



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN QUÍMICA
INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE 90 000 TON/AÑO DE
DIÓXIDO DE TITANIO**

Autor:

Hernández García, Borja

Tutor:

Martínez Marcos, Bernardo

Ingeniería Química

OCTUBRE — 2012



Borja Hernández García

ÍNDICE



Octubre 2012

0. ÍNDICE

1. Objetivos p.5

2. Antecedentes y Resumen p.7

2.1. Introducción

- 2.1.1. Fuentes naturales y sintéticas de dióxido de titanio
- 2.1.2. Toxicidad y deposición

2.2. Justificación del proyecto. Aplicaciones del dióxido de titanio

- 2.2.1. Dispersión de la luz azul
- 2.2.2. Estabilización de pigmentos
- 2.2.3. Aplicaciones fotocatalíticas y eléctricas
- 2.2.4. Esterilización
- 2.2.5. Tratamiento del cáncer
- 2.2.6. Absorbente de luz ultravioleta

2.3. Producción de dióxido de titanio

- 2.3.1. Producción y consumo
- 2.3.2. Descripción de la industria europea
- 2.3.3. Compañías productoras

2.4. Descripción general del proceso

2.4.1. El método del cloro

- 2.4.1.1. Material bruto
- 2.4.1.2. Cloración
- 2.4.1.3. Separación previa oxidación
- 2.4.1.4. Oxidación
- 2.4.1.5. Tratamiento de efluentes

2.4.2. Optimización del proceso

- 2.4.2.1. Material bruto
- 2.4.2.2. Coque
- 2.4.2.3. Inventario de cloro
- 2.4.2.4. Cloración
- 2.4.2.5. Recuperación de coque y cloruros
- 2.4.2.6. Condensado y purificación de $TiCl_4$
- 2.4.2.7. Oxidación, separación y enfriamiento
- 2.4.2.8. Recirculación de cloro

2.4.3. Descripción detallada de la parte proyectada (parte final del proceso)

- 2.4.3.1. Base de cálculo, condiciones iniciales
- 2.4.3.2. Enfriamiento de la mezcla (Cl_2-TiO_2)
- 2.4.3.3. Dimensionamiento: Intercambiador E-105
- 2.4.3.4. Separación sólido gas. Filtro de mangas F-101
- 2.4.3.5. Conducciones
- 2.4.3.6. Molido húmedo. Molino C-101
- 2.4.3.7. Secado. Secadero rotatorio E-107
- 2.4.3.8. Circuito auxiliar. Refrigerante
- 2.4.3.9. Molido seco. Molino C-102
- 2.4.3.10. Transporte de sólidos. Tornillos sin fin



Borja Hernández García

ÍNDICE



Octubre 2012

3. Balances de materia y energía a las dos reacciones principales p.55

- 3.1. Balance de materia
- 3.2. Balance de energía
- 3.3. Estudio de las reacciones del proceso

4. Cálculos y resultados de diseño p.61

- 4.1. Base de cálculo y condiciones iniciales
- 4.2. Velocidad límite de sedimentación de partículas esféricas
- 4.3. Dimensionamiento de intercambiador E-105
- 4.4. Dimensionamiento de filtro de mangas F-101
- 4.5. Conducciones de mezcla gas/sólido
 - 4.5.1. Primer tramo. Salida de horno a E-105
 - 4.5.2. Segundo tramo. E-105 a F-101
- 4.6. Caída de presión hasta F-101
- 4.7. Molido húmedo C-101
- 4.8. Secado E-107
- 4.9. Circuito auxiliar de refrigerante
 - 4.9.1. Intercambiador E-106
 - 4.9.2. Tuberías
- 4.10. Molido seco C-102
- 4.11. Transporte entre equipos. Tornillos sin fin

5. Hojas de especificaciones p.83

- Hoja de especificaciones 1: Intercambiador E-105
- Hoja de especificaciones 2: Filtro de mangas F-101
- Hoja de especificaciones 3: Molino de bolas C-101
- Hoja de especificaciones 4: Tornillo sin fin J-103
- Hoja de especificaciones 5: Tornillo sin fin J-104
- Hoja de especificaciones 6: Secadero rotatorio E-107
- Hoja de especificaciones 7: Tornillo sin fin J-105
- Hoja de especificaciones 8: Molino de bolas C-102
- Hoja de especificaciones 9: Tornillo sin fin J-106
- Hoja de especificaciones 10: Intercambiador E-106
- Hoja de especificaciones 11: Bomba centrífuga P-103 A/B
- Hoja de especificaciones 12: Línea de tubería 1
- Hoja de especificaciones 13: Línea de tubería 2
- Hoja de especificaciones 14: Línea de tubería 3
- Hoja de especificaciones 15: Línea de tubería 4
- Hoja de especificaciones 16: Línea de tubería 5
- Hoja de especificaciones 17: Línea de tubería 6

6. Informe de impacto ambiental p.109



- 6.1. Niveles de consumo y emisión
- 6.2. Energía y agua
- 6.3. Emisiones al aire
- 6.4. Emisiones al agua
- 6.5. Desechos sólidos
- 6.6. Normativa española BOE 2001

7. Pliego de condiciones p.119

- 7.0. Legislación. Elementos del contrato
- 7.1. Objetivo
- 7.2. Disposiciones generales
- 7.3. Plazos de ejecución
- 7.4. Desarrollo y control de los trabajos
- 7.5. Gastos de cuenta del contratista
- 7.6. Ingeniero director de obra
- 7.7. Recepciones, garantías, obligaciones del contratista
- 7.8. Garantía
- 7.9. Recepción
- 7.10. Prescripciones particulares
- 7.11. Referencias y normativas
- 7.12. y 7.13. Condiciones de materiales y equipos
- 7.14. Equipos a presión
- 7.15. Definiciones generales
- 7.16. Manual de diseño
- 7.17. Certificados
- 7.18. Proceso de fabricación
- 7.19. Legalización de aparatos a presión
- 7.20. Instalación
- 7.21. Inspecciones y pruebas
- 7.22. Placas identificativas
- 7.23. Elementos de seguridad
- 7.24. Pruebas en tuberías
- 7.25. Lavado de equipos
- 7.26. Servicios auxiliares
- 7.27. Medición y abono de obras
- 7.28. Ejecución de obras
- 7.29. Seguridad e Higiene

8. Estudio de seguridad y salud p.151

- 8.1. Higiene industrial. Conceptos básicos
- 8.2. Instalaciones de seguridad
- 8.3. Formación del personal
- 8.4. Revisiones
- 8.5. Emergencias



ÍNDICE



Borja Hernández García

Octubre 2012

8.6. Protección contra incendios	
8.7. Reglamento general sobre seguridad básica en el trabajo	
8.8. Accesos	
8.9. Maquinaria en el interior de la planta	
8.10. Prevención	
8.11. Almacenamiento de materiales	
8.12. Prácticas de revisión	
8.13. Equipos de protección personal	
8.14. Análisis de trabajo seguro	
8.15. Informes de accidentes	
8.16. Trabajos en altura	
8.17. Trabajos en caliente	
8.18. Trabajos en espacios confinados	
8.19. Orden y limpieza	
8.20. Manejo y disposición de residuos	
8.21. Reglas de protección civil: primeros auxilios y emergencias	
8.22. Fichas de seguridad de productos químicos	
8.22.1. Cloro	
8.22.2. Dióxido de titanio	
9. Presupuesto	p.171
9.1. Estimación de presupuesto para los equipos	
9.2. Estimación de presupuesto para instalaciones de control y tuberías	
9.3. Presupuesto total	
10. Bibliografía y formulario	p.177
10.1. Referencias teóricas generales	
10.2. Referencias para cálculo y dimensionamiento	
10.3. Formulario	
11. Planos y diagramas	p.183
11.1. Diagrama de bloques	
11.2. Diagrama de flujo del proceso global	
11.3. Diagrama de flujo de la parte final del proceso	
11.4. Diagrama P&I de la parte final del proceso	
12. Anexos	p.187



Borja Hernández García

OBJETIVOS



Octubre 2012

1. OBJETIVOS

La redacción de este proyecto fin de carrera responde al objetivo de describir las condiciones técnicas y constructivas de determinados equipos en la parte final del proceso de producción de dióxido de titanio, a través del método del cloro.

En particular, los objetivos a alcanzar son:

- Justificación del proyecto mediante el análisis de las diferentes aplicaciones que tiene el producto, dióxido de titanio.
- Descripción global del proceso de producción de dióxido de titanio mediante el método del cloro, identificando las partes principales del mismo en un diagrama de flujo del proceso.
- Describir, particularmente y en mayor detalle, la parte final del proceso, a partir de la salida de productos del horno de oxidación.
- Dimensionar óptimamente una serie de equipos y conducciones de la parte final del proceso, aplicando los conocimientos adquiridos. Concretamente, la refrigeración de los productos del horno de oxidación y los procesos de filtrado, molido y secado, así como las conducciones que los comunican, hasta la obtención del producto final.
- Analizar el impacto ambiental de una planta estándar de producción de dióxido de titanio por el método del cloro, así como el presupuesto requerido y el estudio de seguridad y salud.



2. ANTECEDENTES Y RESUMEN

2.1. Introducción

El dióxido de titanio, de fórmula TiO_2 , peso molecular 79.90, es un pigmento normalmente conocido como Pigmento Blanco 6 (índice de color 77891). Algunos de sus nombres comerciales son: Aeorixde, A-Fil Cream, Comet, Flamenco, Horse Head, Kemira, Tiofine, Titan, Tioxide, Ti-Pure, Titanium White o UV Titan.

Es un sólido a temperatura ambiente, insoluble en agua, HCl, HNO_3 o alcohol, pero soluble en ácido sulfúrico concentrado caliente, fluoruro de hidrógeno o álcalis. Funde a $1830^\circ C$ y ebulle entre 2500 y $3000^\circ C$. Es inerte, térmicamente estable y no inflamable. Tiene un alto índice de refracción y alta reflectancia. En recubrimientos ofrece tanto máxima opacidad como blancura y brillo. Pese a que su aplicación principal es la de pigmento, actualmente está siendo objeto de investigación y desarrollo por sus buenas propiedades fotoquímicas.

2.1.1 Fuentes naturales y sintéticas de dióxido de titanio

En la naturaleza aparece de distintas formas minerales, con la misma fórmula pero diferente estructura cristalina. Las más comunes son el rutilo y la anatasa, siendo esta última de menor densidad, aunque ambos minerales suelen contener impurezas similares y tienen propiedades muy parecidas. El rutilo es normalmente la fuente mineral preferida en la producción de TiO_2 , por su contenido de normalmente un 90-98% de dióxido de titanio, siendo el de la anatasa algo menor; 80-90%. A temperaturas mayores de $915^\circ C$ la anatasa se convierte en estructura de rutilo.



Figura 2.1: Polvo de dióxido de titanio



En ambas estructuras cristalinas el átomo de titanio está rodeado de seis átomos de oxígeno en formación aproximadamente regular, pero con organizaciones distintas. En el rutilo la estructura está girada entre cada uno de los cristales, mientras que en la anatasa la orientación es siempre la misma. La estructura más compacta del rutilo favorece su índice de refracción [Figuras 1.2, 1.3 y 1.4].

