superior a 15mm, se realizará por capas sucesivas que no superen este espesor. Será necesario en este caso que la capa anterior a la que se va realizar, tenga consistencia suficiente para no desprenderse al aplicar ésta última y presente una superficie rayada.

El yeso se ajustará a las condiciones fijadas en el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción.

- Medición y valoración de la tabiquería, enfoscados, guarnecidos y blanqueos.

La medición de cı́taras y tabiques, tanto sencillos como dobles se hará

por m<sup>2</sup>, descontándose de la medición los huecos existentes.

Los enfoscados guarnecidos y blanqueos se valorarán también por m<sup>2</sup> y de ellos se descontarán los huecos que no tengan mochetas, o sea, los que tengan los marcos enrasados y no se descontarán aquellos que tengan mochetas.

### 3.5.5. SOLADOS

Sobre la superficie a solar se extenderá una capa de 2cm de espesor de arena de río con tamaño máximo de grano 0.5cm y una capa de mortero de cemento P-350 y arena de río de dosificación 1:6 de 2cm de espesor. La baldosa de terrazo se humedecerá antes de su colocación y se asentará sobre la capa de mortero, cuidando que se forme una superficie continua de asiento y recibido de solado. Para relleno de las juntas se extenderá sobre las baldosas una lechada de cemento.

El pulido de solado se hará con máquina de disco horizontal, no pisándose durante los cuatros días siguientes.

Serán condiciones de no-aceptación: ausencia de la capa de arena, espesores de capa inferiores a los especificados, variaciones planeidad en todas direcciones medidas con regla de 2m, superiores a 4mm, ausencia de malla en los lugares especificados, distancias entre\_juntas superiores 130 cm, colocación deficiente de baldosas, ausencia de lechada en juntas, cejas superiores a 2mm.

### 3.5.6. EJECUCIÓN DE ALICATADOS

El azulejo estará seco y con la cara posterior limpia. Se alicatará sobre una superficie maestrada plana y lisa, de cemento, yeso o escayola y con una humedad no mayor del 3%.

Serán condiciones de no-aceptación: taladros de dimensiones superiores a las especificadas, juntas no paralelas entre sí con tolerancias de  $\pm 1$ mm por m,

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

variación en planeidad en todas direcciones medida con regla de 2m superior a 2 mm, variación en espesor de mortero superior a r 1cm, el mortero no cubre totalmente la cara posterior del agujero, aplicación de adhesivo distinta a la especificada, humedad del paramento superior al 3%.

La unidad de medición, tanto en planos como en obra será el m<sup>2</sup>.

- Medición y valoración de los alicatados.

Los alicatados se medirán por m<sup>2</sup> en su verdadera magnitud cuando ésta esté totalmente terminada y de acuerdo con lo dicho en este Proyecto.

Dichas mediciones se realizarán descontando todos los posibles huecos que puedan haber.

### 3.6. PINTURA

#### 3.6.1. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE PINTURA

Para pintura a la cal sobre ladrillo a cemento se procederán a una limpieza general de soporte mediante cepillos o elementos adecuados. Se aplicarán a continuación una mano de fondo con pintura a la cal diluida, aplicada con brocha de encalar, rodillos o procedimientos neumáticos, hasta la impregnación de los poros de la superficie de soporte. Pasado el tiempo de secado se procederá a la aplicación de dos manos de acabado.

En pinturas sobre madera se realizará una limpieza general de la superficie del soporte. Se hará un sellado de los nudos mediante goma laca dada a pincel, asegurándose de que haya penetrado en las oquedades de los mismos. A continuación se dará la mano de imprimación para madera a brocha o pistola, impregnando la superficie del soporte.

Para pintar el esmalte sobre hierro o acero se realizará un raspado de óxidos mediante cepillo metálico seguido de una limpieza manual esmerada de la superficie.

Se aplicará una mano de imprimación anticorrosiva al aceite, grasa o sintética, dada a brocha o pistola, con rendimiento no menor de especificado por el fabricante. Se aplicará dos manos de acabado o brocha o rodillo de esmalte graso.

Para pintar al esmalte sobre galvanizado o metales no férricos se realizará una limpieza general de la superficie seguida de un desengrasado a fondo con productos adecuados. A continuación se aplicará una mano de imprimación a brocha o pistola con rendimiento no menor del especificado por el fabricante. Pasado un tiempo de permanencia al aire no menor del especificado, se aplicarán dos manos de acabado de esmalte graso, a brocha o rodillo con un rendimiento y un tiempo de secado entre ambas no menores de lo especificado.

Toda la carpintería de madera se tratará superficialmente con un barnizado sintético de acabado satinado en interiores y exteriores.

Toda la superficie a barnizar reunirá las siguientes condiciones previas:

- El contenido de humedad en el momento de su aplicación estará comprendido entre el 14 y el 20% para exteriores y entre el 8 y el 14% para interiores.
- La madera no estará afectada de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas.
- Se habrán eliminado los nudos mal adheridos sustituyéndolos por cuñas de madera de iguales características.
- Los nudos sanos que presenten exudados resinosos se sangrarán mediante lamparillas rascándose la resina que aflore con rasqueta.

Previamente al barnizado se procederá a una limpieza general del soporte y un lijado fino del mismo. A continuación se dará una mano de fondo con barniz diluido y mezclado con productos fungicidas. Esta imprimación se dará a brocha o a pistola de manera que queden impregnados la totalidad de los poros.

Pasado el tiempo de secado de esta primera mano se realizará un posterior lijado aplicándose a continuación dos manos de barniz sintético a brocha, debiendo haber secado la primera antes de dar la segunda. El rendimiento será el indicado por el fabricante del barniz para los diferentes tipos de madera.

Antes de la aplicación de la pintura estarán recibidos y montados todos los elementos que deben ir en el paramento como cercos de puertas, ventanas, canalizaciones, instalaciones, bajantes; se comprobará que la temperatura ambiente no sea mayor de 28°C ni menor de 6°C, el soleamiento no incidirá directamente sobre el plano de aplicación; se comprobará que en las zonas próximas a los paramentos a revestir no haya manipulación o trabajo con elementos que desprenden polvo o dejen partículas en suspensión; la superficie de aplicación estará nivelada y lisa.

Antes de pintar superficies de yeso, cemento, albañilería o derivados, la superficie del soporte no tendrá una humedad mayor de 6%, habiéndose secado por aireación natural. Se eliminarán las eflorescencias salidas y la alcalinidad mediante un tratamiento químico a base de una disolución de agua caliente de sulfato de zinc o sales de fluorsilicato en una concentración entre 5 y 10%; las manchas superficiales producidas por moho, además de rascado o eliminación con estropajo, se desinfectarán lavando con disolventes fungicidas; las manchas originadas por humedades internas que lleven sales de hierro, se aislarán mediante una mano de clorocaucho diluido o productos adecuados.

El contenido de humedad de la madera en el momento de aplicación de la pintura será del 14% al 20% al exterior; 8-14% al interior; la madera no estará afectada de ataque de hongos o insectos, saneándose previamente con productos fungicidas o insecticidas; los nudos sanos que presenten exudado de resina se sangrarán mediante lamparilla o soplete, rascando la resina que aflore con rasqueta.

Antes de pintar superficies metálicas, se realizará una limpieza general de suciedades accidentales y óxidos y un desengrasado de la superficie.

Se suspenderá la aplicación cuando la temperatura ambiente sea inferior a 6°C o superior a 28°C a la sombra; en tiempo lluvioso se suspenderá la aplicación cuando el paramento no está protegido; al finalizar la jornada se taparán y protegerá perfectamente los envases y se limpiarán y repasarán los útiles de trabajo. Después de la aplicación se evitará en las zonas próximas a los paramentos revestidos la manipulación y trabajos con elementos que desprendan polvo o dejen partículas en suspensión. Se dejará transcurrir el tiempo de secado indicado por el fabricante, no utilizándose procedimientos artificiales de secado.

Los materiales de origen industrial deberán cumplir las condiciones funcionales y de calidad fijadas, así como las correspondientes normas y disposiciones vigentes relativas a la fabricación y control Industrial.

Cuando el material llegue a obra con certificado de origen industrial que acredite el cumplimiento de dichas disposiciones, condiciones y normas, su recepción se realizará comprobando únicamente sus características aparentes.

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

Serán condiciones de no-aceptación humedades o manchas de moho u óxido o eflorescencias salinas, falta de sellado en nudos o de mano de imprimación o plastecido de vetas y golpes, no se ha realizado el rascado de óxidos y limpieza de la superficie, falta de imprimación, falta de protección de elementos próximos, tiempo válido de mezcla especificado por el fabricante sobrepasado, falta de mano fondo, aspecto y color distinto al especificado, descolgamientos, desconchados, cuarteamiento, gotas y falta de uniformidad.

La unidad de medición será el m<sup>2</sup> de superficie pintada, descontando los elementos recibidos que superen en conjunto el 15% de la superficie pintada; el m para el pintado de elementos lineales.

- Medición y valoración de las pinturas.

Las armaduras metálicas, ventanas, y superficies con huecos, pintadas a dos caras, se cobrarán por m<sup>2</sup>, contándose vez y media la superficie de una cara, descontándose todos los huecos que puedan existir.

### 3.6.2. ITEMS QUE NECESITAN SER PINTADOS

- Todas las estructuras metálicas.
- Todos los tanques de acero, recipientes y tuberías no aisladas.
- Maquinarias y equipos pintados en taller que requieran un acabado.

### 3.6.3. ITEMS QUE NO NECESITAN SER PINTADOS

- Cimentaciones de hormigón.
- Materiales aleados o no férricos.
- Aislamientos térmicos.
- Superficies que deben ser aisladas.

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

- Partes mecanizadas de equipos.
- Mampostería.

### 3.7. INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN Y DE ALUMBRADO.

#### 3.7.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE ALUMBRADO.

- Instalaciones interiores o receptoras.

Las instalaciones interiores o receptoras son las que, alimentadas por una red de distribución o fuente de energía propia, tienen por finalidad la utilización de la energía eléctrica.

- Condiciones Generales.

En toda instalación interior o receptora que se proyecte y realice, se alcanzará el máximo equilibrio en las cargas que soportan los distintos conductores que forman parte de la misma, y ésta se subdividirá de forma que las perturbaciones originadas por las averías que puedan producirse en algún punto de ella, afecten a un número mínimo de partes de la instalación. Esta subdivisión debe permitir también la localización de las averías y facilitar el control del aislamiento de la instalación.

#### INSTALACIÓN DE CONDUCTORES

Los conductores de las instalaciones para baja tensión deben ser utilizados en la forma y para la finalidad que fueron fabricados.

#### SISTEMA DE PROTECCIÓN

Dicho sistema para las instalaciones de baja tensión impedirá los efectos de las sobreintensidades y sobretensiones que por distintas causas cabe prever en las mismas y resguardarán conductores y aparatos de las acciones de las acciones y efectos de los agentes externos. Así mismo y a efectos de seguridad general, se determinarán las condiciones que deben cumplir dichas instalaciones para evitar los contactos directos y anular los efectos de los indirectos.

## PUESTA A TIERRA

Las condiciones a cumplir en la instalación así como los sistemas de puesta tierra de los receptores y de cualquier parte de la instalación que utilice la energía eléctrica, se regirán por el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

- Condiciones Particulares.

Las condiciones y garantías que deben reunir las instalaciones proyectadas serán las siguientes:

- Seguridad de personas y aparatos.
- Fiabilidad en su funcionamiento.
- Normalización en los materiales y aparatos empleados.

- Propuestas de Normas.

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica podrán proponer Normas sobre la construcción y montaje de acometidas, líneas repartidoras, instalaciones de contadores y derivaciones individuales señalando en ellas las condiciones técnicas de carácter concreto que sean precisas para una mayor homogeneidad en las redes de distribución y en las instalaciones de los abonados.

Estas normas deberán ajustarse al R.E.B.T., serán informadas por las delegaciones provinciales del M.I. y aprobadas en su caso, por la Dirección General de Energía.

- Redes subterráneas distribuidoras de energía eléctrica.

## CONDICIONES GENERALES

Los materiales cumplirán con las especificaciones de las Normas UNE que les correspondan y que sean señaladas como de obligado cumplimiento en las

## Instrucciones MI-BT 044.

### CONDUCTORES

Serán de cobre, aislados adecuadamente. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión y tendrán suficiente resistencia mecánica para soportar las tracciones a que se puedan estar sometidos.

La tensión nominal de los conductores no será inferior a 1000 V.

La sección de los conductores será la adecuada a las intensidades previstas y a las caídas de tensión, en todo caso no inferior a 6 mm<sup>2</sup> para conductores de cobre.

### SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR NEUTRO

a) En distribución monofásica o de cc:

- A dos hilos: igual a la del conductor de fase.
- A tres hilos: hasta 10 mm<sup>2</sup> de cobre o 16 mm<sup>2</sup> de aluminio, igual a la del conductor de fase, para secciones superiores, mitad de la del conductor de fase, con un mínimo de 10 mm<sup>2</sup> y 16 mm<sup>2</sup> para el cobre y aluminio respectivamente.

b) En distribuciones trifásicas:

- A dos hilos: (fase y neutro) igual a la del conductor de fase.
- A tres hilos: (dos fases y neutro) igual a los conductores de fase.
- A cuatro hilos: (tres fases y neutro) hasta 10mm<sup>2</sup> de cobre o 16 mm<sup>2</sup> de aluminio, igual que los conductores de fase, para secciones mayores la mitad, con un mínimo de 10mm<sup>2</sup> y 16mm<sup>2</sup> para el cobre y aluminio respectivamente.

Todo lo dicho en este apartado se cumplirá cuando las cargas no produzcan un desequilibrio entre fases mayor del 10 %, en caso contrario las secciones del neutro serán iguales a las de los conductores de fase.

## EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

### a) Empalmes:

Garantizarán una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento, así como su envolvente metálica cuando exista. Así mismo quedará garantizada su estanqueidad y resistencia a la corrosión.

### b) Instalación de los conductores:

Se instalarán dentro de un tubo de P.V.C. que irá en el fondo de una zanja conveniente preparada, rodeado de arena o tierra cribada y de forma que no pueda perjudicarle la presión o asientos del terreno. A 20cm. Por encima de los conductores se colocará una cobertura de aviso y protección, construida de hormigón.

La profundidad mínima de la instalación de 0.8m, si el Ingeniero Director lo autoriza esta distancia podrá reducirse, manteniendo la debida protección de los conductores.

- Protección.

En derivaciones de pequeña longitud (por ejemplo, acometidas como en el caso que nos ocupa), para facilitar su instalación y revisión se admite que la protección está confiada a los fusibles o interruptores automáticos instalados en el extremo de la derivación.

El conductor neutro deberá mantenerse aislado de la envolvente metálica del cable. Su puesta a tierra podrá realizarse en cajas de seccionamiento o de empalmes, separándolas de las tomas de tierra que puedan presentar las citadas cajas o envolvente metálicas del cable.

## CONTINUIDAD DEL NEUTRO

La continuidad del neutro quedará asegurada en todo momento. Este no podrá ser interrumpido en las redes de distribución salvo que la interrupción sea realizada por:

- a) Interruptores o seccionadores omnipolares que actúen sobre el neutro al mismo tiempo que en las fases (corte omnipolar simultáneo) o que establezcan la conexión del neutro antes que las fases y desconecten éstas antes que el neutro.
  - b) Uniones amovibles en el neutro próximas a los interruptores o seccionadores de los conductores de fase debidamente señalizada y que sólo puedan ser maniobradas con herramientas adecuadas, no debiendo ser seccionado el neutro sin que lo estén previamente las fases, ni conectadas éstas sin haberlo sido previamente el neutro.
- Cruzamientos, proximidades y paralelismos.

Es precisa la providencia de distancias de seguridad, ya que en la instalación que nos ocupa hay instalaciones de agua y saneamientos, por los que serán de aplicación la MI-BT006.

- Instalaciones de locales húmedos.

## LOCALES HÚMEDOS

Locales o emplazamientos húmedos son aquellos cuyas condiciones ambientales se manifiestan momentánea o permanentemente bajo la forma de condensación en el techo y paredes, manchas salinas o moho, aún cuando no aparezcan gotas, ni el techo ni paredes estén impregnadas de agua.

## CANALIZACIONES

Las canalizaciones podrán estar constituidas por:

- a) Conductores flexibles aislados a 440 V de tensión nominal como mínimo, colocados sobre aisladores.
- b) Conductores rígidos aislados a 750 V de tensión nominal como mínimo, bajo tubos protectores.
- c) Conductores rígidos aislados armados, a 100 V de tensión nominal como mínimo fijados directamente sobre las paredes o colocados en el interior de la construcción.

Los conductores destinados a la conexión de aparatos receptores podrán ser rígidos a 750 V o flexibles a 440 V de tensión nominal como mínimo.

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas o dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a la caída vertical de gotas de agua.

#### CONDUCTORES DESNUDOS

Solamente en casos excepcionales, y por razones justificadas ante la delegación provincial correspondiente al M.I., podrán utilizarse canalizaciones constituidas por conductores desnudos sobre aisladores. En este caso la distancia más, próxima de los conductores a la pared será como mínimo de 10 cm.

#### CONDUCTORES AISLADOS

Los conductores aislados colocados sobre aisladores se dispondrán a una distancia mínima de 5 cm. A las paredes, y la separación entre conductores será de 3 cm como mínimo.

El material utilizado para la sujeción de los conductores aislados fijados directamente sobre las paredes será hidrófugo, preferentemente aislante y estará protegido contra la corrosión.

- Instalaciones en locales mojados.

Locales o emplazamientos mojados son aquellos en que los suelos, techo o paredes estén o puedan estar impregnadas de humedad y donde se vean aparecer, aunque sólo sea temporalmente lodo o gotas gruesas de agua, debido a la condensación o bien estar cubiertos con vaho durante largos periodos. En estos locales además de las condiciones establecidas para locales húmedos se cumplirán las siguientes.

## CANALIZACIONES

Las canalizaciones serán estancas utilizándose; para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua.

## TUBOS

Los tubos serán estancos, preferentemente aislantes y en caso de ser metálicos, deberán estar protegidos contra la corrosión. Se colocarán en montaje superficial, y los tubos metálicos se dispondrán, como mínimo, a 2cm de las paredes.

## MONTAJES DIVERSOS

La instalación de herrajes, cajas terminales, empalmes,... deben realizarse siguiendo las instrucciones y normas del fabricante.

En caso de uniones de tubos metálicos en cajas terminales a interruptor, los tramos serán cortos, de forma que los esfuerzos electrodinámicos que puedan producirse no sean ocasión de cortocircuitos entre fases.

## ARMARIO DE DISTRIBUCIÓN

El armario general de maniobra estará constituido por perfiles laminados de acero y será soportado por una fundación a 15cm. Aproximadamente de altura sobre

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

el nivel del suelo al preparar la fundación que dejarán los tubos o taladros necesarios para el posterior tendido de cables colocado con la mayor inclinación posible para conseguir que la entrada de cal a los tubos que de siempre 50 cm, como mínimo por debajo de la rasante del suelo.

El armario contendrá todos los instrumentos y aparatos de mando, protección y medida especificados en la memoria.

#### DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

De acuerdo con lo establecido en la MIE-BT 0 20 se instalará, en cualquier caso, un dispositivo de protección en el origen de cada circuito derivado de otro que penetre en el local mojado.

#### APARATOS MÓVILES PORTÁTILES.

Se prohíbe su utilización en estos locales excepto en los casos previstos en la instrucción MI-BT021.

#### RECEPTORES DE ALUMBRADO.

Los receptores de alumbrado tendrán sus piezas metálicas bajo tensión, protegidas contra las proyecciones de agua. La cubierta de los portalámparas será en su totalidad de material aislante, hidrófugo, salvo cuando se instale en el interior de cubiertas estancas destinadas a los receptores de alumbrado, lo que deberá hacerse siempre que estas se coloquen en lugar fácilmente accesible.

### 3.7.2. MOTORES

- Condiciones Generales de la instalación.

Los motores estarán contruidos o se instalarán de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente.

- Conductores de conexión.

La sección mínima que deban tener los conductores de conexión que alimentan un solo motor, con objeto de evitar en ellos un calentamiento excesivo, deberá estar dimensionada para una intensidad no inferior a 1.25 de la intensidad nominal a plena carga del motor en cuestión.

- Protección contra sobreintensidades.

En el caso de los motores con arranque estrella - triángulo como es el caso que nos ocupa, la protección asegurará a los circuitos tanto para la estrella como para la de triángulo.

Las características de los dispositivos de protección estarán de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiéndose seguir las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

- Protección contra la falta de tensión.

Los motores estarán protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el arranque espontáneo del motor, como consecuencia de un restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes, oponerse a dicho restablecimiento o perjudicar al motor.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión por el sistema de corte de la alimentación, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

- Potencia de arranque.

Los motores tendrán limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando en el caso contrario se puedan producir efectos que perjudiquen a la instalación u ocasionen perturbaciones inestables al funcionamiento de otro receptor.

### 3.7.3. TRANSFORMADOR

- Condiciones Generales de la instalación.

Los transformadores que puedan estar al alcance de personas no especializadas estarán contruidos o situados de manera que su arrollamiento y elementos bajo tensión, si éste es superior a 50 V, sean inaccesibles.

- Protección contra sobrecarga.

Todo transformador estará protegido contra sobrecargas por un dispositivo de corte de sobreintensidades u otro sistema equivalente. Este dispositivo estará de acuerdo con las características que figuran en la placa del transformador y se situarán antes del arrollamiento primario y después del secundario.

### 3.7.4. PUESTA A TIERRA

- Objeto.

Su objeto, principalmente, es el delimitar la tensión que con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado.

- Definición.

La denominación puesta a tierra comprende la unión metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no tengan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la descarga de origen

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.  
atmosférico.

- Partes que comprenden las puestas a tierra.

Todo sistema de puesta a tierra constará de las siguientes partes:

- Tomas de tierra.
- Líneas principales de tierra.
- Conductores de protección.
- Derivaciones de las líneas principales de tierra.

El conjunto de conductores, así como sus derivaciones y empalmes, que constituyen el circuito de puesta a tierra.

#### TOMAS DE TIERRA

Estarán constituidas por los siguientes elementos:

- Electrodo metálico en buen contacto con el terreno, que facilita el paso a éste de las corrientes de defecto y las cargas eléctricas que tengan o puedan tener.
- Líneas de enlace con tierra, que une el electrodo con el punto de puesta a tierra.
- Punto de puesta a tierra, constituido por un dispositivo de conexión que permita la unión entre los conductores de las líneas de enlace y principal de tierra con el fin de realizar la medida de la resistencia de tierra. Estará situado fuera del suelo.

#### LÍNEAS PRINCIPALES DE TIERRA

Formadas por conductores que parten del punto de puesta a tierra y a las que

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

se unirán las derivaciones de puesta a tierra de las masas, generalmente a través de los conductores de protección.

## DERIVACIONES DE LAS LÍNEAS PRINCIPALES DE TIERRA

Constituidas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas.

## CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

Estos unirán las masas a la línea principal de tierra.

- Prohibición de incluir en serie las masas y los elementos metálicos en el circuito de tierra.

El circuito de puesta a tierra formará una línea eléctricamente continua, en la que no podrá incluirse en serie masas ni elementos metálicos, cualquiera que sean estos. Las conexiones de los mismos al circuito de puesta a tierra se efectuarán por derivaciones de éste.

- Naturaleza, constitución, dimensiones y condiciones de instalación de los elementos de puesta a tierra.

## NATURALEZA

Se emplearán electrodos artificiales. Previa autorización del Ingeniero Director se podrá utilizar electrodos naturales, siempre que presenten y aseguren un buen contacto permanente con el terreno y las resistencias de tierra que se obtengan con ellos presente un valor adecuado.

## CONSTITUCIÓN DE LOS ELECTRODOS ARTIFICIALES

Podrán estar constituidos por:

- Electrodo simples constituidos por barras, cables, pletinas y otros perfiles.
- Anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos indicados anteriormente o combinaciones de ellos.

Serán materiales inalterables a la humedad y a la acción del terreno. Su sección no será inferior a 1/4 de la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra. Entre ellos están las picas.

Las picas podrán estar constituidas por:

- Tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior, como mínimo, y 2 m de longitud como mínimo.
  - Cualquier otro electrodo de características similares al anterior, si el Ingeniero Director lo autoriza.
- Resistencia de tierra.

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ello en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor.
- 50 V en los demás casos.

Si las condiciones de instalación son tales que pueden dar lugar a tensiones de contacto superiores a los valores señalados anteriormente, se asegurará la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuados a la corriente de servicio.

- Características y condiciones de las líneas de enlace con tierra.