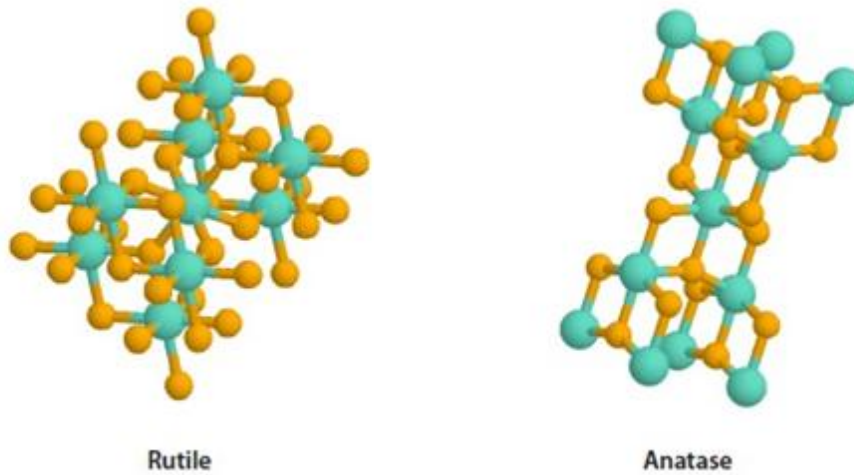


Figura 2.2: Estructuras de rutilo y anatasa

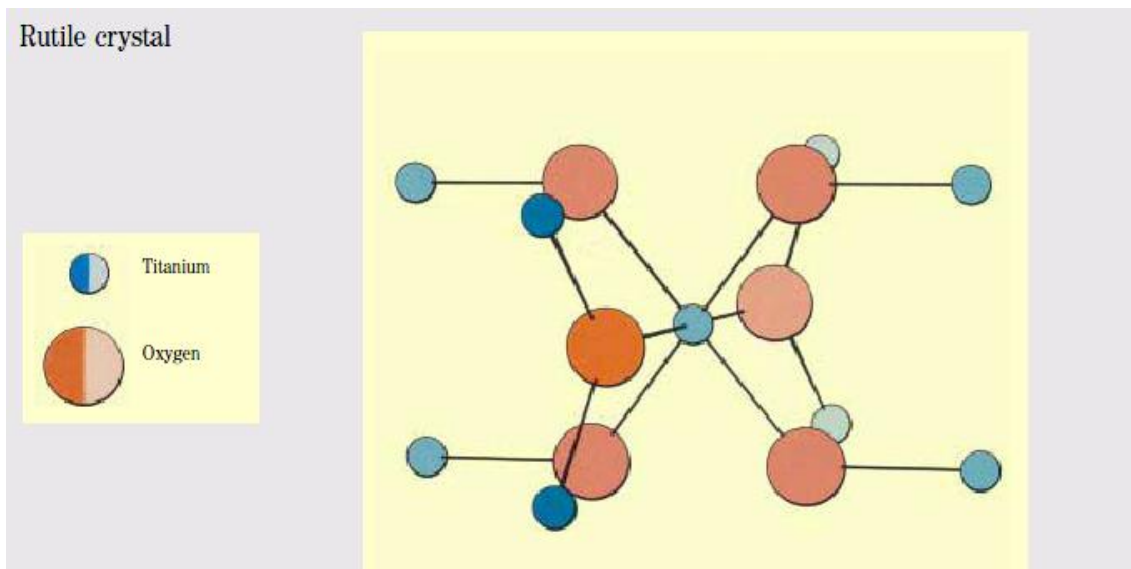


Figura 2.3: Estructura molecular del cristal de rutilo

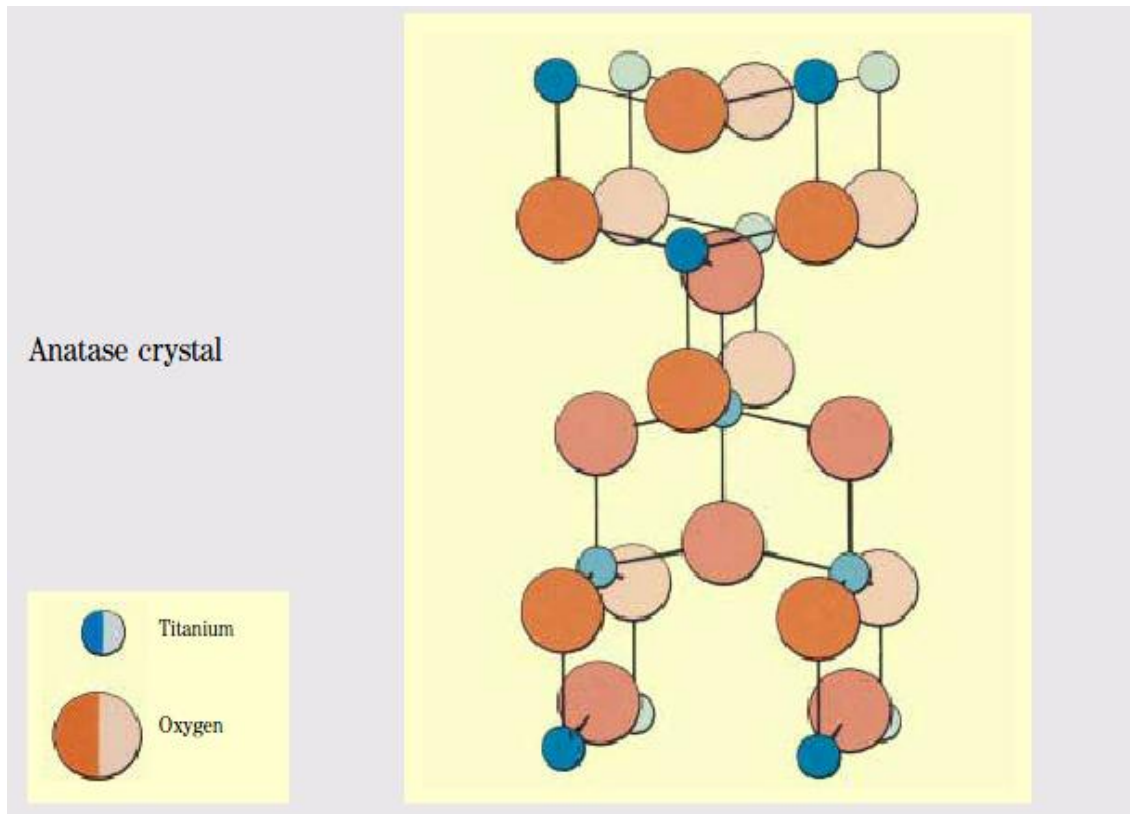


Figura 2.4: Estructura molecular del cristal de anatasa

La ilmenita es un mineral negro abundante de fórmula FeTiO_3 . Con una oxidación parcial del hierro y la eliminación de impurezas silíceas, se obtiene leucóxeno ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (+ TiO_2)). Tras este tratamiento, el contenido de TiO_2 en la ilmenita puede ser de entre un 45% y un 60%.

Además de los minerales naturales, existen minerales enriquecidos. Un ejemplo es la ilmenita enriquecida física o químicamente para aumentar su contenido en TiO_2 , siendo conocida como rutilo sintético. O la escoria de titanio, residuo proveniente de la extracción del hierro de la ilmenita o depósitos de magnetita, mediante reducción con coque, alcanzando el 70-75% TiO_2 .

Los grandes depósitos de mineral de dióxido de titanio suelen encontrarse asociados a rocas ígneas y arenas inconsistentes. Puede encontrarse anatasa, rutilo o brookita en sedimentos, especialmente en aquellos procedentes de zonas ricas en titanio. La ilmenita, sin embargo, suele proceder de arenas de playa, tanto en zonas existentes como fósiles. Las principales explotaciones se encuentran en Brasil, Canadá, Noruega, Rusia y Ucrania. También



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

existen grandes depósitos en las costas de Australia, en Nueva Zelanda, Sierra Leona, Suráfrica, o la costa este de China, el norte de Sri Lanka y sur de India, o en las zonas costeras de Malasia.

2.1.2. Toxicidad y deposición

Los seres humanos pueden verse expuestos al TiO_2 por inhalación, digestión, o contacto con la piel. Recientemente se ha visto envuelto en polémica por encontrarse restos en pulmones humanos, zonas gastrointestinales y especialmente, por su supuesta relación con cánceres de pulmón.

Los casos a estudio efectuados se limitan a sujetos altamente expuestos a dióxido de titanio. Su interpretación es complicada dada la coexistencia de otros compuestos, como puede ser humo de tabaco o sílice y la falta de información sobre las dosis a las que se hayan visto expuestos. Por tanto, las consecuencias precisas de la exposición crónica a dióxido de titanio son muy poco claras, especialmente comparándolas con los experimentos y pruebas realizados en animales.

Estudios elaborados por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) definen el límite de exposición respirada a TiO_2 en $15mg/m^3$. En 1988, el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) norteamericano recomendó clasificar al dióxido de titanio como potencialmente cancerígeno, y controlar su exposición en trabajadores, basándose en la observación de tumores en el pulmón en un estudio de inhalación en ratas de unos $250mg/m^3$ de TiO_2 ultrafino. Dos años más tarde, otro estudio sobre inhalación mostró un aumento significativo de estos cánceres de pulmón en ratas, con una exposición media mucho menor, de $10mg/m^3$ de ultrafino.

Sin embargo, estudios de 2003 no han encontrado una relación entre la exposición a TiO_2 respirable y el cáncer de pulmón en trabajadores de esta industria. De hecho, en 2006 la IARC (International Agency for Research on Cancer) determinó que si bien había evidencia de que el TiO_2 es cancerígeno en animales de laboratorio, no hay evidencia de que lo sea en humanos, clasificándolo como "Grupo 2B: Posible cancerígeno en humanos".

Estudios del NIOSH parecen indicar que tanto la estructura y tamaño como el recubrimiento al que se someta el dióxido de titanio durante su producción son elementos determinantes de su nivel de peligrosidad para la salud. Su toxicidad parece aumentar al aplicarle recubrimientos y al minimizar el tamaño de partícula, si bien las evidencias científicas son muy pobres. Aún así, y a pesar de que el NIOSH recomienda una exposición máxima de $2.4mg/m^3$ en finos y de $0.3mg/m^3$ en ultrafinos y nanopartículas para reducir los riesgos en los trabajadores, siguen sin existir pruebas concluyentes de que sea un potencial agente cancerígeno.



2.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO. APLICACIONES DEL DIÓXIDO DE TITANIO

La aplicación principal del dióxido de titanio es, como se ha visto en apartados anteriores, la de pigmento.

Para ser utilizado como pigmento, una sustancia debe cumplir una serie de condiciones. En primer lugar, no debe absorber luz en la región visible (380 y 780nm de longitud de onda, aproximadamente). Además, debe ser altamente polarizable, lo cual conlleva un alto índice de refracción. Por último, su diámetro de partícula debe ser aproximadamente igual a la longitud de onda de la luz incidente.

Los pigmentos de TiO_2 se producen con un tamaño de partícula de unos 300nm, óptimos pues para la luz visible. Si se reduce el tamaño, su capacidad de dispersión, requisito imprescindible para mantener su apariencia blanca, disminuye. Las nanopartículas de TiO_2 , de menor tamaño, pueden llegar a ser, a efectos prácticos, casi transparentes.

Aunque la capacidad de dispersar la luz es muy dependiente del tamaño de partícula, la absorción no lo es tanto. Por eso, a pesar de que las nanopartículas de TiO_2 pueden ser transparentes debido a su tamaño, tienen propiedades de absorción en la zona del ultravioleta similares a los pigmentos de TiO_2 , por lo que pueden ser utilizados para proteger de luz ultravioleta. Aún así, para este uso, su propiedad fotocatalítica debería ser anulada dopando las nanopartículas como veremos más adelante, o adicionando capas inorgánicas superficiales.

2.2.1 Dispersión de luz azul

Algunos de los usos de las nanopartículas de TiO_2 se centran en su capacidad de dispersar la luz azul, especialmente en el caso de recubrimientos metálicos. En estos casos, la luz es primero dispersada por las nanopartículas y luego reflejada por los pigmentos metálicos en el recubrimiento base. Los colores verde y rojo son directamente reflejados, mientras que el azul es primero dispersado y luego reflejado. A la vista, aparece un color amarillo, mientras que en una vista inclinada, aparece azul. Este efecto, mostrado en la figura 2.5, se conoce como "efecto hielo" o "frost effect".

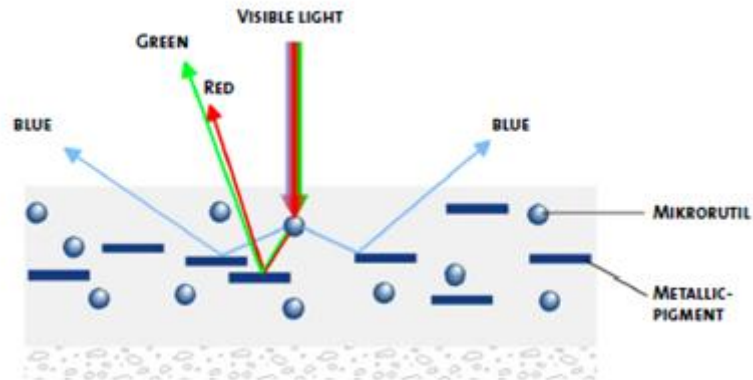


Figura 2.5: Efecto hielo

2.2.2. Estabilización de pigmentos

Otra de las aplicaciones de las nanopartículas de TiO_2 es la estabilización de otros pigmentos, para evitar la floculación en ciertos sistemas, como pueden ser poliéster-melanina. En estas resinas, el TiO_2 obtiene una superficie cargada positivamente. Añadiéndolas a los flóculos de otros pigmentos, introducen esta carga y fuerzan la repulsión, dando como consecuencia una distribución equitativa de las partículas en el sistema. Este efecto no sólo mejora la intensidad del color, también mejora sustancialmente su brillo [Figura 2.6].

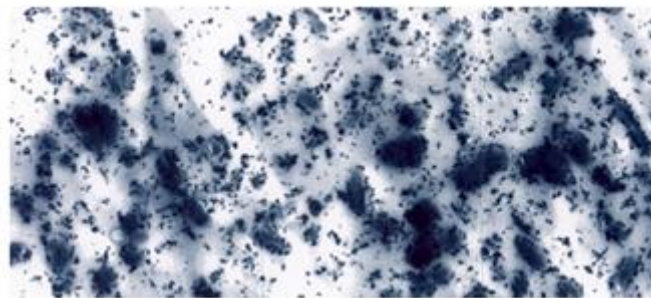


Figura 2.6: Pigmentos orgánicos coloreados, estabilizados por nano-partículas de TiO_2 en una base de poliéster-melanina

2.2.3. Fotocatalíticas y Eléctricas

Las propiedades eléctricas y fotocatalíticas de las nanopartículas de TiO_2 son de gran interés actualmente. Intrínsecamente, se trata de un semiconductor tipo n que, inmerso en un fluido electrolítico puede regular su concentración de defectos electrónicos. Dopado con cationes pentavalentes como el niobio+5 o vanadio+5 aumenta su concentración de electrones, pero dopado con iones trivalentes (hierro+3) se generan huecos y da lugar a un semiconductor tipo p. Según esto, cada partícula o superficie de TiO_2 puede ser considerada como una celda electroquímica a escala atómica.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

Las celdas solares fotoelectroquímicas, alternativas a la conversión fotovoltaica, son entonces otra de las aplicaciones posibles del dióxido de titanio. Estas celdas basan su funcionamiento en la unión de un semiconductor con un electrolito. Esta unión, sencilla de formar (contacto directo) supone una ventaja frente a uniones sólidas de las celdas solares. De hecho, los primeros usos de las celdas solares fueron electroquímicos y durante los años 70 se consiguieron celdas de este tipo con unos rendimientos aceptables. Los óxidos semiconductores, tradicionalmente, tienen un "gap" muy ancho entre bandas, por lo que solo aprovechan una parte mínima del espectro solar.



Figura 2.7: Aplicación de las celdas de Grätzel insertadas en la arquitectura del entorno

En 1991 se utilizó por primera vez un electrodo poroso de dióxido de titanio nanocrystalino, recubierto de una monocapa de compuesto orgánico con rutenio (que actúa como sensibilizador). Esta monocapa era capaz de absorber en un amplio rango del espectro solar, superando el problema del "gap" ancho y, a partir de su estado excitado, transferir electrones hacia el TiO_2 . La estructura del fotoelectrodo de dióxido de titanio es vital en estas celdas; ha de ser porosa y formada por nanopartículas. Los resultados obtenidos despertaron gran interés en la comunidad científica, existiendo ya relojes comerciales abastecidos por energía solar por medio de este tipo de celda, conocida como celda de Grätzel. Estas celdas han sido también aplicadas en ventanas o sustituyendo elementos arquitectónicos, donde pueden constituirse como fuentes energéticas de baños, anuncios electrónicos... [Figura 2.7].

El dióxido de titanio es por tanto un material fotoactivo, comportamiento propio de su semiconductividad. Irradiado con luz UV, sus electrones de la banda de valencia pasan a la banda de conducción haciéndolo por tanto un foto-semiconductor. La energía necesaria para este efecto depende del tipo de estructura, rutilo o anatasa. En el caso del rutilo, se requiere una energía de 3.05eV (correspondientes a una longitud de onda de 415nm), mientras que la anatasa requiere de 3.29eV (también 415nm).

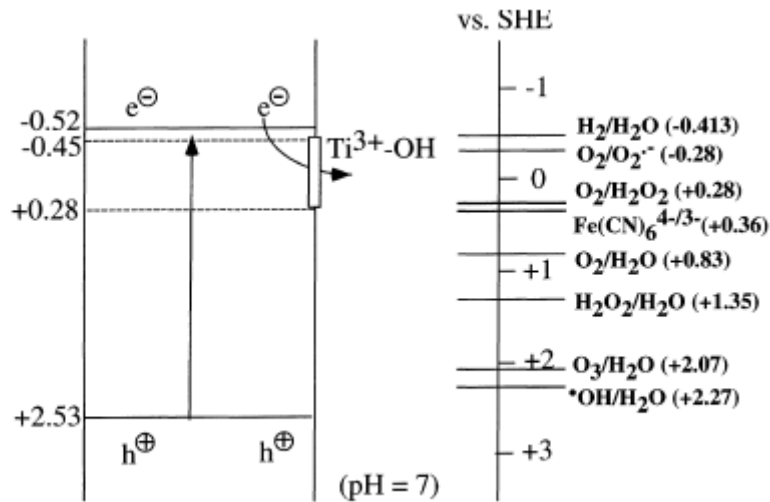


Figura 2.8: Diagrama de los potenciales de diversos procesos redox en la superficie del TiO_2 a pH 7

Desde este estado de excitación, el dióxido de titanio es capaz de oxidar su entorno primero, y en adición de humedad, de reducir oxígeno a radicales hiperóxidos [Figura 2.8]. Este efecto hace del TiO_2 muy útil como fotocatalítico [Figura 2.9] en, por ejemplo, purificación de aguas, o en celdas fotoelectroquímicas de fotólisis de agua para obtener hidrógeno.

Sus aplicaciones medioambientales han crecido exponencialmente desde que se descubrieran las capacidades del TiO_2 . Con el fin de evitar el uso de polvo de TiO_2 , que supone una separación posterior del medio a tratar, las investigaciones comienzan a centrarse en formas distintas de aplicar el dióxido en finas películas. En EEUU por ejemplo, se ha desarrollado un sistema de burbujeo para la limpieza de capas de aceites en agua, mediante burbujas recubiertas de TiO_2 , así como ventanas y pinturas "autolimpiables". Es esta otra novedosa aplicación en desarrollo, la llamada "autolimpieza" [Figura 2.10].