## NATURALEZA Y SECCIONES MÍNIMAS

Los conductores que constituyen las líneas de enlace con tierra, las líneas de tierra y sus derivaciones, serán de cobre u otro material de alto punto de fusión. Su sección deberá cumplir lo dispuesto en el MI-BT 039 y en cualquier caso no tendrán una sección inferior a 16 mm<sup>2</sup> para las líneas principales de tierra y de 35 mm<sup>2</sup> para la línea de enlace con tierra, si son de cobre, o secciones equivalentes a las anteriores para cualquier otro material empleado.

## TENDIDO DE LOS CONDUCTORES DE LA LÍNEA PRINCIPAL DE TIERRA, SUS DERIVACIONES Y DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

El recorrido de estos conductores será lo más corto posible, sin cambios bruscos de Dirección, no estarán sometidos a esfuerzos mecánicos y estarán protegidos contra la corrosión y el desgaste mecánico.

## CONEXIONES DE LOS CONDUCTORES DE LOS CIRCUITOS DE TIERRA CON LAS PARTES METÁLICAS Y MASAS A LOS ELECTRODOS

Presentarán un buen contacto eléctrico, para ello se efectuará con todo cuidado, por medio de piezas de empalme adecuadas, asegurando las superficies de contacto, de forma que la conexión sea efectiva.

Los contactos estarán limpios, sin humedad y de forma que la acción del tiempo no destruya, por efectos electroquímicos las conexiones efectuadas.

## PROHIBICIÓN DE INTERRUMPIR LOS CIRCUITOS DE TIERRA

Se prohíbe intercalar en circuitos de tierra seccionadores, fusibles o interruptores. Sólo se permite disponer un dispositivo de corte en los puntos de puesta a tierra, de forma que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

- Separación de las tomas de tierra de las masas.

Se verificará que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización, así como los conductores de protección asociados a estas masas o a los relés de protección de masa, no están unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación. Si no se hace el control mediante la medida efectuada entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y la de las masas del centro de transformación, se considerará que las tomas de tierra son eléctricamente independientes cuando se cumplen todas y cada una de las condiciones siguientes:

- a) No existe canalización metálica conductora (cubierta metálica de cable no aislada especialmente, canalización de agua, gas...) que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona donde se encuentran los aparatos de utilización.
- b) Las distancias entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra u otros elementos conductores enterrados en los locales de utilización es al menos igual a 15m.
- c) El centro de transformación está situado en un recinto aislado de los locales de utilización o en el interior de los mismos, está establecido de tal manera que sus elementos metálicos no estén unidos a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización.

### 3.7.5. AUTORIZACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LA INSTALACIÓN

Corresponde al Ministerio de Industria, con arreglo a la ley de 24 de Noviembre de 1.939, la autorización de la puesta en servicio de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Las delegaciones provinciales del Ministerio de Industria autorizarán el enganche y funcionamiento de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

### 3.7.6. RESPONSABILIDAD Y SANCIONES

Sin perjuicio de las comprobaciones que realicen y la autorización que otorgue la Delegación Provincial del Ministerio de Industria, la responsabilidad de las infracciones corresponde a las sanciones de las mismas.

Se presume, salvo prueba de lo contrario, autores de las infracciones respectivas:

- A los instaladores, en cuanto a las infracciones que se refieren a la instalación.
  - A los usuarios, en cuanto a las infracciones relativas al uso de aquellas e instalaciones.
  - A las empresas suministradoras, en cuanto a las infracciones relativas a los preceptos que les afecten en el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, e instrucciones complementarias.
- Medición y valoración de las instalaciones eléctricas.

Los tubos de P.V.C. se medirán en metros lineales según el diámetro y sin descontar los pasos por caja de registro. Los tubos que vayan a ir tapados, se medirán antes de que se hayan instalados totalmente.

Las cajas de registro se medirán en unidades completas instaladas, teniendo en cuenta sus características y dimensiones.

Los conductores se medirán en metros lineales, realizada la medición sobre la longitud total instalada, del mismo tipo de aislamiento y sección.

La conducción enterrada de cable desnudo recocado de cobre, para la puesta a tierra, se medirá en metros lineales en la longitud total colocada de igual sección.

Las arquetas de conexión de toma de tierra, de las características estipuladas en la documentación técnica, se medirán en unidades completas

terminadas.

Los cuadros de distribución, interruptores, conmutadores, se medirán sobre la base de unidades completamente terminadas.

- Valoración de las luminarias.

Se medirán en unidades totalmente instaladas en su lugar indicando en la documentación técnica, teniéndose en cuenta el tipo de cada una de ellas.

En el precio que se estipula en los presupuestos se consideran incluidos todos aquellos accesorios para su fijación correcta.

La conducción de distribución del alumbrado se medirá en metros lineales.

- Condiciones de seguridad e higiene para la iluminación.

Los locales de trabajo tendrán la iluminación precisa y deberá satisfacer las condiciones de seguridad del personal empleado.

Siempre que sea posible la iluminación será natural, completándose aquellos lugares que no resulten bien iluminados mediante luz artificial.

- Condiciones de seguridad e higiene para los motores.

La limpieza y engrasado de los motores, transmisiones y máquinas no podrá hacerse nada más que por el personal especializado y durante la parada del mismo, salvo que exista garantía de seguridad para los operarios.

Los trabajos de reparación u otros cualesquiera similares, se harán análogamente cuando las máquinas se encuentren en reposo. Los obreros al servicio de los motores y máquinas en general, llevarán para el trabajo prendas de vestir ajustadas.

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

Los órganos móviles de los motores y cualquier otro elemento de los mismos que presenten peligro para los trabajadores, deberán ser provistos de la adecuada protección que los evite.

### 3.8. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

#### 3.8.1. LOCAL

El local del centro de transformación no albergará en su interior ninguna instalación ajena a su función, ni estará atravesado o cruzado por tuberías de agua, desagües u otros servicios.

La ventilación queda garantizada mediante rejillas con lamas en forma de "V" invertida combinada con tela de mosquitero. Tales rejillas tendrán un grado de protección mínimo IP-3XX.

Las puertas serán metálicas galvanizadas de doble hoja, de apertura hacia el exterior, que puedan abatirse totalmente sobre la fachada.

Los centros de transformación prefabricados de hormigón cumplirán con la recomendación UNESA-1303A o la norma que la sustituyera.

Quedará prohibido el acceso a los centros de transformación a toda persona ajena al servicio. Se excluye de esta prohibición a los funcionarios de la Dirección de Industria y Energía, así como a los de inspección de trabajo, siempre y cuando actúen en actos de servicio.

En todo centro de transformación se instalará una banqueta aislante, guantes igualmente aislantes y una pértiga de maniobras. Así mismo, se colocará en sitio visible el esquema unifilar realizado en el centro. También se instalarán indicadores de instalaciones de alta tensión e instrucciones de primeros auxilios a accidentados por contactos con partes en tensión.

En caso de accidente no se verterá agua sobre la instalación, pues pueden producirse contactos y ponerse en comunicación los circuitos primarios con los secundarios, quedando en alta toda la instalación

En el interior y junto a la puerta se instalará un extintor de eficacia 61 OB. Los componentes básicos del hormigón armado son:

Cemento P-450.

Arena lavada de río.

Árido manchado o rodado de río.

Armaduras de acero de límite elástico mínimo de 5.000 Kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a la compresión del hormigón armado será de 350 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo a los 28 días y un grado de compacidad que asegure la total impermeabilidad de las paredes o módulos.

Las condiciones de servicio serán las exigidas en la norma MV-101/1962 para una altitud de instalación de 500 m sobre el nivel del mar.

### 3.8.2. APARAMENTA

En este apartado se incluyen el disyuntor de protección general, los interruptores-seccionadores y las celdas de protección de los transformadores de potencia.

Todos ellos serán tripolares y realizarán la extinción del arco mediante autosoplado de hexafluoruro de azufre. Todos los contactos y bornes de conexión serán de una sola pieza de cobre plegado en frío.

Serán del tipo denominado bajo envolvente metálica, siendo este material prefabricado debiéndose garantizarse mediante protocolos de ensayos las características eléctricas del conjunto, y cumplirán lo especificado en las normas UNE-29009 y 36086.

El montaje convencional y por motivos de seguridad, se colocará necesariamente un mando por manivela para su apertura y cierre, para todos los interruptores de cable o línea.

De acuerdo con lo indicado en el apartado 1.1.1 del MIE RAT-12, los niveles de aislamiento a considerar en las instalaciones serán los siguientes:

Tensión más elevada para el material	20 KV
Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo	125 KV
Tensión soportada nominal de corta duración 50Hz	50 KV

También admitirán durante un segundo una intensidad de cresta de 16kA, y resistir sin formación de arco y durante un minuto una sobrepresión trifásica de 60kV(eficaces).

Las celdas interruptor - seccionador estarán equipadas con seccionadores de puesta a tierra existiendo entre ambos seccionadores un enclavamiento seguro, de modo que cuando uno esté abierto, el otro esté cerrado, y viceversa.

Cada cabina o celda separable llevará una placa de características con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante o maraca de identificación.
- Número de serie o designación de tipo, que permita obtener toda la información necesaria.
- Tensión nominal.
- Intensidades nominales de las barras generales y los circuitos.
- Frecuencia nominal.

La conexión a tierra de las envolventes metálicas se realizará de la forma indicada en la instrucción MIE-RAT-13.

### 3.8.3. FUSIBLES

Todos los fusibles serán del tipo de alto poder de ruptura.

Los fusibles irán instalados en el interior de las celdas de protección del transformador.

El calibre de los mismos dependerá de la potencia del transformador a

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

proteger, ajustándose para este fin a lo especificado en las Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución de la Compañía Sevillana de Electricidad.

Los fusibles cumplirán lo especificado en la norma UNE -21120.

Deberán estar contruidos de forma que no produzcan proyecciones de metal fundido ni formación de llama, y llevar grabado el calibre por el 80% de la corriente máxima que pueden soportar indefinidamente.

#### 3.8.4. CABLES

El puente de alta tensión será de una sección de cobre de 50 mm<sup>2</sup>, de aislamiento de polietileno reticulado o etileno - propileno 18/30 KV.

El puente de baja tensión se realizará con pletinas de cobre de 100x10 mm<sup>2</sup> de sección.

El resto del cableado utilizado, en baja tensión cumplirá con la instrucción MIE.RAT-007.

Los cables de alumbrado serán de cobre electrolítico con una sección de 6 mm<sup>2</sup> excepto el de la acometida que será de 10 mm<sup>2</sup>. La cubierta será de policloruro de vinilo.

Los cables de conexión a la luminaria serán de 2x2,5 mm<sup>2</sup> de cobre con igual aislamiento.

El Contratista informará por escrito al Director de Obra del nombre del fabricante de cables y le enviará una muestra de los mismos.

### 3.8.5. ARMARIO DE BAJA TENSIÓN.

Admitirán cuatro salidas y un módulo de ampliación, y estarán dotados de los desconectares necesarios para las salidas de cables provistos de fusibles de uso general aptos para la intensidad nominal de las líneas que alimentan.

El elemento de corte de cada línea, podrá ser uni o tripolar, con poder de corte de 2000A, colocándose un interruptor adecuado que incluso, podrá ser único para la salida del transformador.

El neutro de las salidas de baja tensión será seccionable mediante el uso de la herramienta adecuada.

Los armarios estarán contruidos conforme a las normas CEI-439-1, CEI-529, CEI-144, NF-410 y C15-100.

El grado mínimo de protección ha de ser IP-54.

Los elementos plásticos que contengan serán autoextinguibles a 96 o C según normas CEI-695.21 y C15-100.

El embarrado de que dispongan será de cobre electrolítico y capaz de soportar esfuerzos térmicos y electromecánicos de cortocircuito.

Se indicarán en unas placas con características indelebles:

- Nombre de fabricante, modelo y número de serie.
- Intensidad en amperios.
- Número de líneas de salida.

### 3.8.6. EQUIPO DE MEDIDA

El equipo de medida estará compuesto de los transformadores de medida ubicados en la celda de medida de A.T. y el equipo de contadores de energía activa y reactiva ubicado en el armario de contadores, así como de sus correspondientes elementos de conexión, instalación y precintado.

Las características eléctricas de los diferentes elementos están especificadas en la memoria.

Los transformadores de medida deberán tener las dimensiones adecuadas de forma que se puedan instalar en la celda de A.T. guardando las distancias correspondientes a un aislamiento de 24 kv. Por ello será preferible que sean suministrados por el propio fabricante de las celdas, ya instalados en la celda. En el caso de que los transformadores no sean suministrados por el fabricante de celdas se le deberá hacer la consulta sobre el modelo exacto de transformadores que se van a instalar a fin de tener la garantía de que las distancias de aislamiento, pletinas de interconexión, etc. serán las correctas.