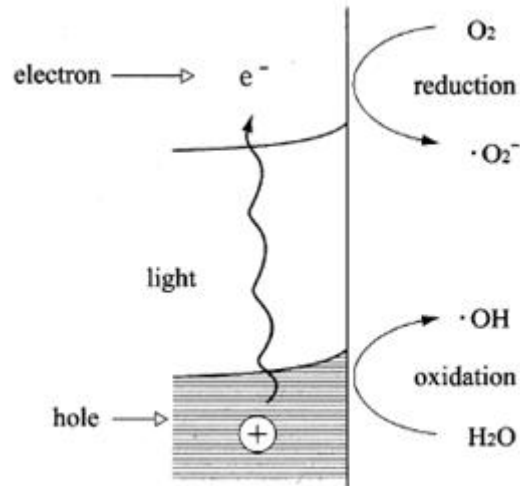


Figura 2.9: Actividad fotocatalítica del dióxido de titanio

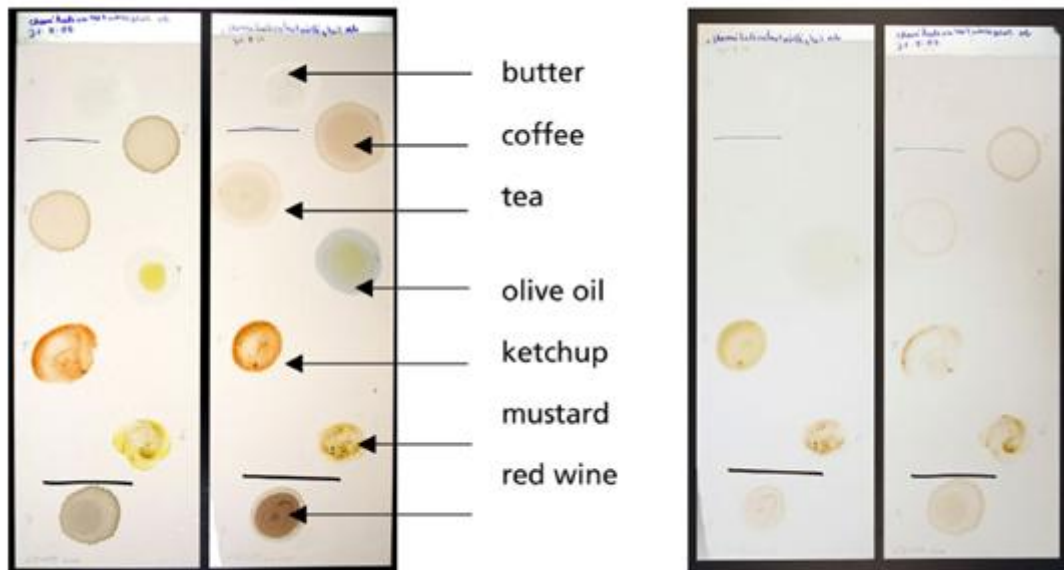


Figura 2.10: Diferentes manchas en tejidos tras aplicación de dióxido de titanio y 18 días de exposición solar

Al ser dopado con SiO_2 y tras iluminación con luz UV, los electrones reducen el Ti(IV) a Ti(III) , se crean vacantes de oxígeno y se crean grupos OH. Esto también ocurre si se hidrata una capa de óxido. Estos grupos OH sufren reacciones ácido-base y generan una carga superficial, responsable tanto de la interacción con iones inorgánicos como de macromoléculas (proteínas, lípidos, polisacáridos), además de tender a hacer más hidrofílica la superficie. El



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

problema a resolver por los investigadores es que estas superficies aumenten en durabilidad, dureza, y resistencia a los elementos. Explotar esta capacidad hidrofílica fotoinducida conlleva aún más aplicaciones, como por ejemplo la difusión en cristales para eliminar empañamientos por condensación de agua.

2.2.4. Esterilización

La eliminación de materia orgánica de la que es capaz el TiO_2 puede llegar hasta la esterilización de materiales. Los primeros trabajos en este campo comprendieron el tratamiento de suspensiones de bacteria *E. coli* en celdas recubiertas del dióxido e iluminadas por luz UV, obteniéndose resultados realmente rápidos. En una hora de iluminación se eliminaron las bacterias que normalmente se eliminarían en cuatro horas de exposición a luz UV sin TiO_2 .

2.2.5. Tratamiento de cáncer

La alta capacidad oxidante del dióxido de titanio fue de gran interés en los años 80, descubriéndose su capacidad para eliminar tumores cancerígenos. Esta aplicación, pese a que parece ser capaz de destruir células cancerígenas selectivamente en animales, necesita de desarrollo y no es efectiva para detener un cáncer que ha alcanzado un determinado tamaño.

Además de estos tratamientos, el TiO_2 puede tener más aplicaciones médicas en el replazo óseo o la ingeniería de tejidos. Tradicionalmente compuestos por titanio metálico y plásticos, los biomateriales compatibles con el organismo humano han dado paso a materiales cerámicos, como son la alúmina, el fosfato cálcico, vitrocerámicos, o el mismo dióxido de titanio. De hecho, en presencia de fluidos biológicos el titanio se autopasiva, generando una capa nanométrica de TiO_2 en su superficie, que ha resultado ser responsable de la alta biocompatibilidad y por tanto del extendido uso del titanio. Una interacción de calcio o fosfatos en la superficie de TiO_2 es de particular relevancia en implantes óseos.

Recientemente se ha propuesto el uso de superficies de TiO_2 , en forma de geles de monocristales, muestras policristalinas, e incluso andamiajes tridimensionales microporosos como material candidato al cultivo in-vitro. Se ha demostrado que estas superficies inducen a la agregación celular sin necesidad de recurrir a recubrimientos proteicos, generalmente usados para adherir células a sustratos en dicho cultivo.

También se ha descrito el uso del dióxido de titanio en aplicaciones vasculares para evitar fallos de prótesis coronarias o válvulas. Incluso, gracias a sus propiedades electroquímicas, se ha propuesto su utilización en neuro-prótesis. Sus capacidades físico químicas permiten incluirlo en el sistema nervioso, de modo que sea capaz de electroestimular y eliminar respuestas inflamatorias que derivan normalmente de implantar un material en el cuerpo humano.



2.2.6. Absorbente de luz ultravioleta

Otra posible aplicación del TiO_2 es la de absorbente de luz UV. Para tal efecto es necesario dopar con otros átomos metálicos y recubrir la superficie con materia inorgánica. De este modo puede evitarse la actividad fotocatalítica casi totalmente, de modo que estos compuestos absorbentes de luz UV se apliquen en cremas solares para proteger la piel humana, o materiales poliméricos que protejan una matriz interior como puede ser, por ejemplo, un recubrimiento transparente para madera.

2.3. PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO

2.3.1. Producción y consumo

Los pigmentos inorgánicos de dióxido de titanio se usan principalmente en la producción de pinturas, tintas, papel y productos plásticos [Figura 2.11]. El TiO_2 se usa también en muchos productos tanto blancos como coloreados, incluyendo alimentos, cosméticos,

cremas de protección solar, cerámicas, fibras y muchos más. Es de tan alta importancia como pigmento blanco gracias a sus propiedades reflectantes de la luz y su estabilidad química.

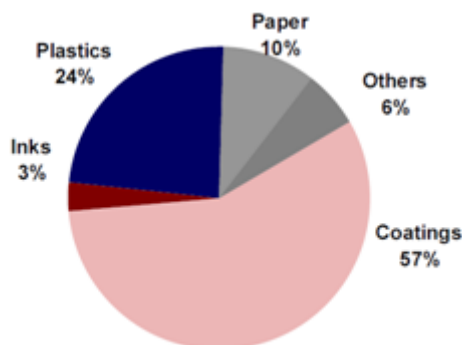


Figura 2.11: Distintos usos del dióxido de titanio

El dióxido de titanio se divide durante su producción en distintas fracciones según el tamaño de partícula, normalmente finos y ultrafinos, alrededor de 300 y 200nm de diámetro. Las partículas de diámetro menor de 100nm también se denominan "nanopartículas", normalmente desde 1 a 150nm. Debido a los avances en nanotecnología de los últimos años, se abre un abanico cada vez mayor de aplicaciones, investigaciones, y propiedades físico-químicas conforme a un material como éste puede obtenerse con menor tamaño. Es por eso que las aplicaciones del TiO_2 crecen exponencialmente hoy en día. Los métodos sintéticos para



fabricar cerámicas, fibras u otros materiales con contenido en TiO_2 a escala nanométrica como se verá posteriormente en el apartado de aplicaciones.

Los pigmentos de TiO_2 se producen mediante dos vías: el proceso con cloro, en el que se hace reaccionar minerales de titanio con cloro gas, y el proceso con azufre, en el que se hacen reaccionar estos minerales con ácido sulfúrico. Ambos métodos se usan en un amplio espectro de aplicaciones, aunque puede que para un determinado pigmento se prefiera uno al otro.

El consumo de TiO_2 en 1996 se cifraba en 3.4 millones de toneladas [Tabla 2.1], aumentándose ampliamente durante estos últimos años y llegando a casi 5 millones de toneladas en 2006. Es el pigmento mas importante en términos de cantidades. Su producción mundial en 2000 mediante los dos métodos se muestra en la [Tabla 2.2], y su consumo por países en las [Figuras 2.12 y 2.13].

Use	Consumption, kt	Percentage (%)
Coatings	1988	59
Paper	424	13
Plastics	686	20
Others	286	8
Total	3384	100

Tabla 2.1: Consumo de TiO_2 en 1996

Year	Sulphate process ⁽²⁾		Chloride process		Total kt per year
	kt per year	%	kt per year	%	
1965	1254	90.3	135	9.7	1389
1970	1499	77.4	437	22.6	1936
1977	1873	72.3	716	27.7	2589
1988	1781	60.2	1178	39.8	2959
1995	1481	46.0	1739	54.0	3220
2000 ⁽¹⁾	1540	40.0	2310	60.0	3850

(1) Estimated; (2) A number of plants based on the sulphate process have recently been commissioned in China.

Tabla 2.2: Aumento de la producción mundial de dióxido de titanio



TiO₂ Consumption

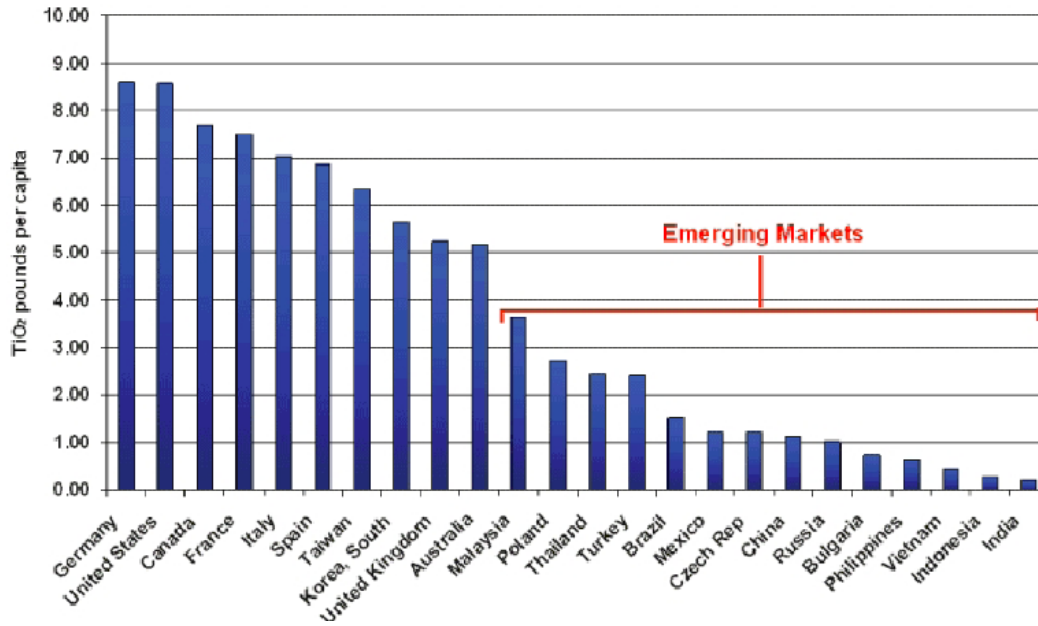


Figura 2.12: Consumo per cápita por países en 2006



World Consumption of Titanium Dioxide—2007

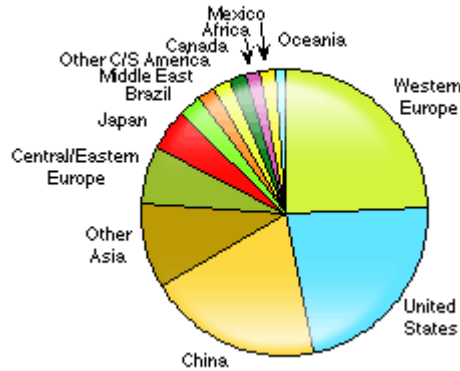


Figura 2.13: Consumo mundial en 2007

Country	Location	Capacity, kt per year		
		Chloride	Sulphate	Total
Germany	Leverkusen	100	30	130
	Nordenham		62	62
	Krefeld-Uerdingen		130	130
UK	Duisburg-Homberg		100	100
	Grimsby		80	80
	Greatham	100		100
France	Stallingborough	150		150
	Le Havre		95	95
	Thann		30	30
Finland	Calais		100	100
	Pori		120	120
Italy	Scarlino		80	80
Belgium	Langebrugge	60		60
Spain	Huelva		80	80
Netherlands	Rotterdam	55		55
Norway	Fredrikstad		30	30
Czech Republic	Prerov		41	41
Poland	Police		40	40
Slovenia	Celje		44	44
Total EU-25 + Norway		465	1062	1527

Note: Czech Republic, Poland and Slovenia – updated TiO₂ capacities.

Tabla 2.3: Capacidades de producción de TiO₂ de los países de la Unión Europea en 2002



2.3.2.Descripción histórica de la industria europea

Si bien los pigmentos basados en dióxido de titanio se producen desde la Primera Guerra Mundial, no fue hasta finales de los años 20 cuando la producción de pigmentos a partir de anatasa por el método del azufre tuvo salida comercial. Estos pigmentos reemplazaron rápidamente a los existentes, como el blanco de plomo, propiamente tóxico, gracias a sus propiedades superiores [Tablas 2.4 y 2.5]. Los pigmentos a partir de rutilo, generalmente con mejores propiedades, pero no aptos para todas las aplicaciones, comenzaron a comercializarse en los años 40.El método del cloro fue introducido a finales de los 50.

Tabla 2.4: Capacidad de tintado de algunos pigmentos blancos

Pigment	Tinting strength
Rutile TiO ₂	1850
Anatase TiO ₂	1350
Zinc sulphide	900
Antimony oxide	400
Lithopone 30%	300
Zinc oxide	200
White lead	100
China clay	< 100

Tabla 2.5: Índices de refracción de algunos pigmentos blancos

Pigment	Refractive index
Rutile TiO ₂	2.70
Anatase TiO ₂	2.55
Zinc sulphide	2.37
Antimony oxide	2.30
Lithopone 30%	1.84
Zinc oxide	2.02
White lead	2.00
China clay	1.57

Las ventas mundiales del pigmento alcanzaron 1 millón de toneladas en 1963, creciendo hasta casi 4 millones en los 90. Siguiendo la tónica económica mundial, el crecimiento de esta industria en Asia crece significativamente más rápido que el crecimiento medio mundial, alcanzando el 20% del mercado (América 38%, Europa 30%). La producción mundial se divide en aproximadamente un 45% por el método del azufre y un 55% por el de



cloro, con tendencia a aumentar este último y a ampliar las plantas existentes en lugar de instalar plantas nuevas.