La regleta de verificación será de un modelo normalizado por la Compañía Sevillana de Electricidad, situada de forma que pueda ser manipulada sin peligro, por proximidades con partes en tensión.

Los transformadores de intensidad estarán homologados por la Administración competente, siendo las características técnicas las siguientes:

Clase de precisión mínima	0,5
Potencia de precisión mínima	15 VA
Tensión nominal de aislamiento	36 KV
Tipo de aislamiento	Seco
Intensidad límite térmica mínima	5 KA
Intensidad límite dinámica mínima	2,5x5 KA
Factor de sobrecarga mínimo	5
Intensidad nominal secundaria	5 A
Intensidad nominal primaria	150 A

Los transformadores de tensión estarán homologados por la Administración competente.

En los circuitos secundarios de estos transformadores sólo se podrán conectar los circuitos voltimétricos de los contadores, que sirvan para la facturación, así como la alimentación de aquellos elementos necesarios para dicha facturación (relojes de tarificación, etc.).

Las características técnicas fundamentales de los transformadores de tensión son las siguientes:

Clase de precisión mínima	0,5
Potencia de precisión mínima	50 VA
Tensión nominal de aislamiento	24 KV
Tipo de aislamiento	Seco
Tensión nominal secundaria	110/3 V
Tensión nominal primaria	22/ 3 KV
Tipo	Un polo aislado

### 3.8.7. CONTADORES

Los contadores de energía activa y reactiva estarán homologados por el organismo competente. Sus características eléctricas están especificadas en la memoria.

### 3.8.8. TRANSFORMADOR

Además de lo especificado en el presente pliego, cumplirán las dadas en el documento Memoria.

Se usará transformador en baño de aceite.

El transformador en baño de aceite se ajustará a las normas CEI, UNE-20138 y recomendaciones UNESA 5201-y 5204.

La tensión del primario nominal de trabajo será de 20 KV, para ello deberán de llevar bajo tapa las conexiones necesarias para la tensión de 20 KV. La tensión del secundario será 380/220 V de valor nominal.

Se prohíbe usar piraleno como refrigerante.

El transformador irá provisto de regulador de tensión, que se puede accionar sin carga, con una regulación posible de 2,5 y 5% de la tensión nominal.

El fabricante será de conocida solvencia y su marca de fabricación será internacionalmente conocida.

El aceite estará obtenido por destilación fraccionada del petróleo y refinada con posterioridad. Sus características más importantes serán:

- Color: Observado a contraluz en un tubo de ensayo de 15 mm, aparecerá claro y limpio.
- Peso específico: A veinte grados, ocho grados Engler y a cincuenta grados, dos con cinco grados Engler como máximo.
- Temperatura de inflamación mínima: Ciento cuarenta grados.
- Rigidez dialéctica: 100 KV/cm.
- Alteración del algodón: Al Introducirlo en el aceite durante diez minutos y probado a tracción inmediatamente después de secado del mismo, presentará una reducción no mayor del 35% en su coeficiente de tracción inicial.
- Acidez orgánica: Será de un máximo de 0,05% en ácido oleico.
- Asfalto y resinas: Exento.

Los cables de unión entre las celdas de protección y el transformador

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

serán de aislamiento basándose en polietileno reticulado, de 50 mm<sup>2</sup> de sección, 18/30 KV.

### 3.8.9. COLUMNAS

Cumplirán:

- Las características y ensayos se regirán por las Normas de Alumbrado Urbano del Ministerio de la Vivienda.
- El espesor mínimo de chapa será de 3mm.
- El tipo de acero cumplirá la norma UNE 36080-73
- La columna llevará en su base una puerta de registro prevista de cerradura. Esta puerta y la cavidad a la que da acceso deberá de ser de suficientes dimensiones para permitir el alojamiento de la placa de conexión y fusible.

El Contratista presentará al Director de Obra un croquis con las características de dimensiones, formas, espesores de chapa y peso de columna que se pretende colocar.

### 3.8.10. CENTRO DE MANDO

Será metálico tratado químicamente. Tendrá el cierre hermético de manera que resguarde a los elementos en él alojados de la humedad. Deberá de llevar cerradura con llave para que el interior solo pueda ser manipulado por el personal especializado.

Los interruptores magnetotérmicos cumplirán con las normas UNESA y serán de las características ya citadas en el documento Memoria.

La célula fotoeléctrica deberá de soportar la acción de los agentes atmosféricos sin que afecten a su función.

El relé crepuscular deberá de ajustarse para que conecte cuando la intensidad luminosa descienda de 10 lux.

### 3.8.11. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

En primer lugar se prepararán la apertura y nivelación del foso para la correcta colocación del centro. Después se realizarán las zanjas; deberán de estar limpias de materiales que estorben en el tendido de los tubos los cuales deberán de asentar perfectamente. Las dimensiones de las excavaciones se ajustarán a las indicadas en los planos que acompañan al presente Proyecto.

En terrenos inclinados se hará una explanación del terreno al nivel correspondiente a la estaca central.

La tierra sobrante deberá de ser retirada a un lugar donde no produzca perjuicio ninguno.

Los embarrados y conexiones de alta tensión estarán constituidos por conductores aislados soportados por aisladores de apoyo. Estos aisladores de apoyo soportarán una carga mínima de ensayo a la flexión de 160 daN.

Las conexiones, derivaciones y empalmes se realizarán con elementos apropiados, que para conductores de cobre de sección circular se recomienda que sean de apriete concéntrico.

Las conexiones de baja tensión se ajustarán a lo dispuesto en REBT.

Ningún circuito de baja tensión se situará sobre la vertical de los circuitos de alta tensión ni a menos de 45 cm, excepto si se instalan tubos o pantallas de proyección.

Se cuidará de respetar las distancias de las partes en tensión, a masa como establece en el vigente Reglamento. Los mandos de los aparatos deberán ser regulados para su perfecto funcionamiento.

Las condiciones de los circuitos de puesta a tierra son las siguientes:

- No se unirán al circuito de puesta a tierra ni las ventanas metálicas ni las puertas de acceso.
- En ninguno de los circuitos de puesta a tierra se colocarán elementos de seccionamiento.
- La conexión del neutro a su toma se efectuará siempre que sea posible antes del seccionamiento de baja tensión.
- Cada circuito de puesta a tierra llevará un borne para la medida de la resistencia a tierra, situado en un punto de fácil acceso.
- Los circuitos de tierra se establecerán de manera que se eviten los deterioros debidos a las acciones mecánicas.
- La conexión del conductor de tierra con la toma de tierra se realizará de forma que no haya peligro de aflojarse.
- Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea continua en la que no podrán incluirse en serie las masas del centro. Siempre la conexión de las masas se realizará por derivación.
- Los conductores de tierra podrán ser de cobre o acero y su sección mínima respectivamente de 35 mm<sup>2</sup> o su equivalente.
- Cuando la alimentación de un centro se realice por medio de cables subterráneos provistos de cubiertas metálicas, se asegurará la continuidad de estas por medio de un conductor de cobre lo más corto posible de una sección no inferior a 50 mm<sup>2</sup>.

La cubierta metálica se unirá al circuito de tierra de las masas.

Puesto que se realizará la medida en alta tensión, se instalarán tres transformadores de intensidad y otros tres de tensión en el sentido de la circulación de la energía y como se indica en el plano correspondiente.

Los transformadores de medida deben ser instalados de forma que sus placas de características sean visibles una vez abierta la celda que los contiene. Se reserva una celda exclusivamente para medida.

Las líneas de conexión del equipo de medida, serán lo más cortos posible, canalizados en tubo visible. La tierra de los secundarios de los transformadores de medida, se llevará directamente de cada transformador al punto de unión con la tierra para medida y de aquí se llevará, en un solo hilo, a la regleta de verificación. Los contadores se colocarán en un módulo exterior a la celda, estando los hilos de conexión bajo tubo de acero.

El error en la medida producido por los empalmes y los conductores no serán superior al 0,2% en valor absoluto. El equipo de medida estará montado de tal forma que pueda precintarse en los mecanismos de regulación por Organismos Competentes de la Administración y en los de conexión de Sevillana de Electricidad, sin impedir a su vez la visibilidad de los integradores de medida. Los contadores de medida de energía reactiva se colocarán siempre según el orden de sucesión de fases y en primer lugar. El de activa a continuación.

Durante la ejecución de las obras o una vez finalizada, el Director de Obra podrá verificar si los trabajos realizados están de acuerdo con las especificaciones contenidas en este Pliego. Esta verificación se llevará a cabo por cuenta del Contratista.

Una vez finalizadas las instalaciones el Contratista deberá de solicitar la oportuna recepción global de la obra. En la recepción de la instalación se incluirán los siguientes conceptos:

- Aislamiento: Medición de la resistencia del aislamiento del conjunto de la instalación.
- Ensayo dieléctrico: Todo el material que forma parte del equipo eléctrico del centro deberá de haber soportado por separado las tensiones de

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

prueba a frecuencia industrial y a impulso tipo rayo.

- Instalación de puesta a tierra: Se comprobará la medida de las resistencias de puesta a tierra, las tensiones de contacto y de paso.
- Regulación y protecciones: Se comprobará el buen estado de funcionamiento de los relés de protección y su correcta regulación.

### 3.9. BOMBAS

- Se instalarán bombas horizontales centrífugas.
- El proveedor proporcionará curvas de rendimiento, potencia, caudal, etc., para todas las bombas instaladas.
- Se aconseja y prefiere el uso de juntas mecánicas sobre las de empaquetadura.
- Se prefiere el uso de cojinetes estandarizados. Los soportes de cojinete se lubricarán con aceite.
- Los soportes de cojinete se diseñarán de tal modo que para la máxima carga y mínimo engrase, la vida media no sea inferior a 2 años.
- Se debe prever un depósito de aceite de reserva de la capacidad adecuada, íntegramente con el soporte.
- Se debe prever la posibilidad de montar y desmontar los cierres y elementos rotativos, sin tener que mover el motor.
- Los rodetes se diseñarán para tener un decrecimiento gradual de carga, con crecimiento de opacidad desde el arranque a la capacidad normal.
- La magnitud de cualquier vibración con la bomba funcionando en su bancada, no debe sobrepasar 0.05mm, doble amplitud medida en el soporte del cojinete.
- En las líneas de descarga se instalarán válvulas retentoras antes de la primera válvula de bloque.
- Los filtros temporarios se fabricarán de chapa perforada a máquina de 1/6" de espesor para tuberías menores de 10".

### 3.10. TUBERÍAS

#### 3.10.1. CÓDIGOS

- Todas las tuberías de proceso estarán de acuerdo con la sección aplicable del código ASA.
- Todos los materiales para tuberías se especifican de acuerdo con ASTM.

#### 3.10.2. TUBERÍAS

- Todas las tuberías serán de un " Schedule" de 10, salvo que se especifique lo contrario.
- Todas las tuberías de 3" y mayores serán fabricadas en taller utilizando accesorios de soldadura a tope. Toda la tubería de 2" será fabricada en campo utilizando accesorios roscados. En ciertos casos y para tubería de 2" únicamente, las uniones por soldadura de encastre pueden ser más prácticas que las roscadas.
- Si las fatigas producidas por la dilatación o contracción de las tuberías no pueden ser reducidas a los límites admitidos por el código mediante cambio de dirección o elevación, se deberán hacer liras de expansión. Las liras de expansión serán situadas preferentemente en un plano vertical, y podrán fabricarse completamente con accesorios soldados.
- Las tomas de muestra y líneas de ventilación serán de 3/4" como mínimo a no ser que se indique específicamente lo contrario.
- El margen de corrosión en las tuberías será de un mínimo de 3 mm para garantizar 12 años de servicio.

### 3.10.3. VÁLVULAS

- Todas las válvulas, forjadas o fundidas, de compuerta o asiento, en acero al carbono o aleado, tendrán las caras atornillada y exteriormente roscas y estribos.
- Los cuerpos de válvula de hierro, con la cara de brida lisa, serán mecanizados para obtener una cara con mecanizado en espiral.
- Los instrumentos como manómetros, termopares, placas orificio, termómetros, etc., conectados a las líneas, llevarán válvula de cierre que permita el cambio de los mismos sin pérdidas del fluido. Dichas válvulas deberán cumplir las especificaciones de tuberías.
- Se evitará el uso de válvulas de ángulo.

### 3.10.4. BRIDAS

- Todas las bridas se orientarán de modo que los agujeros queden fuera de los ejes, y simétricamente distribuidos respecto a ellos.
- Las uniones brida - brida se realizarán mediante perno roscado y dos tuercas hexagonales. Los pernos de acero al carbono serán de una calidad no inferior que la del acero ASIMA - 193 Grado B – 7.
- La cara de la brida será del tipo "raised" o "flat"; las caras macho - hembra no son permitidas.

### 3.10.5. ACCESORIOS

- Los cambios de tamaño se realizarán mediante reductores unidos de igual forma que la tubería donde se instalan.

- Las conexiones en las líneas de proceso se realizarán mediante soldadas.
- Se colocarán filtros delante de todas las bombas y equipos rotativos que no tengan esa protección.
- Los accesorios embridados deberán ser de utilización absolutamente mínima.

### 3.10.6. COLGANTES Y ACCESORIOS

- No se usará hierro maleable para vigas o uniones de tuberías a los soportes.
- Los soportes fabricados con tubos tendrán sus extremos tapados.

### 3.10.7. CAMBIOS DE DIRECCIÓN

- Los cambios de dirección de todas las tuberías roscadas se realizarán curvando la tubería, siempre que sea posible; en caso contrario utilizando codos roscados.
- Los cambios de dirección de la tubería soldada se realizarán mediante el empleo de coldados sin unión. La tubería curvada podrá utilizarse dependiendo del servicio o la aplicación.
- Los codos de 90° soldados a tope deberán ser de radio largo.

### 3.10.8. PRUEBAS E INSPECCIONES

- Donde sea posible, todas las líneas se probarán hidrostáticamente en campo. La prueba estará de acuerdo con el código ASA para tuberías a presión.

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Pliego de condiciones.

- Las líneas de drenaje o venteo a la atmósfera no deben ser probadas.

### 3.11. AISLAMIENTO TÉRMICO

#### 3.11.1. GENERAL

- Todas las tuberías de vapores o fluidos donde sea necesaria la conservación del calor, deben ser aisladas térmicamente.
- Las bridas y cuerpos de válvulas serán aisladas.
- Todas las tuberías aisladas se limpiarán, secarán y probarán hidrostáticamente antes del recubrimiento.

#### 3.11.2. MATERIALES

Todos los materiales deben ser nuevos, llegando a obra cerrados y en sus embalajes originales.

### 3.12. AISLAMIENTO ACÚSTICO

Todas las zonas indicadas en los planos se aislarán acústicamente para impedir la libre circulación de las ondas sonoras.

Durante la construcción de las paredes, punto 3.5, se tapizarán las paredes con aislamiento acústico según dicho punto.

Todos los materiales deben ser nuevos, llegando a obra cerrados y en sus embalajes originales.

### 3.13. SEGURIDAD Y SALUD EN LA OBRA

#### 3.13.1. OBJETO DEL PRESENTE CAPÍTULO

Se redacta el siguiente pliego para definir las calidades y características técnicas de los materiales a utilizar en la obra en lo dispuesto en el estudio de seguridad e higiene, normativa básica de obligado cumplimiento, obligaciones del empresario, etc.

#### 3.13.2. CONDICIONES TÉCNICAS.

En aplicación del Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el contratista o constructor principal de la obra quedará obligado a elaborar un Plan de Seguridad e Higiene en el que analice, estudie, desarrolle y complemente en función de su propio sistema de ejecución, las obras y las previsiones contenidas en el citado estudio.

El Plan de Seguridad e Higiene debe ser presentado antes del inicio de la obra a la Dirección Técnica encargada de su aprobación y seguimiento. Una copia de dicho plan a efectos de su conocimiento y seguimiento debe ser entregada al vigilante de seguridad, y en su defecto, a los representantes de los trabajadores del centro de trabajo, quienes podrán presentar por escrito y de forma razonada las sugerencias y alternativas que se estimen oportunas.

- Vigilante de seguridad e higiene.

Sus funciones serán las establecidas por la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Es el responsable del cumplimiento del Plan de Seguridad.

Todos los incumplimientos deberán ser anotados en el Libro de Incidencias, dando cuenta a la Dirección Técnica Facultativa y a los inspectores de Seguridad e

## Higiene en el Trabajo.

Debe ser designado por escrito y presentado a la Dirección Técnica para su aprobación antes del inicio de las obras.

- Condiciones de los medios de protección.

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o de la fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido, será desechado y reemplazado al momento. De igual modo se repondrán inmediatamente aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante.

El uso de una prenda o equipo nunca representará un riesgo en sí mismo.

### 3.13.3. PROTECCIONES PERSONALES.

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación pertinentes, siempre que existan en el mercado, y si no, se tendrán en cuenta las consideraciones antes aludidas.

Los medios de protección personal, simultáneos con los colectivos, serán de empleo obligado, siempre que se precisen para eliminar o reducir los riesgos profesionales.

La protección personal, no dispensa en ningún caso de la obligación de emplear los medios preventivos de carácter general, conforme a lo dispuesto por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Todas las prendas homologadas deberán llevar el sello reglamentario.

- Protecciones colectivas.

#### VALLAS AUTÓNOMAS DE LIMITACIÓN Y PROTECCIÓN.

Podrán realizarse a partir de pórticos con pies derechos y dintel a partir de tabloncillos embridados, firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tabloncillos. Estos elementos también podrán ser metálicos.

#### REDES PERIMETRALES

Para la protección del riesgo de caídas al vacío por el borde perimetral se utilizarán pescantes tipo horca.

El extremo inferior de la red, se anclará a horquillas de hierro previamente embebidas en el forjado. Las redes serán de poliamida, protegiendo las plantas de trabajo. La cuerda de seguridad será como mínimo de 10 mm de diámetro, y los módulos de red serán atados entre sí, con cuerda de poliamida como mínimo de 3 mm de diámetro.

El desencofrado se protegerá mediante redes de la misma calidad ancladas al perímetro de los forjados.

#### REDES VERTICALES.

En protecciones verticales de cajas de escaleras, voladizos de balcones, cláusula de acceso a planta desprotegida, forjados una vez desencofrados y hasta la construcción del cerramiento, etc., se utilizarán redes verticales (tipo teris), ancladas a los forjados respectivos y a los pilares o puntales colocados a tal efecto.

## REDES HORIZONTALES.

Se colocarán para proteger la posible caída de personas u objetos en patios, huecos de escaleras, etc.

## BARANDILLAS.

Las barandillas rodearán el perímetro de la planta encofrada, si no se utiliza otro medio, como las redes verticales antes descritas, y deberán tener la suficiente resistencia para garantizar la retención de personas.

Cables de sujeción de cinturón de seguridad y sus anclajes.

Tendrán suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que puedan ser sometidos de acuerdo con su función protectora.

Todos los operarios deberán ser instruidos sobre las formas correctas de utilización y colocación, por parte del encargado de los trabajos.

Antes de su utilización, deberán revisarse todos los elementos constituyentes del cinturón, sobre todo el elemento de amarre. Cuando existan dificultades para fijar un punto de anclaje, se utilizarán dispositivos anticaída.

## PLATAFORMAS DE TRABAJO.

Tendrán como mínimo 60 cm de ancho, y las situadas a más de 2 metros del suelo, estarán dotadas de barandillas de 90 cm de altura, listón intermedio y rodapié.

Los elementos que las compongan, se fijarán a la estructura portante, de modo que no puedan darse basculamientos, deslizamientos u otros movimientos peligrosos.

Si se realizara con madera, ésta será sana, sin nudos ni grietas que puedan dar lugar a roturas, el espesor mínimo será de 5 cm. Si son metálicas deberán tener una resistencia suficiente al esfuerzo a que van a ser sometidas.

Se cargarán únicamente los materiales necesarios para asegurar la continuidad del trabajo.

#### PLATAFORMAS VOLADAS.

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes, apoyándose en superficies planas y resistentes. Si son de madera, los largueros serán de una sola pieza, los peldaños estarán ensamblados en los largueros (no solamente clavados), y no deberán pintarse, salvo con barniz transparente.

Queda prohibido el empalme de escaleras si no cuentan con elementos especiales para ello. No salvarán más de 5 metros de altura si no están reforzadas en el centro, para salvar alturas superiores se adecuarán fijaciones en cabeza y base y se utilizará cinturón de seguridad o dispositivo anticaída.

#### ESCALERA DE MANO.

Deberán ir provistas de zapatas antideslizantes.

#### SEÑALES DE TRÁFICO Y SEGURIDAD.

Estarán de acuerdo con la normativa vigente.

#### TOPES PARA LA DESCARGA DE VEHÍCULOS A DISTINTO NIVEL.

Se podrán realizar con un par de tablones embridados, fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

#### INTERRUPTORES DIFERENCIALES.

La sensibilidad mínima de los interruptores diferenciales, será para alumbrado de 30mA y para fuerza de 300mA.

### TOMA DE TIERRA.

La resistencia de la toma de tierra no será superior a la que garantice de acuerdo con la sensibilidad del interruptor diferencial, una tensión máxima de contacto de 24V.

La red de tierra, se realizará con cable de cobre desnudo, trenzado de 50mm<sup>2</sup> y pica de acero o cobre desnudo, trenzado de 50mm<sup>2</sup> de 2 metros de longitud y 3/4 de diámetro.

### EXTINTORES DE INCENDIOS.

Serán adecuados al agente extintor y tamaño al tipo de incendio previsible, y se revisarán periódicamente.

- Servicios de protección.

### SERVICIO TÉCNICO DE SEGURIDAD E HIGIENE.

La empresa constructora dispondrá de asesoramiento técnico de seguridad e higiene.

El contratista deberá presentar antes de su implantación en obra y posteriormente con la periodicidad exigida, los siguientes documentos:

- Lista de personal, detallando los nombres de los trabajadores que pertenecen a su plantilla y van a desempeñar los trabajos contratados, indicando los números de afiliación a la Seguridad Social. Dicha lista debe ser soportada para el caso de Sociedades Cooperativas por la fotocopia de la matriz individual del talonario de cotización de la Mutualidad Laboral de Trabajadores Autónomos de la Industria, con la fotocopia de A-22 de alta en la Seguridad Social; o en su defecto fotocopia de la inscripción en el Libro de Matrícula para el resto de sociedades.
- Asimismo deberá indicar posteriormente todas las altas y bajas que se produzcan de acuerdo con el procedimiento del epígrafe anterior.

- Fotocopia de los ejemplares oficiales de los impresos de liquidación TC1 y TC2 del Instituto Nacional de la Seguridad Social, o en caso de Sociedades Cooperativas la matriz de los talones de cotización a la Mutua Laboral de los Trabajadores Autónomos de la Industria, debidamente diligenciada como abonos, correspondiente a las últimas mensualidades ingresadas en el periodo voluntario de cobro. Posteriormente dichas mensualidades se presentarán antes del día 10 de cada mes.
- Seguro de responsabilidad civil de todos los vehículos y maquinaria que trabaje o tenga acceso directo al área de trabajo. No se permitirá el acceso al trabajo de ningún vehículo o maquinaria sin este requisito.
- El contratista presentará copias de las pólizas de seguros mencionados.
- Servicio médico. La empresa constructora dispondrá de un servicio médico de empresa propio o mancomunado.
- Instalaciones médicas. La obra dispondrá de botiquín portátil instalado en las oficinas. Los servicios médicos del contratista (propios o mancomunados) revisarán mensualmente el contenido del botiquín, reponiendo inmediatamente todo lo utilizado o consumido.

#### 3.13.4. CONDICIONES FACULTATIVAS

- Normativa legal de aplicación.

La edificación, objeto del Plan de Seguridad y Salud, estará regulada a lo largo de su ejecución por los textos que a continuación se citan, siendo de obligado cumplimiento para las partes implicadas.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 de 8 de Noviembre (se prestará especial atención a los puntos que se detallan).

Real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre de 1997. Este Real Decreto tiene por objeto establecer la aplicación concreta de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, al sector de la construcción y su vigencia comenzará a partir del día 25 de Diciembre de 1997, coincidiendo con los dos meses de su publicación, tal como establece la disposición final tercera.

Esta nueva norma deroga expresamente el Real Decreto 555/1986, modificado por el Real Decreto 84/1990, que implantó el Plan de Seguridad y Salud en los proyectos de edificación y obras públicas que, no obstante, será de aplicación en todos aquellos proyectos visados por los Colegios profesionales correspondientes aprobados por las administraciones públicas antes de la entrada en vigor del nuevo Real Decreto.

- Obligaciones de las partes implicadas.

El autor del encargo adoptará las medidas necesarias para que el Plan de Seguridad y Salud quede incluido como documento integrante del proyecto de ejecución de obra. Dicho Plan de Seguridad y Salud será visado en el Colegio profesional correspondiente.