2.3.3. Compañías productoras

En 2006 cinco empresas constituyen aproximadamente el 80% del mercado del dióxido de titanio [Figura 2.14]. A lo largo de los años 90 la industria ha tenido un exceso de capacidad y una intensa competencia entre productores. El mercado ha tendido a favorecer a las mayores empresas. Además, los precios hasta hace pocos años no se habían elevado lo suficiente como para justificar grandes inversiones en capacidad de producción. Estos factores conllevaron la consolidación reciente de la industria del TiO₂.

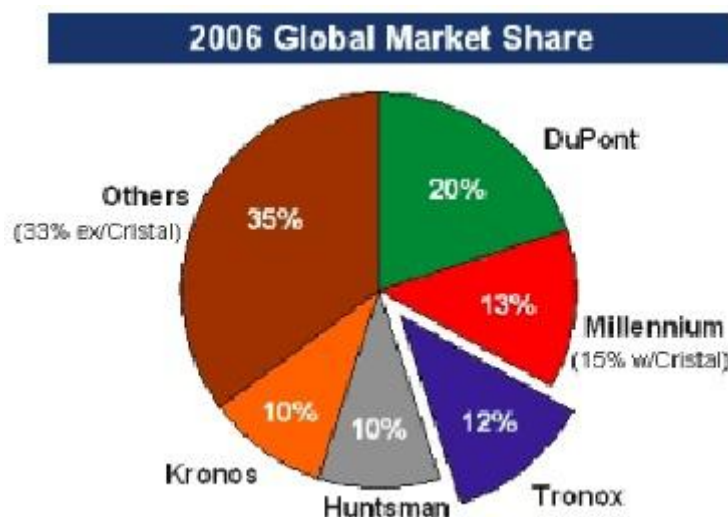


Figura 2.14: Reparto del mercado entre las diferentes compañías productoras (2006)

Las principales plantas europeas se sitúan por toda Europa, siendo la mayoría construidas entre 1948 y 1980, aunque todas han pasado por grandes reformas y mejoras durante los últimos 20 años. Algunas han sido incluso cerradas y reemplazadas por una nueva planta en el mismo lugar. La [Tabla 2.6] ilustra el aspecto general de la industria europea del TiO₂, y la [Tabla 2.7] muestra las instalaciones existentes en Estados Unidos. En particular, las plantas más antiguas, basadas en el método del azufre, han visto aumentado su coste de mantenimiento y reforma, para adaptarse a las normativas más estrictas de niveles de emisión. Con la situación económica actual, la tendencia no es de construir nuevas plantas sino el de expandir las existentes en caso de mayor demanda. De media, las mejoras destinadas a cumplir normativas medioambientales, han encarecido el coste de mantenimiento del 10 al 15%.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

Aún así y a pesar de los costes, en las últimas décadas se han conseguido cambios muy positivos en estas plantas a lo largo de la Unión Europea, ya sea adaptándose a la ISO 14001, comprometiéndose a programas de mejora medioambiental, publicando informes medioambientales anualmente...

Del total de 20 plantas de producción de TiO_2 en la UE, su tamaño oscila entre una producción de 30 000 a 150 000 toneladas al año. El total de producción en 2004, 1488 kilotoneladas al año, se dividía aproximadamente en un 69% usando el método del azufre y un 31% el del cloro. Mediante el método del cloro, la producción varía de 55 a 150 ktoneladas al año, es decir, entre 180 y 500 toneladas al día asumiendo 300 días operativos al año. [LVIC Large Volume Inorganic Chemicals, Agosto 2007: Titanium Dioxide]



Company	Location	Process route	Environmental Capex EUR million	Capex period	Factory start-up year
Company A	Fredrikstad, Norway	Sulphate	20	1988 to 1999	1916
	Langerbrugge, Belgium	Chloride ⁽¹⁾	75	1987 to 1999	1957 (SP) 1989(CP)
	Nordenham, Germany	Sulphate	70	1986 to 1999	1969
	Leverkusen, Germany	Chloride and Sulphate	125	1982 to 1999	1972 1927
Company B	Grimsby, UK	Sulphate	59	1990 to 1999	1948
	Greatham, UK	Chloride	19	1990 to 1999	1971
	Huelva, Spain	Sulphate	67	1990 to 1999	1973
	Calais, France	Sulphate	146	1990 to 1999	1967
	Scarlino, Italy	Sulphate	40	1985 to 1999	1974
Company C	Pori, Finland	Sulphate	96	1980 to 1999	1961
Company D ⁽²⁾	Rotterdam, the Netherlands	Chloride	160	1989 to 1999	1961 ⁽³⁾
	Uerdingen, Germany	Sulphate	34 200	1992 to 2000 up to 1991	1957
Company E	Stallingborough, UK	Chloride	61 ⁽⁴⁾	1987 to 2000	1968
	Le Havre, France	Sulphate			
	Thann, France	Sulphate	33	1989 to 2001	1922
Company F	Prerov, Czech Republic	Sulphate	15	1990 to 1999	1968
Company G	Duisburg, Germany	Sulphate	125	1987 to 1994	1962
Company H	Police, Poland ⁽⁵⁾	Sulphate	11	1995 to 2003	1977
Company I	Celje, Slovenia ⁽⁶⁾	Sulphate	?	?	?

(1) The Langerbrugge sulphate plant in Belgium was closed in 1989 and a chloride plant started up in 1989 on the same site.
(2) The Antwerp plant in Belgium was shut down in 2001 due to being too small a unit to run economically.
(3) The Rotterdam sulphate plant in the Netherlands was closed and a chloride plant started up in 1990.
(4) Including EUR 4.8 million on Stallingborough sulphate plant which was closed in 1996.
(5) Data on the Polish plant are based on new information submitted.
(6) The data which also need to be included in the EU-25 scale are those on the TiO₂ plant in Celje, Slovenia.

Tabla 2.6: Industria europea del dióxido de titanio: Localización de instalaciones



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

Facility Name	Facility Location	Production Process
1. Kemira Pigments, Inc. ¹	One Kemira Road PO Box 368 Savannah, GA 31402	Sulfate
		Chloride
2. Millennium Inorganic Chemicals Inc. (formerly SCM)	3901 Fort Armistead Road Baltimore, MD 21226	Sulfate
		Chloride
3. Kerr-McGee Chemical Corp.	40034 Kerr-McGee Road Hamilton, MS 39746	Chloride
4. Kronos/Louisiana Pigment Co.	3300 Bayou Dinde Road West Lake, LA 70669	Chloride
5. Millennium Inorganic Chemicals, Inc. Plant I	2900 Middle Road PO Box 310 Ashtabula, OH 44004	Chloride
6. Millennium Inorganic Chemicals, Inc. Plant II	2426 Middle Road PO Box 160 Ashtabula, OH 44004	Chloride
7. E.I. DuPont de Nemours & Co., DeLisle Plant	7685 Kiln-DeLisle Road PO Box 430 Pass Christian, MS 39571	Chloride-Ilmenite
8. E.I. DuPont de Nemours & Co., Edge Moor Plant	4600 Hay Road (Shipping) 104 Hay Rd. (Mailing) Edge Moor, DE 19809	Chloride-Ilmenite
9. E.I. DuPont de Nemours & Co., New Johnsonville Plant	One DuPont Rd. PO Box 2194 New Johnsonville, TN	Chloride-Ilmenite

Tabla 2.7: Productoras de dióxido de titanio en EEUU



2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

2.4.1. El método del cloro: Descripción general del proceso

En la actualidad el método del cloro es el preferido para producir dióxido de titanio a gran escala, por encima del método del azufre. Pese a contar con el inconveniente de manejar un material peligroso como es el cloro gas, existen muchos factores a favor de este proceso como el aprovechamiento del propio cloro por recirculación o los menores niveles de emisión de sustancias sólidas contaminantes. La consolidación del ácido clorhídrico o del tetracloruro de titanio como productos secundarios es otro factor a tener en cuenta. En conjunto, es actualmente el proceso más viable económica y energéticamente.

A pesar de diferenciarse en varios aspectos, tanto en el proceso basado en el azufre como en el del cloro, el polvo puro de TiO_2 se obtiene a partir de la extracción del mineral de titanio, que es molido y tratado para producir una amplia variedad de productos. En el diagrama de proceso pueden observarse las fases de este proceso: el material bruto entra en planta y se somete a cloración, obteniéndose TiCl_4 gas. Una vez separado de impurezas, este tetracloruro entra en un horno donde es oxidado a TiO_2 , contenido en una corriente de gas de la que debe ser separado para posterior tratamiento.

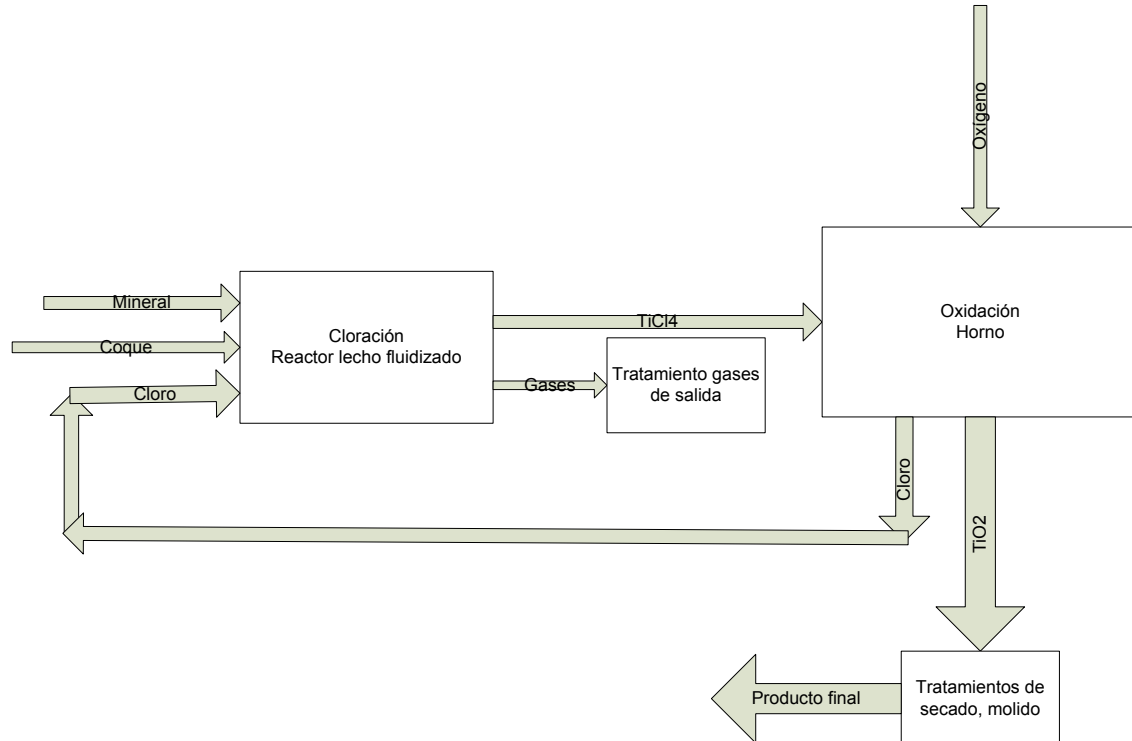


Figura 2.15: Diagrama básico de bloques del método del cloro



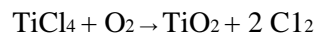
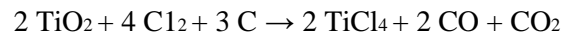
Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

Globalmente las reacciones que se dan son:



Como se ilustra en la [Figura 2.15] el cloro gaseoso se usa como intermediario en el proceso y es recuperado para ser reutilizado. Mediante el método del cloro se puede tratar un rango de minerales que va desde el rutilo natural (normalmente 95% TiO_2), hasta el sintético (90-93% TiO_2) pasando por escoria rica en titanio. Son preferibles minerales de alta pureza para minimizar las pérdidas de cloro, ya que las impurezas como el hierro en el mineral de alimentación conllevan una pérdida en forma de cloruros. Para una alimentación de mineral bajo en TiO_2 se requerirán grandes cantidades de cloro, que posteriormente debe ser tratado, aumentando todo ello el coste global.



Chloride process factory

Figura 2.16: Vista aérea de una planta de producción de TiO_2 por el método de cloro



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

2.4.1.1. Preparación del material bruto

Como material bruto tradicionalmente se ha usado rutilo de alto contenido en dióxido. Aún así en los últimos años se tiende a reemplazar este material por aquellos en los que el contenido en TiO_2 ha sido aumentado artificialmente, como minerales de hierro o rutilo sintético. Estas operaciones suelen realizarse en el propio lugar de extracción. Es por tanto labor de los proveedores de mineral ya tratado, el utilizar métodos aceptables para el medio ambiente, tanto de extracción como de tratado de deshechos (ISO 14001).

El mineral puede ser almacenado y apilado en almacenes cubiertos, y al estar normalmente húmedo tras los tratamientos, necesariamente ha de ser secado antes de hacerlo entrar en la planta de producción de TiO_2 . Normalmente y en caso de que esta humedad sea alta, este secado suele hacerse en secaderos de flujo de gas a unos 120°C . Actualmente, en ninguna de las plantas existentes en la UE se practica este secado si no que reciben el mineral relativamente seco, exceptuando una, donde el mineral y el coque rebosantes del clorador se recuperan en estado húmedo y han de ser secados para su reutilización. El material seco se extrae del flujo de gas mediante ciclones y filtros, listo para alimentar los cloradores.

En caso de necesitar secado, pueden producirse las usuales emisiones procedentes de un horno (NO_x , SO_x), aunque en realidad la mayor preocupación en la preparación de la alimentación suele ser la emisión de material en polvo durante su traslado. Pueden controlarse estas pérdidas transportando el mineral en sistemas cerrados a baja presión que además recojan el polvo en pequeños sistemas de ciclones y filtros.

La elección del material de alimentación depende de muchos factores (económicos, capacidad de la planta, calidad del producto deseada, costes, tratamiento de desechos...) y pueden variar a lo largo de la vida operativa de una planta. Se requerirá una alimentación de determinada pureza para cumplir una serie de especificaciones necesarias en el producto de salida. Uno de los factores principales es el de las impurezas, jugando la determinación de impurezas del mineral de titanio un importante papel en el proceso productivo.

Existen dos aspectos principales en esta determinación. Primero, algunos de estos materiales no deseados pueden influir en las características del producto final, especialmente en su color blanco y su brillo. El otro problema concierne a la radiación, a nivel de trazas, presentes en algunos de los minerales. Conocidos como NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), estos minerales ven sujeto su procesado a la Directiva Euratom 96/29, por lo que su manejo, disposición y deshechos son susceptibles de diversas mediciones y controles de exposición.

Cabe destacar que el otro material sólido bruto usado, el coque, se requiere en forma granular, para que sea apto en la fluidización en el proceso de cloración.



Otro de los materiales brutos involucrados, el cloro, ha de ser reciclado durante el proceso, manteniendo una reserva lo menor posible de cloro "limpio" en estado líquido. La naturaleza peligrosa del cloro determina el diseño básico del proceso, especialmente en su parte inicial, que debe estar cerrado y aislado, y operar en un punto óptimo de mantenimiento. Por ello normalmente se conoce a las primeras fases del proceso como "the black end". En Europa, estos procesos están controlados mediante las directivas Seveso II EU (1996) y Titanium Dioxide Harmonisation (1992), que detallan tanto el mantenimiento y control como las emisiones mínimas al medio ambiente. El cloro llega a la planta normalmente en redes de tuberías o mediante transporte por carretera, dependiendo de la localización de la planta.