Asimismo, abonará a la empresa constructora, previa certificación de la dirección facultativa, las partidas incluidas en el documento presupuesto Plan de Seguridad. Si se implantasen elementos de seguridad, no incluidos en el presupuesto, durante la realización de la obra, estos se abonarán igualmente a la empresa constructora, previa autorización del autor del Plan de Seguridad y Salud.

El Plan de Seguridad que analice, estudie y complemente este Plan de Seguridad, contará de los mismos aparatos, así como la adopción expresa de los sistemas de producción previstos por el constructor, respetando fielmente el Pliego de Condiciones. Dicho Plan será sellado y firmado por persona con suficiente capacidad legal. La aprobación expresa del Plan y el representante de la empresa constructora con facultades legales suficientes o por el propietario con idéntica calificación legal.

La empresa constructora cumplirá las estipulaciones preventivas del Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la

infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas o empleados.

La dirección facultativa considera el Plan de Seguridad y Salud como parte integrante de la ejecución de la obra. A la Dirección Facultativa le corresponde el control y supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación de éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Periódicamente, según lo pactado, se realizarán las pertinentes certificaciones del presupuesto de seguridad, poniendo en conocimiento de la propiedad y de los organismos competentes, el incumplimiento, por parte de la empresa constructora, de las medidas de seguridad contenidas en el Plan de Seguridad y Salud.

Los suministradores de medios, dispositivos, máquinas y medios auxiliares, así como los subcontratistas, entregarán al jefe de obra, delegados de prevención y dirección facultativa, las normas para montaje, desmontaje, usos y mantenimiento de los suministros y actividades; todo ello destinado a que los trabajos se ejecuten con la seguridad suficiente y cumpliendo con la normativa vigente.

Los medios de protección personal, estarán homologados por organismo competente en caso de no existir éstos en el mercado, se emplearán los más adecuados bajo criterio del Comité de Seguridad y Salud o Delegación de Prevención, con el visto bueno de la Dirección Facultativa, para la seguridad.

## COMITÉS DE SEGURIDAD Y SALUD. DELEGADO DE PREVENCIÓN DE SEGURIDAD

El comité de Seguridad y Salud es el órgano paritario y colegiado de participación destinado a la consulta regular y periódica de las actuaciones de la empresa en materia de prevención de riesgos.

Se constituirá un Comité de Seguridad y Salud en todas las empresas o centros de trabajo que cuenten con 50 o más trabajadores.

El comité estará formado por los delegados de prevención, de una parte, y por el empresario y/o su representante en número igual al de los delegados de prevención de la otra.

En las reuniones del Comité de Seguridad y Salud participarán, con voz pero sin voto, los delegados sindicales y los responsables técnicos de la prevención de la empresa que no estén incluidos en la composición a la que se refiere el párrafo anterior. En las mismas condiciones podrán participar trabajadores de la empresa que cuenten con una especial cualificación o información respecto de concretas cuestiones que se debatan en este órgano y técnicos en prevención ajenos a la empresa, siempre que así lo solicite alguna de las representaciones en el Comité.

El Comité de Seguridad y Salud se reunirá trimestralmente y siempre que lo solicite alguna de las representaciones en el mismo. El Comité adoptará sus propias normas de funcionamiento.

Las empresas que cuenten con varios centros de trabajo dotados de Comité de Seguridad y Salud podrán acordar con sus trabajadores la creación de un Comité Intercentros, con las funciones que el acuerdo le atribuya.

## COMPETENCIAS Y FACULTADES DEL COMITÉ DE SEGURIDAD Y SALUD

El Comité de Seguridad y Salud tendrá las siguientes competencias:

- Participar en la elaboración, puesta en práctica y evaluación de los planes y programas de prevención de riesgos en la empresa. A tal efecto, en su seno se debatirán antes de su puesta en práctica y en lo referente a su incidencia en la prevención de riesgos, los proyectos en materia de planificación, organización del trabajo e introducción de nuevas tecnologías, organización y desarrollo de las actividades de protección y prevención y proyecto y organización de la formación en materia preventiva.
- Promover iniciativas sobre métodos y procedimientos para la efectiva prevención de los riesgos, proponiendo a la empresa la mejora de las condiciones o la corrección de las deficiencias existentes.

## DELEGADOS DE PREVENCIÓN

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo.

Los Delegados de Prevención serán designados por y entre los representantes del personal, en el ámbito de los órganos de representación previstos en las normas a que se refiere el artículo 34, Ley 31/95, con arreglo a la siguiente escala:

De 50 a 100 trabajadores	2 Delegados de Prevención
De 101 a 500 trabajadores	3 Delegados de Prevención
De 501 a 1000 trabajadores	4 Delegados de Prevención
De 1001 a 2000 trabajadores	5 Delegados de Prevención
De 2001 a 3000 trabajadores	6 Delegados de Prevención
De 3001 a 4000 trabajadores	7 Delegados de Prevención
De 4001 en adelante	8 Delegados de Prevención

En las empresas de hasta 30 trabajadores el Delegado de Prevención, será el delegado de personal. En las Empresas de 31 a 49 trabajadores habrá un Delegado de Prevención que será elegido por y entre los delegados de personal.

- a) Los trabajadores vinculados por contrato de duración determinada superior a un año se computarán como trabajadores fijos de plantilla.
- b) Los contratos por término de hasta un año se computarán según el número de días trabajados en el período de un año anterior a la designación. Cada 200 días trabajados o fracción se computarán como un trabajador más.

## COMPETENCIAS Y FACULTADES DE LOS DELEGADOS DE PREVENCIÓN

- a) Colaborar con la dirección de la Empresa en la mejora de la acción preventiva.
- b) Promover y fomentar la cooperación a los trabajadores en la

ejecución de la normativa y sobre la precisión de riesgos laborales.

- c) Ser consultados por el empresario con carácter previo a la ejecución acerca de las decisiones a que se refiere el artículo 33 de la presente Ley.
- d) Ejerce una labor de vigilancia y control sobre cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales.

## GARANTÍA Y SIGILO PROFESIONAL DE LOS DELEGADOS DE PREVENCIÓN

Lo previsto en el artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores en materia de garantías será de aplicación a los Delegados de Prevención en su condición de representante de los trabajadores.

El tiempo utilizado por los Delegados de Prevención para el desempeño de las funciones previstas en esta Ley será considerado como de ejercicio de funciones de representación a los efectos de la utilización del crédito de horas mensuales retribuidas previsto en la letra e) del citado artículo 68 del Estatuto de los Trabajadores.

No obstante lo anterior, será considerado en todo caso como tiempo de trabajo efectivo, sin imputación al citado crédito horario, el correspondiente a las reuniones del Comité de Seguridad y Salud y a cualesquiera otras convocadas por el empresario en materia de prevención de riesgos, así como el destinado a las visitas previstas en las letras a) y c) del número 2 del artículo anterior.

El empresario deberá proporcionar a los Delegados de Prevención los medios y la formación en materia preventiva que resulten necesarios para la ejecución de sus funciones.

La formación se deberá facilitar por el empresario por sus propios medios o mediante concierto con organismos o entidades especializadas en la materia y deberá adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos, permitiéndose periódicamente si fuera necesario.

El tiempo dedicado a la formación será considerado como tiempo de trabajo a

todos los efectos y su coste no podrá recaer en ningún caso sobre los Delegados de Prevención.

## SERVICIO DE PREVENCIÓN

Nombramiento por parte del empresario de los trabajadores que se ocupen de las tareas de prevención de riesgos profesionales.

Protección y prevención de riesgos profesionales (Artículo 30 Ley 31/95).

En cumplimiento del deber de Prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la empresa.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer del tiempo y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a que están expuestos los trabajadores y su distribución en la misma, con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del Artículo 6 de la presente Ley.

Los trabajadores a que se refiere el párrafo anterior colaborarán entre sí y, en su caso con los servicios de prevención.

Para la realización de la actividad de prevención, el empresario deberá facilitar a los trabajadores designados el acceso a la información y documentación a que se refieren los artículos 18 y 23 de la presente Ley.

Los trabajadores designados no podrán sufrir ningún perjuicio derivado de sus actividades de protección y prevención de los riesgos profesionales en la empresa. En ejercicio de esta función, dichos trabajadores gozarán, en particular, de las garantías que para los representantes de los trabajadores establecen las letras a), b) y c) del artículo 68 y el apartado 4 del artículo 56 del texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

Esta garantía alcanzará también a los trabajadores integrantes del servicio de prevención, cuando la empresa decida constituirlo de acuerdo con lo dispuesto en el artículo siguiente.

Los trabajadores a que se refieren los párrafos anteriores deberán guardar sigilo profesional sobre la información relativa a la empresa a la que tuvieron acceso como consecuencia del desempeño de sus funciones.

En las empresas de menos de 6 trabajadores, el empresario podrá asumir personalmente las funciones señaladas en el apartado 1, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga la capacidad necesaria, en función de los riesgos a que estén expuestos los trabajadores y la peligrosidad de las actividades con el alcance que se determine en las disposiciones a que se refiere la letra e) del apartado 1 del artículo 6 de la presente Ley.

El empresario que no hubiere concertado el servicio previsto por una entidad especializada ajena a la empresa deberá someter su sistema de prevención al control de una auditoria o evaluación externa, en los términos que reglamentariamente se determinen.

Los servicios de prevención deberán estar en condiciones de proporcionar a la empresa el asesoramiento y apoyo que precise en función de los tipos de riesgos en ella existentes y en lo referente a:

- a) El diseño, aplicación y coordinación de los planes y programas de actuación preventiva.
- b) La evaluación de los factores de riesgos que pueden afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores en los términos previstos en el artículo 16 de esta Ley.
- c) La determinación de las prioridades en la adaptación de las medidas preventivas adecuadas y la vigilancia de su eficacia.
- d) La información de los trabajadores.
- e) La protección de los primeros auxilios y planes de emergencia.

- f) La vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del trabajo.

## ÍNDICES DE CONTROL

En esta obra se llevarán obligatoriamente los índices siguientes:

### *Índice de incidencia*

Definición: Número de siniestros con baja acaecidos por cada 100 trabajadores.

### *Índice de frecuencia*

Definición: Número de siniestros con baja acaecidos por cada millón de horas trabajadas.

### *Índice de gravedad*

Definición: Número de jornadas perdidas por cada accidente con baja.

## PARTE DE ACCIDENTES Y DEFICIENCIAS

Respetándose cualquier modelo normalizado que pudiera ser uso normal en la práctica del contratista; los partes y deficiencias observadas recogerán como mínimo los siguientes datos con una tabulación ordenada.

### a) Parte de accidente:

1. Identificación de la obra.
2. Día, mes y año en que se ha producido el accidente.
3. Hora de producción del accidente.
4. Nombre del accidentado.
5. Categoría profesional y oficio del accidentado.
6. Domicilio del accidentado.
7. Lugar (tajo) en que se produjo el accidente.
8. Causas del accidente.

9. Importancia aparente del accidente.
10. Posible especificación sobre fallos humanos.
11. Lugar, persona y forma de producirse la primera cura. (Médico, practicante, socorrista, personal de obra).
12. Lugar de traslado para hospitalización.
13. Testigos del accidente (verificación nominal y versiones de los mismos).
14. Como complemento de estas partes se emitirá un informe que contenga:
15. ¿Cómo se hubiera podido evitar?
16. Ordenes inmediatas para ejecutar.

b) Parte de deficiencias:

1. Identificación de la obra.
2. Fecha en que se ha producido la observación.
3. Lugar (tajo) en que se ha hecho la observación.
4. Informe sobre la deficiencia observada.
5. Estudio de mejora de la deficiencia en cuestión.

c) Estadísticas:

Los partes de deficiencia se dispondrán debidamente ordenados por fechas desde el origen de la obra hasta su terminación, y se complementarán con las observaciones hechas por el Comité de Seguridad y las normas ejecutivas dadas para subsanar las anomalías observadas.

Los partes de accidente, si los hubiere, se dispondrán de la misma forma que los partes de deficiencias.

Los índices de control se llevarán a un estadillo mensual con gráficos de dientes de sierra, que permitan hacerse una idea clara de la evolución de los mismos, con una somera inspección visual; en abscisas se colocarán los meses del año y en ordenadas los valores numéricos del índice correspondiente.

d) Seguro de responsabilidad civil y todo riesgo de construcción y montaje:

Será preceptivo en la obra, que los técnicos responsables dispongan de cobertura en materia de responsabilidad civil profesional; asimismo el contratista debe disponer de cobertura de responsabilidad civil en el ejercicio de su actividad industrial, cubriendo el riesgo inherente a su actividad como constructor por los daños a terceras personas de los que puede resultar responsabilidad Civil extracontractual a su cargo, por hechos nacidos de culpa o negligencia; imputables al mismo a las personas de las que debe responder; se entiende que esta responsabilidad civil debe quedar ampliada al campo de la responsabilidad civil patronal.