Figura 2.17: Diagrama de bloques del proceso



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN

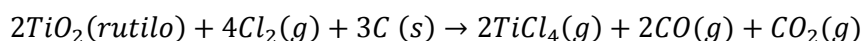


Octubre 2012

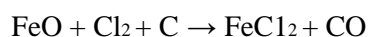
Por último, es esencial oxígeno puro en forma gas para asegurar la oxidación total del tetracloruro de titanio. Aunque puede ser obtenido directamente por tubería o mediante tanques, incluso manteniendo una reserva de O₂, puede ser efectivo económicamente disponer de una planta de licuefacción cercana a la de TiO₂. Además, el nitrógeno gas, obtenido de la misma forma, puede usarse en la planta como gas de purga o para eliminar la humedad.

2.4.1.2. Cloración

Se alimenta el mineral, que contiene TiO₂ y coque, a un reactor de lecho fluidizado donde ocurre una reacción exotérmica con cloro gas, a unos 1000°C. La reacción principal es:



Las impurezas, principalmente óxidos de hierro, reaccionan con un mecanismo similar:



Otras impurezas, como silicatos o zirconio, no reaccionan con el cloro, por lo que pueden almacenarse en el reactor. Aún así, se produce una adición de forma natural, y un arrastre de estos materiales en los gases de salida, que suele ser suficiente para eliminarlos y prevenir malfuncionamientos. El reactor suele requerir la renovación total del lecho aproximadamente una vez al año. También es posible, aunque muy poco común, recuperar el coque y el material bruto que no han reaccionado y reutilizarlo como alimentación.

2.4.1.3. Separación de sólidos/tratamientos previos a la oxidación

Los gases resultantes de tetracloruro de titanio junto a impurezas, normalmente cloruros metálicos volátiles, se enfrían con TiCl₄ frío reciclado, con lo que se eliminan algunas de estas impurezas.

Los cloruros metálicos sólidos suelen ser neutralizados con caliza, que los hace insolubles y favorece su sedimentación. Históricamente se han intentado procesos para tratar los cloruros metálicos y recuperar el cloro, con objeto de usar alimentación con un contenido en TiO₂ menor, como la ilmenita, pero comercialmente nunca se ha tenido éxito. Es posible, sin embargo, comercializar tanto el coque separado como el cloruro de hierro (FeCl₂).

La mayor parte de la corriente gaseosa de tetracloruro se condensa y bombea a una instalación dedicada a su almacenaje. Tras su posterior purificación por destilación, se almacena para uso en el proceso o comercialización. Mediante un lavado ("jet scrubbing") con tetracloruro frío se eliminan aún mas impurezas de la corriente de gases residuales, pasando después a un posterior tratamiento.



El oxiclورو de vanadio (VOCl_3) tiene propiedades térmicas similares al tetracloruro de titanio, entre ellas un punto de ebullición a similar temperatura (136°C) y no se separa mediante destilación usual ni por destilación fraccionada. Se consigue separarlo añadiendo la cantidad apropiada de aceite mineral u orgánico al líquido objeto de la destilación. El oxiclورو se compleja con este aceite y se separa en forma de fangos, de forma que puede ser recirculado a la separación de sólidos con caliza y eliminado de la corriente de proceso.

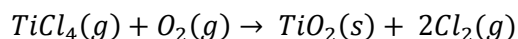
2.4.1.4. Oxidación

Desde la zona de almacenaje, tanto el tetracloruro líquido como el oxígeno son precalentados antes de mezclarse. El mecanismo de esta reacción de oxidación es ciertamente complejo, influyendo las condiciones decisivamente en el producto final. A grandes rasgos, puede decirse que la reacción tiene un rango amplio de temperaturas a las que puede darse (900 a 2000°C), tanto en un horno de arco de plasma como en un horno de tolueno, introduciendo el oxígeno por inyección [Figura 2.18].



Figura 2.18: Horno rotatorio (Kronos)

La reacción de oxidación es, sin entrar en detalle en su mecanismo:



Como se verá con más detalle, la fase de oxidación redonda directamente en el tamaño del cristal de TiO_2 y lo hace apto para sus diversas aplicaciones. Normalmente, las partículas surgidas de la oxidación tienen un diámetro máximo de 15-20 mm. El producto de la oxidación es una corriente mezcla de cloro, oxígeno y polvo de TiO_2 que, tras reaccionar, es enfriada indirectamente al aire en la propia salida del horno, normalmente en forma tubular, y posteriormente llevada a temperaturas cercanas a la ambiente, ya sea mediante refrigerantes industriales o con agua. Mediante filtros se extrae el dióxido y se transfiere a las fases finales de tratado [Figuras 2.19 y 2.20], que suelen comprender la eliminación de cloro, la suspensión en agua, molido húmedo, tratamiento superficial, filtrado, secado y un nuevo molido más fino.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

El molido húmedo y la suspensión en agua junto al resto de aditivos pueden aglutinarse en un único proceso. Para el secado, suele utilizarse el calor producido en el horno de combustión aprovechándolo para calentar una corriente de aire que circule por el secadero.

Para aumentar la durabilidad y evitar que el dióxido de titanio se "amarillee", así como ajustar su pH se suele tratar en superficie añadiendo pequeñas cantidades de materiales tales como hidróxido de sílice, titanio, zirconio, o aluminio. Este procedimiento suele efectuarse en continuo sobre la corriente húmeda de TiO_2 tras un primer molido. Es posible también aplicar un ligero tratamiento superficial orgánico, para mejorar la capacidad del material de disolverse o dispersarse en un mayor número de medios. En caso de efectuarse, este tratamiento comprende la adición de polioles, aminas o derivados siliconados durante el molido final.



Figura 2.19: Tratamiento superficial previo al molido

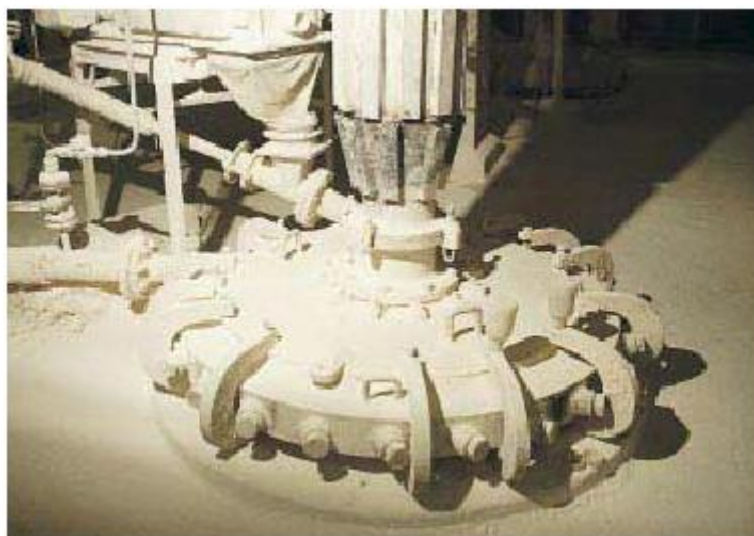


Figura 2.20: Molido húmedo



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

El cloro se recircula al clorador directamente o previa absorción/desorción en tetracloruro de titanio. Si se recircula directamente, la oxidación debe producirse a mayor presión que la cloración. Además se requiere que el proceso esté sincronizado de forma muy precisa. En el otro caso, se absorbe previamente en tetracloruro mediante una columna de absorción, almacenando el líquido y enviando los gases de cola a una serie de separadores para eliminar el cloro residual. El cloro desorbido a partir del tetracloruro líquido es recirculado a la cloración o bien almacenado de nuevo en forma líquida.

2.4.1.5. Tratamiento de gases, líquidos y sólidos de salida

Los gases de salida de la cloración (que incluyen monóxido de carbono, dióxido de carbono, cloruro de hidrógeno y tetracloruro de titanio) suelen tratarse mediante separadores en serie. El HCl se separa por absorción acuosa y los restos de cloro que puedan existir, por separación cáustica. Estas operaciones pueden hacerse con extractores por separado o bien por inyección directa de la sustancia cáustica en los separadores acuosos, en caso de detectarse cloro libre. El hipoclorito de sodio que suele producirse como consecuencia, puede ser comercializado o convertirse catalíticamente en agua salada y oxígeno.

Una práctica útil y bastante utilizada es producir, como consecuencia de estas primeras etapas de separación, HCl comercial usando agua desmineralizada como absorbente. En los últimos años, se tiende además a instalar convertidores termales para obtener dióxido de carbono y dióxido de azufre a partir del monóxido de carbono y sulfuro de carbonilo (COS) de los gases de salida.

Los sólidos de desecho procedentes de la cloración (principalmente cloruros metálicos, coque, y minerales) se neutralizan con fangos de caliza. Los metales precipitan y se estabilizan, la torta de filtro se desecha, y las soluciones acuosas se descargan al ambiente acuoso apropiado. Alternativamente, pueden tratarse los sólidos para convertirlos en ácido clorhídrico y óxidos, calentándolos en presencia de aire para formar HCl, y dejando los óxidos y el coque como residuo sólido. Para limpiar el enfriador posterior a la oxidación pueden usarse arenas, sal, o TiO_2 granular, separándolo después con filtros de arena y reutilizado.

Las emisiones líquidas del proceso pueden tratarse mediante diversas técnicas. Normalmente, son parte de los tratamientos destinados a separar y tratar sólidos y gases de salida, con efecto de neutralizar la acidez y precipitar sólidos solubles. La mayor proporción de efluentes de salida proviene de la sección final de la planta: soluciones ligeramente alcalinas de sulfuros metálicos y cloruros con sólidos en suspensión (partículas de TiO_2). La naturaleza de estos efluentes y su cantidad, derivados de la naturaleza del proceso completo y del mineral inicial, pueden hacer que el total pueda ser ácido o alcalino, por lo que existe un amplísimo abanico de tratamientos a considerar según la planta.

Un caso especial es del $TiCl_4$, que en algunas plantas puede comercializarse como subproducto. Para ello deberá existir una instalación específica de almacenaje (sujeta a la



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

Directiva Seveso II). Retirar cantidades de $TiCl_4$ del proceso puede ser rentable debido a que existe demanda de este compuesto, disminuye las cantidades a tratar en la parte final de la planta (permite instalaciones de oxidación, enfriamiento y separación más pequeñas) y ajusta el balance energético global de la planta.

2.4.2.OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO: FACTORES A CONSIDERAR

2.4.2.1.MATERIAL BRUTO

Dado que es necesario que el mineral de dióxido de titanio a tratar llegue en las condiciones óptimas, es recomendable asegurarse que entra en la planta con el menor nivel posible de impurezas, y un nivel de humedad menor del 0.3%, idealmente menor del 0.1%. El contacto y colaboración con los suministradores del mineral, o aquellos que lo transportan a la planta es por tanto crucial. Un almacenamiento cubierto lo protegerá de los elementos. Su secado, si es necesario, utilizará la energía proveniente de las diversas emisiones de combustión. La humedad baja del mineral minimiza las pérdidas de cloro en forma de HCl y resulta en una mayor conversión en tetracloruro de titanio.

Manejado en seco, es de esperar que el mineral desprenda grandes cantidades de polvo, por lo que se hará necesario cerrar al ambiente los elementos de reacción y transporte. Este es uno de los problemas principales en cualquier planta; el transporte del material seco. Normalmente se controla manejándolo en sistemas cerrados a baja presión con ciclones que incorporan microfiltros, con el objetivo de retener el polvo y reutilizarlo. Son necesarios una eficiente monitorización y control, así como rutinas de mantenimiento de estos colectores de polvo, para retirar su acumulado y minimizar las pérdidas.

2.4.2.2.COQUE

Para la cloración es necesario coque en forma granular, y especialmente, de bajo contenido en azufre. Un contenido alto en azufre repercute en la concentración de COS y, por tanto, en la de SO₂ en los gases de salida de la oxidación. Este es un problema que crece en importancia en los últimos años, puesto que la disponibilidad de coque con bajo contenido en azufres es muy limitada, e incluso el porcentaje medio de contenido de azufre en el coque comercial va aumentando (0.8 a 1.2% en 1999; 1 a 1.8% en 2005).

2.4.2.3.INVENTARIO DE CLORO

El cloro del proceso es normalmente reutilizado sin necesidad de tratarlo y mantenerlo líquido en tanques. La naturaleza peligrosa de este elemento es la propiedad que determina el diseño básico del proceso de producción de dióxido de titanio. En el "black end" del proceso, sus fases iniciales, debe estar totalmente cerrado y aislado.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

El principal objetivo en cualquier planta es el de mantener un inventario mínimo de cloro, mediante un plan de producción y un calendario de suministro adecuados. El peligro en caso de una fuga de cloro será mucho menor. Es especialmente importante la cooperación con el suministrador de cloro, puesto que un inventario bajo en la planta conllevará más operaciones de suministro por su parte.

2.4.2.4. CLORACIÓN

La puesta a punto óptima del reactor de lecho fluidizado, el control de temperatura, composición, velocidad y de los tiempos de reacción para evitar pérdidas de cloro, son las mejores técnicas para prevenir accidentes o pérdidas en esta sección. Actualmente se introduce una alimentación presurizada al clorador, directamente con cloro recirculado, a la velocidad óptima de fluidización. Se diseña el reactor para favorecer el mantenimiento rápido y minimizar los tiempos de parada no esperados, y tratar volúmenes pequeños.

Todo esto permite maximizar el uso del cloro recirculado y favorecer una conversión alta a tetracloruro, así como mantener operativo el reactor durante largo tiempo y minimizar las paradas para reemplazar el lecho. La limpieza de este lecho del reactor es uno de los puntos más importantes de cara al medio ambiente, por su contenido en sólidos procedentes del mineral y su difícil tratamiento dado su tamaño y cantidad de impurezas. Algunas opciones de mantenimiento suelen ser la de monitorizar la temperatura, incluir más de un reactor y mantenerlo en standby como reserva, intercambiándolos.

Todos los materiales deben entrar secos y libres de sustancias volátiles, para evitar la formación de HCl. La conversión del cloro es del 98%-100% mientras que el TiO_2 contenido en el mineral se convierte en un rango de 90-100%, normalmente alrededor del 97%. A la temperatura a la que sucede la cloración la mayoría de los cloruros metálicos formados son gases, excepto los de Mg y Ca. Por ello, el material bruto no debe superar ciertos valores de contenido en Mg y Ca, para evitar su adhesión al lecho fluidizado. Los reactores suelen necesitar un reemplazo total del lecho una vez al año. Los gases de salida, principalmente Cl_2 , CO, COS y HCl han de pasar por un tratamiento en serie de lavado, combustión y desulfuración.

Para quemar CO y COS suelen instalarse sistemas de oxidación termal que aprovechan el propio calor de los gases de combustión. A pesar de su ventaja energética, el uso de estos gases acaba produciendo malfuncionamientos en las tuberías y paradas no deseadas. En caso de usar gas natural para quemar el CO y COS se emiten CO_2 , SO_x y NO_x , que requieren también de tratamiento antes de salir a la atmósfera.