El contratista viene obligado a la contratación de un Seguro en la modalidad de todo riesgo a la construcción durante el plazo de ejecución de la obra con ampliación a un período de mantenimiento de un año, contando a partir de la fecha de terminación definitiva de la obra.

#### *NORMAS PARA CERTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD*

Una vez al mes la constructora extenderá la valoración de las partidas que, en materia de Seguridad se hubiesen realizado en la obra; la valoración se hará conforme al plan y de acuerdo con los precios contratados por la propiedad: esta valoración será visada y aprobada por la Dirección Facultativa para la seguridad y sin este requisito no podrá ser abonada por la Propiedad.

El abono de las certificaciones expuestas en el párrafo anterior se hará conforme se estipule en el contrato de obra.

Se tendrá en cuenta a la hora de redactar el presupuesto de este Plan, sólo las partidas que intervienen como medidas de Seguridad e Higiene, haciendo omisión de medios auxiliares, sin los cuales la obra no se podría realizar.

En caso de ejecutar en obra unidades no previstas en el presente presupuesto: se definirán total y correctamente las mismas y se les adjudicará el precio correspondiente procediéndose para su abono, tal y como se indica en los apartados anteriores.

En caso de plantearse una revisión de precios, el Contratista comunicará esta a la Propiedad por escrito, habiendo obtenido la aprobación previa de la Dirección Facultativa para la Seguridad.

## FORMACIÓN E INFORMACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Todos los trabajadores tendrán conocimientos de los riesgos que conlleva su trabajo, así como de las conductas a observar y del uso de las protecciones colectivas y personales, con independencias de la formación que reciban, esta información se dará por escrito.

Se establecerán las actas de autorización del uso de las máquinas, equipos y medios; de recepción de protecciones personales; de instrucción y manejo; de mantenimiento.

Se establecerán por escrito las normas a seguir cuando se detecte una situación de riesgo, por accidente o incidente.

De cualquier incidente o accidente relacionado con la seguridad y salud, se dará conocimiento fehaciente a la dirección facultativa.

En un plazo proporcional a la gravedad de los hechos. En el caso de accidente grave o mortal, dentro del plazo de las 24 horas siguientes. Se redactará una declaración programática sobre el propósito del cumplimiento de lo dispuesto en la materia de seguridad y salud, firmado por la máxima autoridad de la empresa constructora y el jefe de obra. De este documento tendrán conocimiento los trabajadores.

La Dirección Facultativa por ser la redactora del Estudio de Seguridad debe dar el visto bueno al Plan de Seguridad, pudiendo rechazarlo si no lo considera ajustado a dicho Estudio, o a la legalidad vigente.

Dicha Dirección Facultativa no autorizará el inicio de las obras en tanto no esté aprobado el Plan de Seguridad y designado el Vigilante de Seguridad.

### 3.13.5. CONDICIONES ECONÓMICAS

Las mediciones, calidades y valoración recogidas en el presente Estudio de Seguridad e Higiene podrán ser modificadas o sustituidas por alternativas propuestas por el contratista adjudicatario en el Plan de Seguridad, siempre que ello no suponga variación del importe total.

El abono de las distintas partidas del presupuesto de Seguridad e Higiene se realizará mediante certificaciones complementarias y conjuntamente a las certificaciones de obra, de acuerdo con las cláusulas del contrato de obra, siendo responsable la Dirección Facultativa de las liquidaciones hasta su saldo final.

## DOCUMENTO CUARTO: PRESUPUESTO

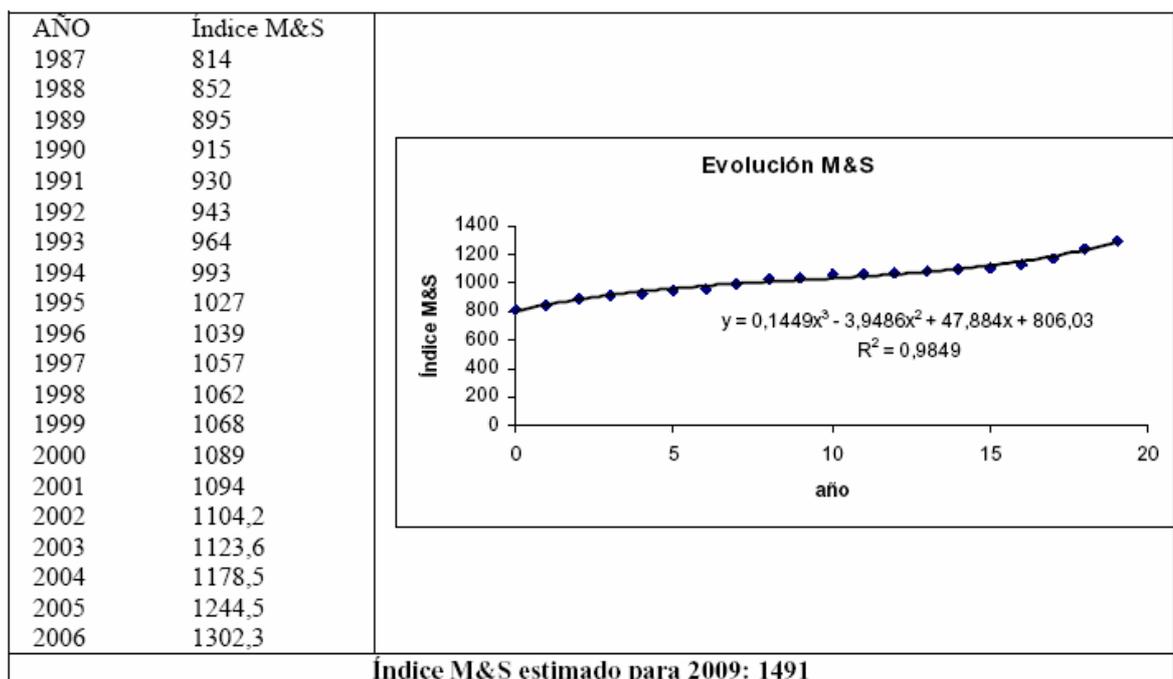
## PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.

Debido a que los suministradores de equipos industriales no facilitan información de precios a estudiantes no se ha podido contar con precios precisos de todos los equipos a la hora de elaborar el presupuesto, por lo que se han tenido que hacer estimaciones de precios mediante índices o por formulas encontradas en la bibliografía.

Para actualizar el precio de una unidad de la que se conoce un precio antiguo se utilizan los índices de coste de equipos de Marshal & Swift:

$$C = C_0 \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

C es el coste actual del equipo,  $C_0$  es el coste base histórico, I el índice de Marshal & Swift actual y  $I_0$  el índice base histórico.



Para equipos similares pero de distinta capacidad o tamaño se puede usar la siguiente relación:

$$C_B = C_A \left( \frac{S_A}{S_B} \right)^N$$

$C_B$  es el coste del equipo a utilizar,  $C_A$  es el coste del equipo conocido, la relación  $S_A/S_B$  es el factor de tamaño y  $N$  es una constante que depende del tipo de equipo.

Debido a la incertidumbre de los precios y el uso de índices, de manera general se aumentará el precio obtenido de cada equipo un 10% para compensar posibles errores.

A continuación se presentan los equipos que se van a utilizar en la planta así como otros precios a tener en cuenta, posteriormente se expone un cuadro de precios generales.

### **Unidad: Silo**

Empresa encargada: Prado T.M.

#### Características técnicas:

Material: CS 283 GRC

V. viento: 151 km/h

Volumen: 147 m<sup>3</sup>

A. reductor: 2,26 m

Densidad de cálculo: 1.500 kg/m<sup>3</sup>

A. techo: 1,31 m

Diámetro: 4,55 m

A. total: 12,10 m

Pendiente reductor: 47°

A. descarga: 0,64 m

A. cilindro: 7,90 m

#### Incluye:

- Escaleras de acceso a techo con defensa y plataforma intermedia de acceso lateral.
- Soportes en cúpula del silo.
- Patas.
- Indicador de nivel.
- Boca de hombre.
- Apertura de carga y descarga de 10".

### **Unidad: Tanque de sulfúrico**

Empresa encargada: Prado T.M.

#### Características técnicas:

Material: CS 283 GRC

Espesor mínimo: 10 mm

A. total: 10,39 m

Volumen: 75,72 m<sup>3</sup>

Densidad de cálculo: 1.190 kg/m<sup>3</sup>

Diámetro: 3,05 m

#### Incluye:

- Escaleras de acceso a techo con defensa y plataforma intermedia de acceso lateral.
- Recubrimiento interno de polipropileno reforzado con fibra de vidrio.
- Soportes en cúpula del silo.
- Patas.
- Indicador de nivel.
- Boca de hombre.
- Apertura de carga y descarga de 10".

### **Unidad: Fermentador**

Empresa encargada: TEISA

#### Características técnicas:

Material: SA-283 grado C

Volumen efectivo: 66,50 m<sup>3</sup>

Dimensiones: 3,40 x 7,04 m

Espesor de pared: 10,00 mm

A. fondo: 0,90 m

Espesor de fondo: 14,00 mm

Peso: 21 t

Potencia de agitación: 1,20 kW

D. circuito refrigeración: 5 cm en toda la pared

Radio tapa de cristal: 180 mm

Nivel sonoro: 75 dB

#### Incluye:

- Válvula de seguridad por sobrepresión.
- 7 válvulas monitorizadas controladas por autómata programable.
- 2 entradas superiores para carga superior embridadas.
- Medidores de pH y temperatura.
- Dos salidas para toma de muestras.
- Aislamiento de lana de roca.

- Caja de engranajes: salida de la serie 7.000 de lightin 130 rpm Morston 55 kl.
- MHDHT modelo 5TWG con 3 palas y motor.
- Conexión a la toma de aire por la caja de engranajes.
- Montaje de la unidad.

### **Unidad: Pre-Fermentadores**

Empresa encargada: TEISA

#### Características:

Fermentadores de 20 y 600 litros para la preparación del inóculo. Estas unidades poseen los mismos sistemas que los fermentadores anteriores.

### **Unidad: Filtro de aire**

Empresa encargada: FILTEC

#### Características técnicas:

Longitud: 2 m

Constante de filtración: 10

Extremos: embridados

#### Descripción:

Filtro de cartucho con preseparación centrífuga que separa las partículas interceptadas en la entrada de la unidad para trabajar sin apenas acumulación y con caudal elevado y constante. Regeneración fácil y alto grado de autolimpieza.

### **Unidad: Soplante de aire**

Empresa encargada: G. DISCO

#### Características técnicas:

Modelo: 16/01 TSK

Potencia: 12 kW

Tensión: 380 V/T

Velocidad: 3.500 rpm

Caudal máximo: 600 m<sup>3</sup>/h

Incremento de presión máximo: 600 mbar

Nivel sonoro: 105 dB

#### Descripción:

Aspira el aire exterior introduciéndolo en el circuito a alta presión venciendo fácilmente las pérdidas de carga de la línea. La conexión se realiza como una bomba. La toma de aire debe de situarse en el exterior y lo más alta posible para

que el aire sea lo más limpio posible. Se debe colocar un sistema que impida la entrada de agua por la toma.

**Unidad: Filtro rotatorio a vacío**

Empresa encargada: TEFSA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316	Nº de celdas: 24
Largo: 7.900 mm	Diámetro de tambor: 3.140 mm
Ancho: 4.700 mm	Anchura de tambor: 5.500 mm
Alto: 4.000 mm	Peso: 39 t
Área filtrante: 55 m <sup>2</sup>	Consumo: 8 kW.

Incluye:

- Descarga por cuerdas.
- Bombas y válvulas de filtrado y vacío.
- Recibidor de alimentación con motor de homogeneización.
- Sistema de lavado de torta.
- Cinta transportadora incluida.

**Unidad: Filtro rotatorio con precapa**

Empresa encargada: TEFSA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316	Consumo: 8 kW
Largo: 7.900 mm	Nº de celdas: 24
Ancho: 4.700 mm	Diámetro de tambor: 3.140 mm
Alto: 4.000 mm	Anchura de tambor: 5.500 mm
Área filtrante: 55 m <sup>2</sup>	Peso: 39 t

Incluye:

- Descarga por cuchilla.
- Bombas y válvulas de filtrado y vacío.
- Recibidor de alimentación con motor de homogeneización.
- Soplador de aire.
- Cinta transportadora de sólidos incluida.