Existe además la posibilidad de que se forme una pequeña cantidad de furanos en el clorador y se adhieran al lecho o se arrastren hasta las etapas finales de tratamiento de sólidos de desecho. Las condiciones de reacción son óptimas para su formación: cloro, carbono y una



fuentes de calor. Son pues otra de las razones por las que la composición del lecho debe comprobarse minuciosamente.

2.4.2.5. RECUPERACIÓN DEL COQUE, $FeCl_2$ Y CLORUROS

Junto al $TiCl_4$ y los gases residuales de la reacción de cloración se descargan partículas sólidas de TiO_2 residual, SiO_2 , coque, y cloruros metálicos gaseosos. Esta corriente suele enfriarse con $TiCl_4$ frío, haciendo condensar a la mayor parte de cloruros para que sea posible su separación de la corriente principal. De existir un arrastre grande de mineral sin reaccionar y coque, puede ser una opción viable energéticamente recuperarlo. Normalmente, en estas etapas del proceso, se separa el coque y el cloruro de hierro para ser comercializados como subproductos. Aún así, es necesario un aporte extra de energía y se consume HCl , por lo que se requiere sopesar cuidadosamente su viabilidad. Según informes, pueden recuperarse 942kg de $FeCl_2$ al 20%, por tonelada de TiO_2 producida.

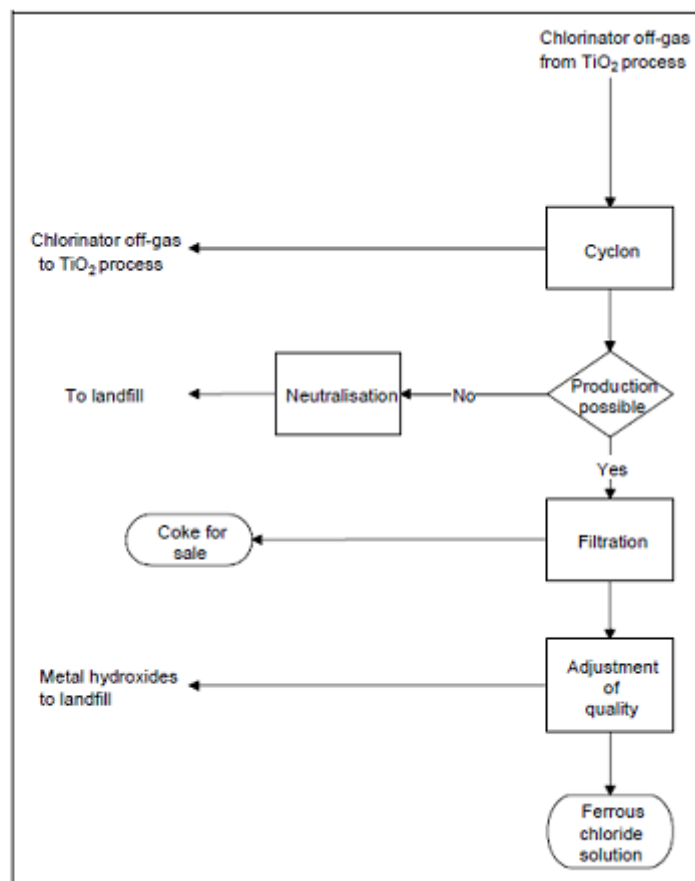


Figura 2.21: Tratamiento del cloruro de hierro

Los cloruros metálicos, tras la extracción de coque y $FeCl_2$ [Figura 2.21], han de ser neutralizados, normalmente con caliza de gran pureza, que los hace insolubles. De esta forma, precipitan y se estabilizan, y pueden ser desechados, no sin antes someterse a rigurosos



controles de pH, para evitar contaminación. Los gases producidos en el tratamiento han de ser filtrados antes de descargarse a la atmósfera, y el agua de lavado, de los filtros, de carácter ácido, recirculado.

2.4.2.6. CONDENSADO Y PURIFICACIÓN DEL $TiCl_4$

Para separar el $TiCl_4$ de la corriente gaseosa suele utilizarse un enfriamiento multietapa que lo lleve a condensación a temperaturas bajo cero. El diseño de los condensadores de esta etapa ha de ser de gran eficiencia, y suele usarse un sistema de enfriamiento libre de CFC con amonio.

La corriente gaseosa, que contiene $TiCl_4$, CO, CO_2 , COS, HCl y Cl_2 se hace pasar por un sistema de tratamiento de gases con varias etapas: primero se elimina el Cl_2 y según el método se obtiene HCl al 28% aproximadamente ó NaClO. Se utilizan estos compuestos clorados (HCl, NaClO) para desulfurizar el COS, extraer el azufre, y finalmente, convertir térmicamente, oxidando el CO y COS a CO_2 antes de liberar el gas a la atmósfera, obteniéndose además azufre que puede ser comercializado. En estas etapas es crucial evitar la corrosión ácida que surge del sobreenfriamiento del gas inicial, cuya condensación junto a la existencia de cloro, puede formar ácido clorhídrico. Normalmente se usan separadores en serie, y según su tipo puede producirse como subproducto bien hipoclorito de sodio o bien ácido clorhídrico.

El $TiCl_4$ líquido obtenido de la condensación, se lleva a una unidad de destilación donde se pone en contacto con un agente reductor (normalmente aceite) para convertir las impurezas, como el oxiclورو de vanadio, a compuestos con estados de valencia menores. Así pueden ser retirados por precipitación y ser tratados con el resto de cloruros metálicos de desecho. La columna de destilación debe tener una alta eficiencia y el aceite debe ser seleccionado cuidadosamente para minimizar la formación de hidrocarburos clorados. La eficiencia de esta etapa del proceso es crucial en la eficiencia global de la planta.

El vanadio especialmente, debe ser eliminado completamente en lo posible. Pequeñas trazas de vanadio en el $TiCl_4$ provocan una coloración amarilla en absoluto deseada en el TiO_2 final.

2.4.2.7. OXIDACIÓN, SEPARACIÓN Y ENFRIAMIENTO

Esta es una etapa clave en el proceso del cloro, como veremos más adelante especificando el mecanismo de la reacción. Existen dos sistemas principales. Uno es en horno alimentado con tolueno, mediante inyección de oxígeno y tetracloruro previamente calentado con tolueno, y el otro es un horno de arco de plasma, con los reactivos precalentados por



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

combustión de gas. En ambos casos, el precalentamiento puede producir gases de SO_2 que deben ser tratados en equipos aparte.

Las claves en esta etapa son maximizar la conversión a TiO_2 con el menor aporte energético posible, así como diseñar los equipos para evitar bloqueos y llevar al mínimo el régimen de mantenimiento, buscando siempre la operación en continuo y minimizando costes.

Los sistemas de enfriamiento han de estar diseñados tanto para evitar la corrosión y abrasión del polvo de TiO_2 como para retirar las sales usadas para limpiar los posibles depósitos de TiO_2 . Se llevan a cabo separaciones sólido/gas, intentando minimizar el arrastre de partículas en el cloro que será recirculado.

2.4.2.8. RECIRCULACIÓN DEL CLORO

El sistema de absorción/desorción de cloro está siendo sustituido actualmente por una recirculación directa de cloro, que generalmente ahorra recursos. Además, favorece el mantenimiento de un mínimo inventario de cloro. La clave para minimizar el impacto ambiental general estriba en el diseño en continuo, y ante todo, en tándem de las operaciones de cloración y oxidación. Para conseguirlo, se requiere un diseño minucioso de las operaciones entre ambas reacciones, experiencia, y la capacidad de corregir los posibles problemas del proceso en sus operaciones intermedias, evitando tiempos de parada.

2.4.3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PARTE FINAL DEL PROCESO (PARTE PROYECTADA)

2.4.3.1. Base de cálculo y condiciones iniciales.

Se procede ahora a describir la parte del proceso diseñada en este proyecto, a partir de la salida del horno de oxidación. El diagrama de flujo del proceso muestra con más detalle esta parte final del proceso.

En primer lugar se fijan las condiciones de inicio, que en este caso proceden del balance de materia a la reacción de oxidación. Como se ha descrito anteriormente, la oxidación se da a una temperatura aproximada de 1800°C y una presión de unos 30bar [ver sección "Reacciones del proceso"]. En estas condiciones, la salida del horno es una pasta de TiO_2 sólido en forma de partículas de hasta 20mm de diámetro, fluidizada por gas cloro, además de posibles restos de gas oxígeno sin reaccionar, que se intentan minimizar durante la reacción. La proporción molar es de 2 mol de Cl_2 por cada mol de TiO_2 , y para las cantidades fijadas de producción, esto se traduce en 3754 kmol de TiO_2 y 7588 kmol de Cl_2 .

Las características físicas de la mezcla son difíciles de fijar, tanto por la existencia de una mezcla no uniforme, como por las condiciones extremas de operación. Pero considerando



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

la proporción molar, y extrapolando los datos conocidos para condiciones habituales, pueden aproximarse valores para la densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad eléctrica de la mezcla, necesarios para los cálculos subsiguientes.

Se tiene por tanto una densidad aproximada de 1261 kg/m³, una viscosidad de 8.4*10⁵ Pas, conductividad eléctrica de 6.57 W/mK, y capacidad calorífica de 10.4J/molK. El caudal de la mezcla es de 0.969 m³/s.

Dado que se está trabajando con un lecho fluidizado de sólidos (o, de otra forma, un gas que arrastra sólidos en suspensión), es necesario calcular la velocidad lineal por debajo de la cual estos sólidos sedimentan debido a su tamaño, y tenerla presente en todo el proceso para evitar su deposición. A la salida de la oxidación, las partículas de dióxido pueden tener un máximo de 10-15mm de diámetro, y se asume que son aproximadamente esféricas. Según la ecuación de Newton para números de Reynolds altos [sección "Cálculos", *Bibliografía #2*], la velocidad mínima a la que es necesario mantener el fluido es de 20.63 m/s para evitar la sedimentación. Esta velocidad lineal, o una mayor, habrá de mantenerse en todo caso durante el transporte del lecho, hasta la etapa de filtrado. La velocidad sónica, máxima que puede alcanzar el flujo de gas es, para estas condiciones, muy superior a 20.63 m/s y a ese rango de velocidades en que se diseñarán los equipos del proceso.

2.4.3.2. Enfriamiento de la mezcla Cl₂-TiO₂

En este punto surgen varios problemas. Principalmente, la mezcla se encuentra en condiciones de alta presión y alta temperatura, por lo que cualquier tratamiento va a necesitar de un material tremendamente resistente y, por consiguiente, costoso. Para su enfriamiento existen varias posibilidades, que se fueron desechando en favor de la seleccionada.

En todo caso, a la etapa de enfriamiento le seguirá un filtrado con la consiguiente caída de presión, por lo que se asume que es preferible que la mezcla mantenga parte de su presión para no tener que aportarle de nuevo una subida de presión (y por tanto, de temperatura) previa entrada al filtro.

Si se opta por una descompresión para enfriar el gas, sucede lo ya mencionado. Se haría necesario otro equipo previo al filtrado que volviera a elevar la presión y por tanto la temperatura, deshaciendo la labor de descompresión.

Podría colocarse una serie de enfriamientos en serie, de los cuales el primero podría ser un aerorefrigerador. El problema aquí surge en la necesidad de diseñar un equipo de aerorefrigeración para unas condiciones extremas de presión y temperatura, y que además necesitaría de otro equipo de intercambio de calor para alcanzar una temperatura de trabajo asequible, por lo que los costes aumentarían demasiado.

Se opta por tanto por una única etapa de enfriamiento mediante un intercambiador de calor, cuyo material constructivo ha de ser cerámico. Los mejores materiales actualmente



parecen ser los óxidos cerámicos de Aluminio, Silicio, Estroncio, o bien composites de fibra de carbono y carburo de silicio, capaces de operar a altas temperaturas y presiones [Bibliografía, #3]. Una muestra de este tipo de materiales puede encontrarse en la tabla 2.8. Tras efectuar los cálculos, parece posible un intercambiador de carcasa y tubos capaz de retirar el calor de la mezcla mediante un refrigerante DowTherm. Las conducciones e instrumentación desde el horno al intercambiador deberán además ser de un material resistente hasta 2000°C y 50 bar. El coste de esta etapa es muy alto pero, en proporción, parece más recomendable que el de un aerorefrigerador previo, del un material igualmente costoso, o un descompresor de similar material con una posterior compresión que volvería a aumentar la temperatura.

Selected properties of most commonly used high temperature materials and fabrication technologies. (From: Ohadi and Buckley [2001])

High temp. material/ fabrication technology	Metallic Ni alloys (Inconel 718)	Ceramics oxides of Al, Si, Sr, Ti, Y, Be, Zr, B and SiN, AlN, B4C, BN, WC94/C06	Carbon-carbon composite	Carbon fiber-SiC composite
Temperature range	1200-1250 °C	1500-2500 °C	3300 °C (inert environment) 1400- 1650° C (with SiC layer)	1400-1650 °C
Density	8.19 g/cm ³	1.8-14.95	2.25	1.7-2.2
Hardness	250-410 (Brinell)	400-3000 kgf/mm ² (V)	0.5-1.0 (Mohs)	2400-3500 (V)
Elongation	<15 %	N/A	N/A	-
Tensile strength	800-1360 MPa	48-2000	33 (Bulk Mod.)	1400-4500
Tensile modulus	50 GPa	140-600	4.8	140-720
Strength of HE	Strength - adequate, but limited due to creep and thermal exp	Strength - not adequate, low mechanical parameters for stress. Good thermal and electrical parameters	Strength - poor, oxidation starts at 300 °C	Highest due to carbon fiber and SiC
Electrical conductivity	125 μΩ cm	2E - 06 - 1E + 18 Ω cm	1375 μΩ cm	1375 μΩ cm
Thermal conductivity	11.2 W/m K	0.05 - 300	80-240	Today up to 1200
Thermal expansion	13 E - 06 1/K	0.54-10E - 06 1/K	0.6-4.3E - 06 1/K	-0.26(-1.5) E - 06 1/ K (Longitudinal) +25 E - 06 1/K (Trans- verse)
Comments	Metallic expansion joints are the weak link	Often very expensive fabrication cost for conventional applications. Technology proprietary for the most part. Technologically hard to produce	Life-time is low even protected by SiC (adhesion is poor)	Comparatively less expensive, successful proprietary fabrication technologies available.

Tabla 2.8: Tabla de propiedades de los materiales más comunes en operaciones de alta T y p

2.4.3.3. Dimensionamiento del intercambiador de calor E-105

Con objeto de diseñar este intercambiador refrigerador, en primer lugar se calcula la cantidad de calor a retirar del fluido caliente. Se fija la temperatura de salida requerida para operar con normalidad en las siguientes fases del proceso, por ejemplo 50°C, y en función de esta temperatura se hallará la cantidad de calor a retirar.

En cuanto a la elección del flujo refrigerante, y puesto que el salto de temperaturas es alto, se elige Dowtherm A líquido, cuyas propiedades se especifican en el apartado de "Cálculos" y en su correspondiente hoja de especificaciones .



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

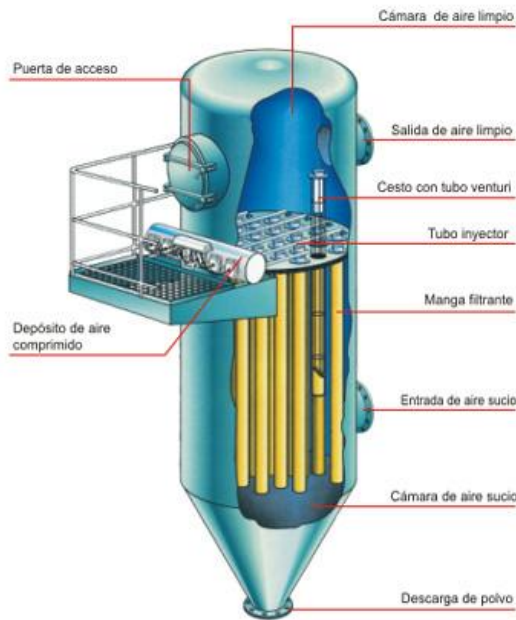
El fluido a enfriar se introducirá por tubos, para facilitar la limpieza en caso de deposiciones, en 152 tubos de 3.22 m, diámetro externo 0.026 m y espesor de 3.2 mm, a un único paso. Dada la velocidad (alrededor de 21 m/s, mínimo) que es necesario mantener en la mezcla gaseosa, la caída de presión en el lado de los tubos es bastante alta (unos 5 bar) para tratarse de un intercambiador, pero la calculada es la mínima posible para estas características. En todo caso y dado que el fluido transporta una gran cantidad de sólidos en suspensión, es primordial mantener en buen estado los tubos ante la erosión y corrosión. Previamente se ha hablado del material constructivo. Al llegar el fluido a presión, no parece necesario instalar ningún sistema de impulsión previo al intercambiador. Más adelante se calculará la caída de presión en las tuberías anteriores y posteriores para verificar este hecho.

La carcasa del cambiador es de tipo pull-through floating head, es decir, de carcasa fácilmente removible una vez más para facilitar el mantenimiento. La velocidad de paso por carcasa corresponde con los estándares en este tipo de velocidades en líquidos, unos 0.5 m/s. Para bombear el refrigerante a través del intercambiador se diseñará más adelante un circuito con bomba impulsora y depósito de almacenaje del Dowtherm A a temperatura ambiente.

2.4.3.4. Separación sólido-gas. Diseño del filtro de mangas F-101

Otra de las razones por las que se eligió no descomprimir la corriente de salida del horno de oxidación es que posteriormente debería superar otra caída de presión por la separación sólido-gas. Se opta porque el equipo principal de separación sea un filtro de mangas, ya que la filtración en seco presenta menos gasto que una absorción, siendo el dióxido de titanio insoluble en agua. Además, la temperatura conseguida a la salida del intercambiador de calor (unos 50°C) es asequible para los materiales de los que se suelen fabricar las bolsas de los filtros de mangas. Posteriormente, la corriente de salida de este filtro deberá ser tratada mediante ciclones o incluso separación de gases tanto para reutilizar el cloro al inicio del proceso como para aumentar la efectividad total de la separación, que en principio y únicamente con el filtro, no suele exceder el 85% de rendimiento.

El principal problema tanto de los equipos de filtrado como los posteriores de molido y secado, es que su dimensionamiento suele basarse enormemente en pruebas piloto efectuadas en laboratorio, por lo que ante la imposibilidad de conseguir este tipo de datos, se intentará hacer un diseño aproximado de las características principales de cada equipo.



NORMAL OPERATION

ELEMENT PURGE

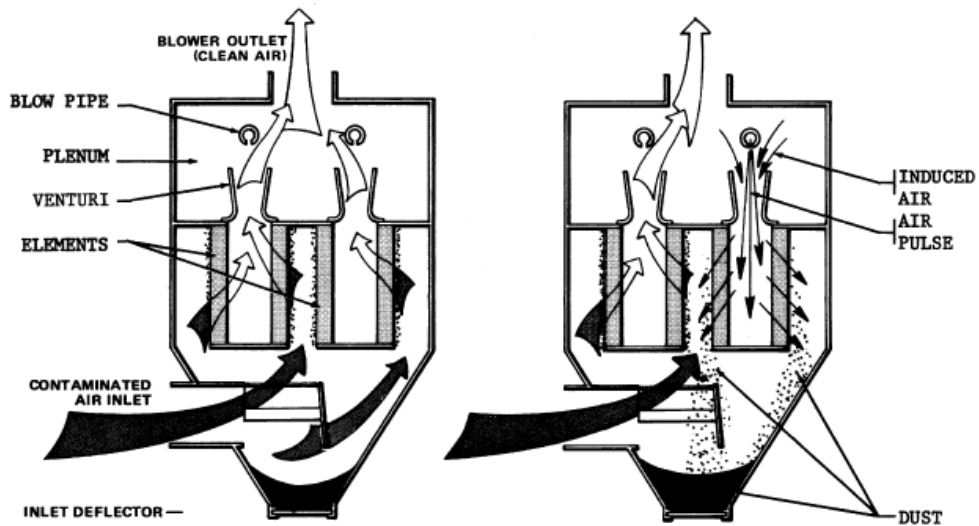


Figura 2.22: Filtro de mangas. La imagen inferior ilustra el funcionamiento de la limpieza mediante pulsos de aire comprimido

Según los resultados obtenidos en la sección de Cálculos resulta adecuado utilizar un filtro de dimensiones 1.6x1.8 m en la base y altura suficiente como para contener las mangas y



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

dejar evacuar el gas de salida. Comercialmente es habitual una altura de 1.75 m. Las bolsas o mangas utilizadas son de poliéster, de dimensiones estandarizadas de 140 mm de diámetro por 812 mm de altura, y deben estar soportadas por canastillas de acero, siendo el número total de mangas de 130. Normalmente, este tipo de mangas son capaces de retener partículas de unas 2 micras y resistir temperaturas de hasta 200°C. La parte inferior del filtro constará de una tolva con caras inclinadas 60° para la recogida del dióxido de titanio. En ningún momento la tolva deberá estar abierta a la atmósfera para evitar las pérdidas en forma de polvo, por lo que conectará directamente con el tornillo sin fin que envía el sólido al molido. El filtro debe estar equipado con un sistema de sacudida de las mangas mediante aire comprimido, conocido como pulse-jet. Este equipo de bombeo de aire está incluido en el filtro. El periodo de bombeo puede variar entre 10 y 20 segundos pero en ningún caso sobrepasar la cifra de 25 segundos entre impulsos, ya que se provocaría una caída excesiva de presión en el equipo. El tiempo tomado para el diseño es de 10 segundos. La caída de presión en el equipo es de 8.1 bar.

La efectividad del filtro de mangas no es de 100% en ningún caso pero complementa su operación junto al ciclón B-102 existente en la red de recuperación de gas cloro para reutilizarlo en la sección de cloración del rutilo.

2.4.3.5. Diseño de conducciones de gas+sólido hasta filtro F-101

Estas conducciones se dividen en dos tramos. El primero, desde el horno de oxidación hasta el intercambiador E-105, a alta presión y temperatura; y el segundo, desde el intercambiador E-105 al filtro F-101, de temperatura alrededor de 50°C y menor presión.

Para el diseño de estas conducciones es necesario recordar varios factores. En primer lugar, como ya se comentó al inicio de esta sección, la velocidad lineal de la mezcla no debe bajar de 20 m/s para evitar la deposición de las partículas de dióxido de titanio. En el primer tramo se intentará que la longitud a recorrer y la instrumentación desde el horno de oxidación hasta el intercambiador sea pequeña para evitar una caída alta de presión y consiguiente aceleración excesiva del fluido antes de entrar en el intercambiador. Así mismo, el material constructivo de la tubería y su instrumentación en el tramo que conecta horno y cambiador ha de ser del mismo material que los tubos del cambiador, bien cerámico bien carburos de silicio, debido a las condiciones de presión y temperatura de la mezcla. Se escoge un diámetro de tubería existente en catálogos comerciales pero dada la exigencia en temperatura y presión el espesor debe ser superior al habitual.

El primer tramo de tubería ofrece una caída de presión de 5.4 bar, y se diseña para una velocidad final del fluido mayor de 20.3 m/s para evitar sedimentaciones, es decir, de diámetro interior 242.8 mm. Además, esa velocidad, alrededor de 21 m/s, es similar a la que tendrá la mezcla en el interior del intercambiador, evitando en la medida de lo posible estrechamientos u otros elementos que aumenten la caída de presión. Se hace necesario en todo caso instalar un medidor de caudal y una válvula de globo para tener control sobre el flujo y su velocidad en



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

caso de que se produzcan variaciones reseñables en cualquiera de estos dos valores antes de la entrada al intercambiador E-105.

El segundo tramo de tubería, dadas las condiciones de temperatura del fluido, puede ser de acero normalizado. En todo caso, según los cálculos es necesario un espesor mayor del comercial dadas las condiciones de presión, y el diámetro será similar al del primer tramo puesto que se debe conservar la velocidad del fluido. La caída de presión en este segundo tramo es algo mayor dado que, además de la instrumentación de control de caudal y velocidad (medidor de diafragma, válvula globo de acero normalizado) se incluyen una serie de codos para inyectar la mezcla por la parte inferior del filtro de mangas F-101, resultando una caída de presión de 8.3 bar.

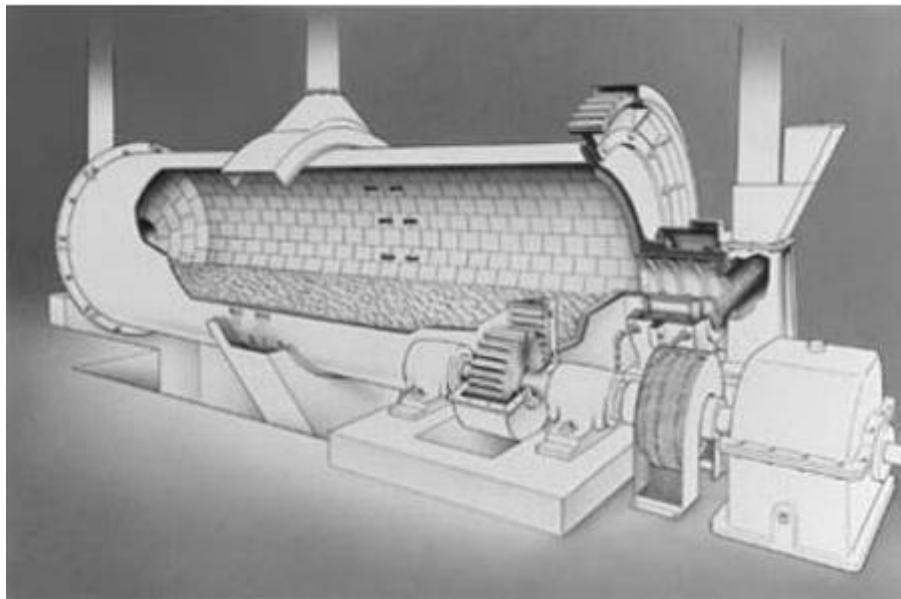
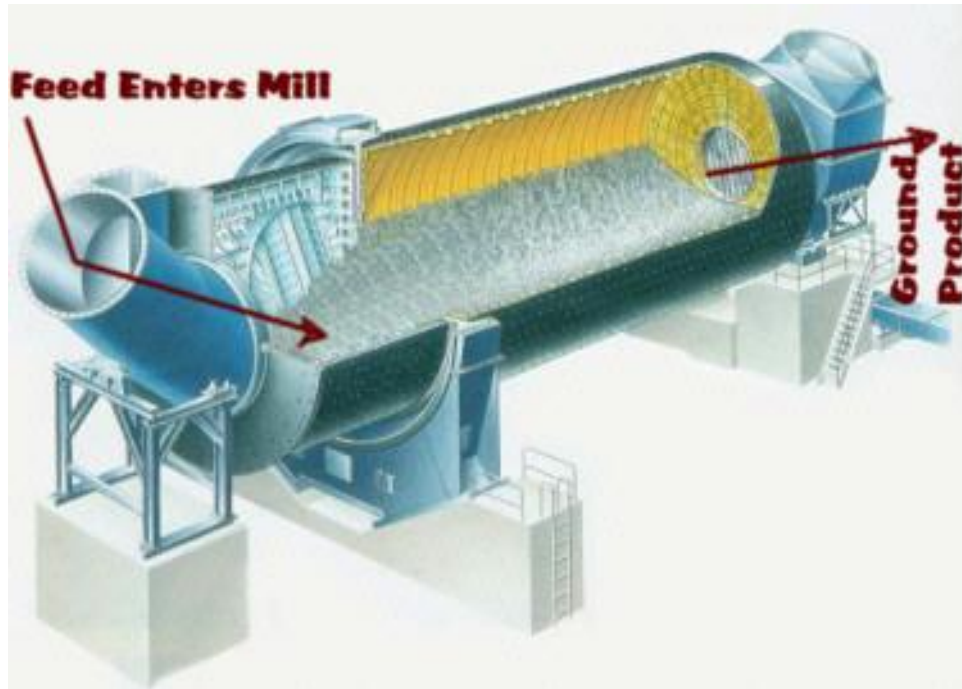
Una vez diseñado el equipo de conducción y tratado de la mezcla gas+sólido se comprueba si es necesario un aporte de presión al circuito.

La caída de presión total, de unos 27 bar, no supera la presión con la que la mezcla sale del horno de oxidación, 30 bar. Por tanto no es necesario ningún aporte de presión al circuito. Podría pensarse en aprovechar el exceso para incluir una descompresión de 2-3 bar previa al intercambiador. En cualquier caso, el material constructivo de la descompresión sería tan caro como el del cambiador y sus tuberías, y una caída de 2 bar no disminuiría drásticamente la temperatura a la que la mezcla entra en el intercambiador. Otra opción podría ser alargar las conducciones previas al cambiador y permitir un mayor contacto con el aire para un preenfriamiento, pero dada la alta presión no parece muy recomendable variar el espesor de las tuberías.

2.4.3.6. Molido húmedo C-101

A partir de la obtención del dióxido sólido, el diseño de los equipos para su tratamiento en forma de polvo conlleva la dificultad de no poder contar con modelos a de ensayo en laboratorio y posteriormente diseñarlos a escala, método habitual de diseño preliminar. Se calcularán por tanto una serie de características propias de los equipos de tratamiento de sólidos, comenzando por el molido "húmedo" en C-101, inmediatamente después del filtrado. La denominación "húmedo" obedece al hecho de que durante el propio molido se añaden una serie de aditivos para mejorar los atributos superficiales del dióxido de titanio, principalmente hidróxidos de aluminio y potasio, en disolución acuosa, suponiendo un aporte total del 15% en masa del sólido.

Se escoge un molino de bolas, adecuado para las dimensiones a las que practicar la reducción de tamaño, la cantidad de producto (entre 1 y 50 ton/h, según [Bibliografía #2]) y los requerimientos del proceso, es decir, aprovechar la etapa para el mezclado con los aditivos.



Figuras 2.23: Molino de bolas

Las dimensiones del molino, obtenidas en la sección de [Cálculos], son de 2m de diámetro por 2.86 m de largo construido en acero de alta resistencia, conteniendo en su interior unas 3000 bolas de 0.02 m de diámetro. La selección de estas bolas se hace según el [Anexo #13] que muestra el catálogo de un fabricante. En este caso, se opta por el modelo de 20mm de diámetro de material Zirconium Oxide. La reducción de tamaño buscada es desde un diámetro de sólido desde 25 mm máximo a 0.5 mm. Para cumplir su propósito, el molino consume 32.6 kW por tonelada/hora de dióxido de titanio. La velocidad de giro del equipo es



de 0.306 m/s, unas 18 rpm, mientras que la velocidad crítica es de 0.511 m/s. La descarga se realiza por el extremo del cilindro (descarga periférica libre, "overflow", ver figura 2.23). Las mejores condiciones de molido se dan por normal general con la velocidad de giro del 60% de la crítica en el caso de molido húmedo, y con la carga de bolas alrededor del 25-30%.