**Unidad: Filtro rotatorio a vacío**

Empresa encargada: TEFSA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316	Nº de celdas: 20
Largo: 5.400 mm	Diámetro de tambor: 2.620 mm
Ancho: 4.100 mm	Anchura de tambor: 3.000 mm
Alto: 3.450 mm	Peso: 19 t
Área filtrante: 25 m <sup>2</sup>	Consumo: 6 kW

Incluye:

- Descarga por cuerdas.
- Bombas y válvulas de filtrado y vacío.
- Recibidor de alimentación con motor de homogeneización.
- Sistema de lavado de torta.
- Cinta transportadora incluida.

**Unidad: Filtro de banda de vacío**

Empresa encargada: TEFSA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316	Área filtrante: 40 m <sup>2</sup>
Largo: 20.000 mm	Alto: 3.000 mm
Ancho: 2.000 mm	Peso: 30 t
Consumo: 2,20 kW	

Incluye:

- Sistema de lavado de torta en contracorriente con recirculación de agua de lavado.
- Cinta transportadora incluida.

**Unidad: Lecho desmineralizador IONEX 38 DUPLEX**

Empresa encargada: CONDORCHEM IBÉRICA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-300	Capacidad de intercambio de resinas: 1-
----------------------------------	---

2 eq/L

Material columna: Poliéster reforzado Alto: 2,20 m  
con fibra de vidrio

Presión máxima de trabajo: 6 kg/cm<sup>2</sup> Largo: 1,70 m

Consumo: 2,20 kW Ancho: 0,80 m

Caudal alimentación: 4.000 L/h Volumen de resina: 500 L

Incluye:

- Manómetros para lectura de pérdidas de presión.
- Filtro FX en bolsa de polipropileno.
- Bomba de recirculación, centrifuga horizontal en acero A-316.
- Medidor de conductividad con alarma de máxima conductividad.
- Autómata programable para control de proceso y regeneración.
- Columna de carbón activado con sistema de contralavado manual.
- Depósito de reactivo de regeneración con control de nivel y válvulas.
- Sistema DUPLEX para el trabajo en continuo.

### **Unidad: Reactores**

Empresa encargada: TEISA

Características técnicas:

Material: SA-283 grado C

Volumen efectivo: 90 m<sup>3</sup> Espesor de fondo: 20 mm

Espesor de pared: 15 mm A. fondo: 0,90 m

Potencia de agitación: 1,70 kW D. circuito refrigeración: 5cm en toda la pared

Incluye:

- Válvula de seguridad por sobrepresión.
- 5 válvulas monitorizadas controladas por autómata programable.
- 2 entradas superiores para carga superior embridadas.
- Medidores de pH y temperatura.
- Dos salidas para toma de muestras
- Aislamiento de lana de roca.
- Caja de engranajes: salida de la serie 7.000 de lightin 130 rpm Morston 55 kl.
- MHDHT modelo 5TWG con 3 palas y motor.
- Montaje de la unidad.

### **Unidad: Evaporador**

Empresa encargada: APV

#### Características técnicas:

Material: Acero A-316

Área de transferencia: 174 m<sup>2</sup>

Nº tubos por efecto: 375

Alimentación: 16.000 kg/h

Diámetro de tubos: 35 mm

Consumo de vapor aprox.: 1.600 kg/h

Longitud de tubos: 4.000 mm

#### Incluye:

- Montaje de la unidad.
- Sistema de control semiautomático.

### **Unidad: Cristalizador APK-600**

Empresa encargada: APK

#### Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316

Caudal máximo: 1764 lb/hora

Largo: 1.850 mm

Alto: 3.180 mm

Ancho: 1.490 mm

Consumo: 40 kW

#### Incluye:

- Amplio acceso para limpieza del equipo.
- Microprocesador de control.
- Secuencia de inicio avanzada y mejorada.
- Tiempo de cristalización pre-programable.
- Válvula automática de entrada.
- Indicador de llenado.
- Limitador de seguridad de temperatura.
- Agitación horizontal para óptimo grado de cristalización.
- Capacidad de trabajo 24h al día.
- Cumple todas las normas de la CE.

### **Unidad: Secador**

Empresa encargada: ALLGAIER

#### Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316                      Área filtrante: 40 m<sup>2</sup>  
Largo: 15.000 mm                                      Alto: 3.000 mm  
Ancho: 2.000 mm                                      Peso: 35 t  
Tipo: Lecho fluidizado vibratorio

Incluye:

- Equipados con dispositivo limpiador CIP/WIP, sistema limpiador de tobera que facilita la limpieza automática, reduciendo el mantenimiento.
- Acondicionador de aire integrado (deshumedeado y calentado).
- Desarrollado especialmente para el secado de cristales de ácido cítrico.
- Filtro de cartucho para aire de salida integrado.
- Sistema de refrigeración de salida.

### **Unidad: Centrifugas**

Empresa encargada: Dorr Oliver

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316                      Velocidad: 500 a 3.600 rpm  
Largo: 1.930 mm                                      Alto: 2.387 mm  
Ancho: 1.295 mm                                      Potencia motor: 33 HP  
Consumo: 33 kW                                      Diámetro de malla: 150  
Nivel sonoro: 95 dB

### **Unidad: Pesadora-Ensacadora**

Empresa encargada: PYCMESA

Características técnicas:

Material: acero inoxidable A-316                      Consumo: 3 kW  
Rango de pesada: 10 a 80 kg                      Velocidad: 40 a 60 pesadas/minuto  
Precisión: ± 5 g                                      Tolva de llenado: hasta 500 kg

Incluye:

- Sistema de control con pantalla táctil con capacidad para 50 programas.
- Elevador de producto sin fin.
- Impresión de datos.
- Pedal de descarga.
- Nivel de control del elevador.

- Abrazadera de sujeción y selladora de sacos.

### **Unidad: Tolvas neumáticas**

Empresa encargada: SALVADOR ESCODA

Características: tolvas cónicas de descarga neumática de acero inoxidable con válvula de regulación en la parte inferior y sistema de descarga. Capacidad de 1.000 litros.

### **Unidad: Tolvas**

Empresa encargada: SALVADOR ESCODA

Características: tolvas cónicas de descarga manual de acero inoxidable con válvula de regulación en la parte inferior. Capacidades de 250, 300 y 500 litros.

### **Unidad: Calderas**

Empresa encargada: SALVADOR ESCODA

#### Características técnicas:

Modelo: GP 172/4

Tensión: 220 V

Presión máxima de trabajo: 6 kg/cm<sup>2</sup>

Velocidad: 3.500 rpm

Potencia: 172.000 kcal/h

Consumo: 200/4 kWh

Nivel sonoro: 95 dB

#### Características:

- Potencia y caudal regulable.
- Aislamiento térmico.
- Pintura epoxi al horno.
- Según reglamento eléctrico de baja tensión, normas ITIC y reglamento de recipientes sometidos a presión.

### **Unidad: Bombas**

Empresa encargada: EBARRA

#### Características técnicas

Bombas de agua ELINE: Material acero AISI 304. Motor trifásico de 0,75 kW, 6 bombas, 2 en repuesto.

Bomba de impulso abierto DWO: Material aluminio. Motor trifásico de 1,5 kW, 12 bombas, 3 en repuesto.

Línea de vapor: 2 bombas con motor Aire: 4 turbocompresores de aire de 0,5 trifásico de 2 kW, material acero AISI 304, 2 unidades de repuesto.

**Unidad: Válvulas y control**

Empresa encargada: G. DISCO

Características: sistema neumático mediante transductor. Controlador P.I.D. en todas las líneas con los setpoints establecidos.

**Unidad: Tuberías**

Empresa encargada: G. SAMEN

Características: Tuberías y accesorios de acero inoxidable. Incluida construcción, transporte, montaje y conexión por la empresa encargada. Tubería soldada excepto en entrada a unidades que estará embridada para facilitar el mantenimiento. Incluido el aislamiento térmico necesario. Accesorios con doble espesor para evitar su rotura por fricción. Se ha aumentado el coste en un 20% por material desperdiciado y coste de mano de obra.

**Unidad: Tolvas neumáticas**

Empresa encargada: SALVADOR ESCODA

Características: Tolvas cónicas de descarga neumática de acero inoxidable con válvula de regulación en la parte inferior y sistema de descarga. Capacidad de 1.000 litros.

**Unidad: Estructura metálica**

Empresa encargada: CUBRIMETAL

Características:

- Fabricada en acero con las medidas especificadas en los planos.
- Planta doble con soporte de vigas IPN.
- Suelo antideslizante de 2 cm de grosor con huecos de 5x5 cm separados 5 mm entre sí.
- Red de protección anticaída de objetos a 0,50 m del rasante superior.

**Unidad: Montacargas**

Empresa encargada: A.DOMINGO

Características:

- Capacidad para 1.000 kilos
- Velocidad 0,30 m/s
- Con cerramientos incluidos
- Potencia de 55 kW

**Unidad: Transpaletas**

Empresa encargada: G. DISCO

Características: Modelo HU-LIFT 20S Standard, capaz de elevar hasta 2.000 kg y modelo TSM 10 D1 RVX capaz de elevar hasta 1.000 kg.

**Unidad: Pallets**

Empresa encargada: CARPINTERÍA OLIVA

Características: Pallets de madera de 1,20 x 1 m

**Unidad: Parcela**

Empresa encargada: G. GARDEL INMOBILIARIA

Características: solar para uso industrial de 6.000 m<sup>2</sup> con red de alcantarillado y agua, situada en el polígono industrial de Guadalcaçín a pie de la carretera N-IV y cerca del aeropuerto de Jerez de la Frontera.

**Unidad: Lana de Roca**

Empresa encargada: ROCKWOOL

Características: coquillas para tubería de 10". Admiten hasta 750°C, revestida de aluminio con lengüeta autoadhesiva. Reacción al fuego: MO.

**Unidad: Cerramientos acústicos**

Empresa encargada: ROCKWOOL

Características: Paneles rígidos de lana de roca Alpharock 225, dimensiones 135x 60x3 cm. Certificación INCE LRP4.

**Unidad: Tolvas neumáticas**

Empresa encargada: SALVADOR ESCODA

Características: Tolvas cónicas de descarga neumática de acero inoxidable con válvula de regulación en la parte inferior y sistema de descarga. Capacidad de 1.000 litros.

**Unidad: Planta**

Empresa encargada: G. BRAVO

Características: Construida según las necesidades del proyecto y los planos. La empresa adecuará el terreno e instalará la red eléctrica, alumbrado y accesos.

Lista general de unidades y precios			
UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (€)
Silos y Depósitos	21.790,00	13	283.270,00
Depósitos de sulfúrico	31.646,00	14	443.044,00
Fermentador	192.000,00	10	1.920.000,00
Filtro de aire	1.470,00	4	5.880,00
Soplante	1.320,00	4	5.280,00
Filtro gases fermentación	1.092,00	10	10.920,00
Filtro rotatorio a vacío 55m <sup>2</sup>	135.050,00	1	135.050,00
Filtro rotatorio a vacío 25m <sup>2</sup>	94.800,00	1	94.800,00
Filtro rotatorio con precapa	141.800,00	1	141.800,00
Filtro de banda de vacío	191.680,00	1	191.680,00
Lechos desmineralizadores	22.270,00	2	44.540,00
Reactores 90 m <sup>3</sup>	286.685,00	2	573.370,00
Evaporador	133.120,00	2	266.240,00
Cristalizadores	5.260,00	2	10.520,00
Centrifuga	26.250,00	2	52.500,00
Secador	98.050,00	1	98.050,00
Empaquetado	5.880,00	1	5.880,00
Bombas	-	-	105.700,00
Pre-fermentadores	-	-	276.000,00
Tuberías	-	-	54.600,00
Válvulas y controladores	-	-	31.200,00

Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha. Presupuesto.

Tolvas neumáticas	1.600,00	4	6.400,00
Tolvas	540,00	6	3.240,00
Caldera de vapor	19.420,00	2	38.840,00
Estructura metálica	12.800,00	1	12.800,00
Montacargas	12.960,00	1	12.960,00
Transpaletas tipo 1	295,00	2	590,00
Transpaletas tipo 2	1.390,00	1	1.390,00
Parcela	92,15	6000	552.900,00
Pallets	7,50	60	450,00
Coquillas	31,00	100	3.100,00
Cerramiento acústico	9,50	750	3.411,00
Construcción de la planta	-	.	193.900,00
TOTAL			5.580.305,00

Firmado:

Francisco Javier Rivada Núñez