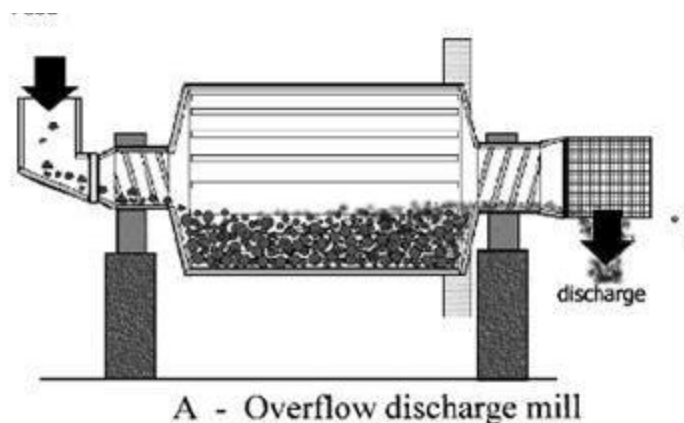


Figura 2.24: Descarga tipo overflow de molino de bolas

En todo caso, la efectividad del molino no suele superar el 80%. Normalmente se coloca un tamiz en su salida para devolver al molido aquellos sólidos que no cumplan el tamaño deseado, pero en este caso y al tratarse de un producto relativamente húmedo, se procede primero al secado en E-107 y, tras un posterior molido seco final en el equipo C-102, será cuando los sólidos sean tamizados para comprobar que se ha conseguido su reducción de tamaño. En caso contrario serían devueltos a la etapa de molido seco.

2.4.3.7. Secado en secadero rotatorio E-107

El dióxido de titanio en forma de polvo y conteniendo en superficie los aditivos añadidos durante el molido húmedo, ha de ser secado para eliminar el agua que éstos contenían. Para esta etapa del proceso surgen varias opciones. Un secado directo con aire puede ser efectivo pero dado que se intenta la obtención de un producto lo más puro posible no parece adecuado ponerlo en contacto directo con aire. Además y puesto que la producción es continua, se descartan los secaderos en bandejas y otros tipos de secaderos por lotes. La opción más adecuada resulta ser un secadero rotatorio por conducción, con un encamisado por el que circula un fluido caliente, que consigue la evaporación del agua. Estos secaderos, a nivel industrial, tienen ya equipado un sistema de recogida de sólidos que puedan haberse arrastrado por la evaporación, normalmente mediante un ciclón. Además constan de una serie de álabes que permiten elevar el sólido para que entre en contacto más tiempo con las paredes del secadero.

El fluido usado como fuente de calor para evaporar este agua podría proceder de las múltiples etapas del proceso global. En algunos casos se utiliza una corriente de vapor calentado gracias al horno de oxidación, pero en este caso se intentará aprovechar la energía



contenida en el refrigerante Dowtherm A que se utilizó en el primer enfriamiento (E-105) para que el aprovechamiento energético dentro de la parte final del proceso sea máximo.

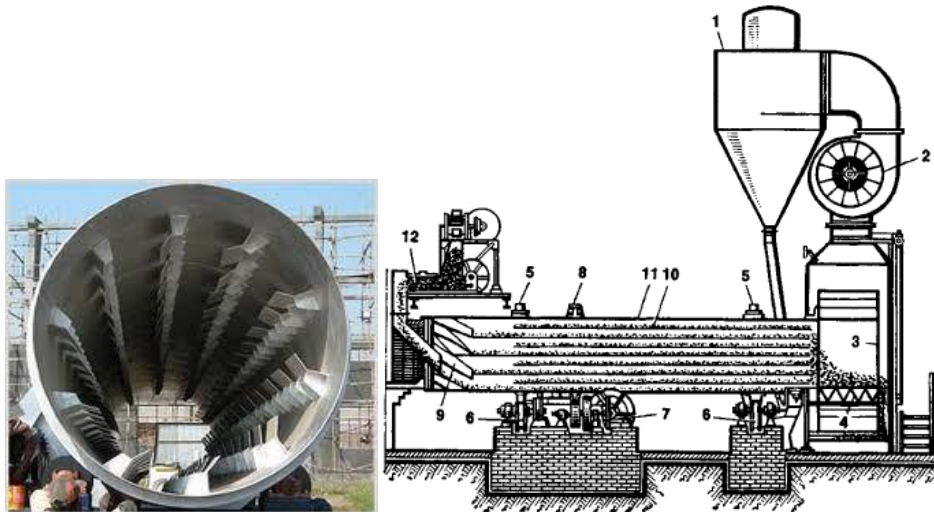


Figura 2.25: Secadero rotatorio

El refrigerante Dowtherm A sale del intercambiador E-105 a una temperatura de unos 265°C. Parece pues posible su uso para calentar el dióxido hasta una temperatura superior a 100°C de forma que se evapore el agua contenida. Esto conllevará además un ligero enfriamiento del Dowtherm con lo que se favorece su posterior enfriamiento y vuelta a depósito para reutilización.

Se diseña el secadero considerándolo como un intercambiador de calor de un único tubo concéntrico de flujo paralelo. El objetivo, elevar la temperatura hasta 110°C de forma que evapore el agua contenida. El dióxido se introduce mediante el tornillo sin fin que comunica el molido C-101 con el secadero E-107, y la inclinación del propio secadero hace posible la circulación del sólido en polvo.

El equipo de secado es pues un secadero rotatorio en acero al carbono de 2.04m de diámetro y 6 de largo, por el que circula el dióxido de titanio por su propia inclinación (5°) y reparte el calor ayudado por los álabes internos que mueven el producto, aumentando su temperatura de unos 70 a hasta unos 110°C de forma que evapore su contenido en agua y en cuyo encamisado circula DowthermA en paralelo para pasar de 265 a 230°C. El espesor de pared que separa ambas partes es de 10 mm. El polvo generado por el movimiento o arrastrado por el vapor se recolecta en un ciclón colocado al final del secadero y se reintroduce al final del mismo. La caída de presión en el encamisado, necesaria para diseñar el circuito de recirculación del refrigerante, es de 0.12 bar.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

2.4.3.8. Diseño del circuito del refrigerante DowthermA

El refrigerante utilizado en el intercambiador E-105 ha de ser llevado a temperatura ambiente y reutilizado constantemente. Para maximizar el aprovechamiento del calor, el refrigerante se hace pasar por la etapa de secado en el secadero rotatorio E-107, y vuelve a un depósito tras ser enfriado a temperatura ambiente mediante agua fría en el intercambiador E-106.

El fluido debe vencer las caídas de presión originadas por la longitud de la tubería, la instrumentación pertinente y los intercambiadores, por lo que se procede a describir este circuito.

En el cambiador de calor E-106, el fluido a enfriar, $0.0079 \text{ m}^3/\text{s}$ de DowthermA, se introduce por carcasa, para facilitar su enfriamiento en contacto con el ambiente, a una velocidad lineal de 0.57 m/s . La carcasa es de tipo "outside-packed", y consta de 33 blaffles (deflectores) de corte 45%. El tipo de carcasa se elige por la, en principio, no necesidad de limpieza habitual al tratarse de un líquido sin suciedad, y el corte del deflector es tal para aumentar la velocidad de paso por carcasa, que de otra forma sería demasiado baja. El refrigerante es agua fría a temperatura inicial 22°C . Este agua procede tanto de depósito como de anteriores partes del proceso, y posteriormente puede circular por el exterior del horno de oxidación o colaborar indirectamente en el posterior secado, por lo que no se dimensiona su procedencia. Se introducen $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ por 248 tubos repartidos en 4 pasos (para aumentar la velocidad de paso, de forma similar a la carcasa) a una velocidad de 1.02 m/s , en tubos de 0.0168m de diámetro interno. El material es acero ya que las temperaturas a las que trabaja el intercambiador no es necesario un material específicamente resistente como lo era en el intercambiador E-105.


La caída de presión en la carcasa (por donde circula el Dowtherm) es de 0.49bar . Es este valor el que se tendrá en cuenta al diseñar el circuito.

La velocidad a la que el fluido circula por el circuito es prácticamente la misma tanto en el tramo frío de como en el tramo caliente. Puesto que la velocidad de paso del Dowtherm por el intercambiador E-105 es de 0.55 m/s , similar a la del secadero E-107, y por el intercambiador E-106 es de 0.57 m/s , se dimensionará la misma tubería para ambos tramos.

A partir de los resultados obtenidos en la sección [Cálculos] resulta necesario que la tubería sea de 0.457 m de diámetro externo y 6.35 mm de espesor. El material puede ser acero u otro resistente hasta la temperatura máxima de trabajo (275°C) y la presión de trabajo (57.19psi). Para bombear el refrigerante se requiere una bomba P-103 A/B duplicada, capaz de aportar un $h_p = 16\text{mca}$ y que maneje un caudal de $Q = 34.13 \text{ m}^3/\text{h}$. Se selecciona a partir del catálogo del fabricante de bombas KSB [Anexo #14] el equipo que cumpla las especificaciones, o bien otro perteneciente a otro fabricante pero de rendimiento y características similares. En este caso, la bomba seleccionada podría ser un modelo de la serie



Etanorm/Etabloc 40-125 del fabricante KSB, con velocidad de giro de unos 2200 rpm, diámetro de rodete 139 mm y consumo 1.7 kW.[figura 2.26].

Bezeichnung/Größe Tipo-Serie Modelo	Typo Serie Tipo	Revendanzzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocidad de rotación nom. Nominal rotational Revoluciones nom.	Laufteil-Ø Impeller Dia. Diámetro de roseta	Ø Wasser Ø Rodete
Etanorm 40-125 Etabloc		variabel		139 mm	
Projekt Project Projet	Progetto Projecto	Angebots-Nr. Project No. No. de oferta	Offerte-Nr. Offering No. Oferta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Position Pos.-Nr.
					 <p>KSB Aktiengesellschaft 67225 Frankenthal Johann-Klein-Strasse 9 67227 Frankenthal</p>

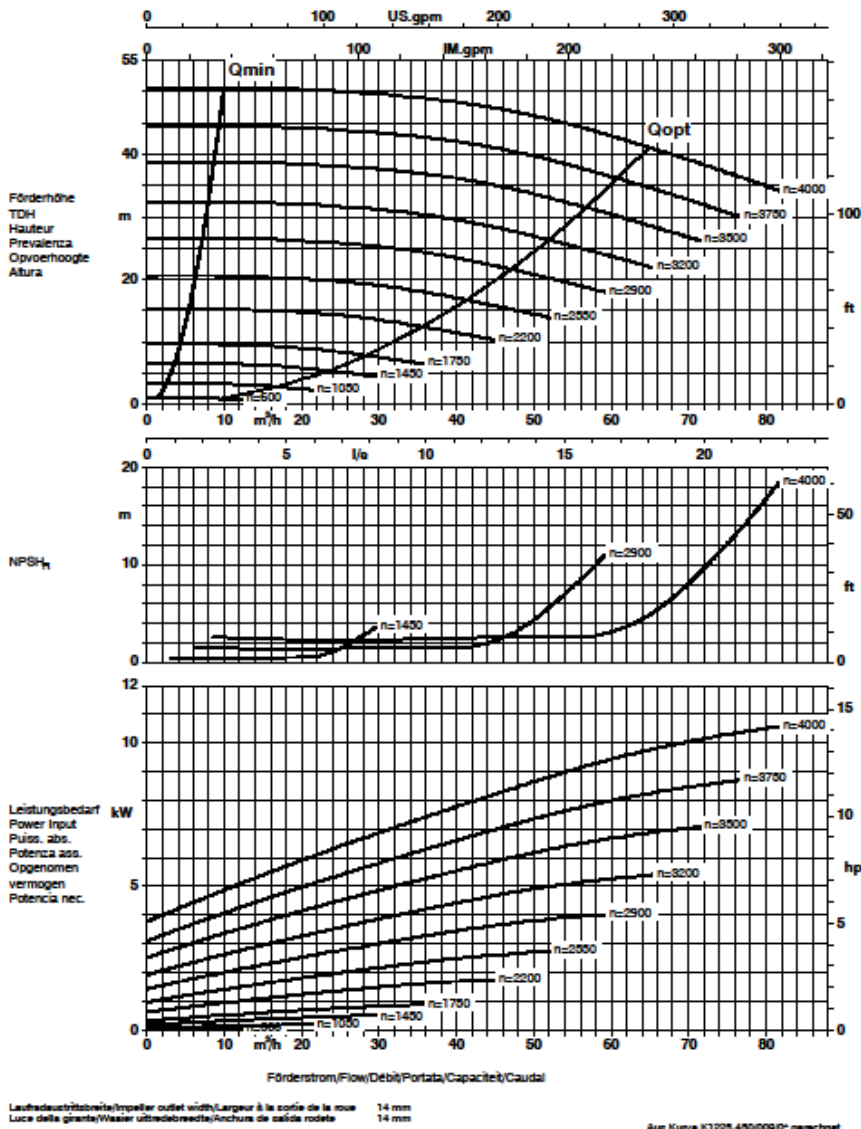


Figura 2.26: Curvas características de bomba P-103 A/B



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

2.4.3.9. Molido seco C-102

Para el dimensionado del equipo C-102 se sigue el mismo procedimiento que el C-101. De forma similar, se elige un molino de bolas, de dimensiones parecidas dado el flujo de material a tratar, pero con tamaño de bola distinto al ser necesario un molido más fino. Tanto por la reducción de tamaño como porque se trata de un molido seco, la potencia requerida para el molido será mayor que en el molino C-101 [Cálculos].

Se escogen unas dimensiones similares a las del equipo C-101 dado que, pese a que el flujo inicial es menor, es posible que gracias a la recirculación procedente del tamiz, sea necesario un mayor volumen. Las bolas ocuparán un 30% y la velocidad de giro será del 80% de la velocidad crítica, es decir, 22 rpm.

Por tanto se tiene un molino de 2 m de diámetro por 2.86 de largo, con un lecho de unas 2000000 bolas de 0.2 mm de diámetro de zirconium alloy [Anexo#13], cuyo consumo es muy alto, de unos 160 kW por hora dada la reducción de tamaño buscada; de 0.5 mm a 0.03 mm. Se hace necesario un serpentín de refrigeración que mantenga la temperatura alrededor de 50°C dada la cantidad de energía aportada en el molido. La descarga de sólidos libre periférica tipo overflow, directa y cerrada hacia el tamizado.

Puesto que el rendimiento general de la reducción de partículas no suele superar el 80%, se hace necesario instalar un tamiz que seleccione los sólidos que cumplen un determinado tamaño de partícula, devolviendo al molino C-102 aquellos que no lo hagan. Este flujo de sólidos añadido se ha considerado al diseñar el volumen del equipo.

2.4.3.10. Transporte de sólidos. Tornillos sin fin.

Para transportar el sólido entre los diferentes equipos, surge la necesidad de utilizar algún tipo de cinta transportadora. Pero ya que el material debe permanecer cerrado al aire, parece más favorable utilizar una serie de tornillos sin fin de hélice helicoidal, enclaustrados y que, además, permitan elevar ligeramente el material para introducirlo en los distintos equipos. Estos equipos serán J-103, J-104, J-105 y J-106. El aislamiento y hermecidad en estos tornillos sin fin debe ser máximo para evitar pérdidas durante el transporte o provocar que el polvo desprendido provoque incidencias.

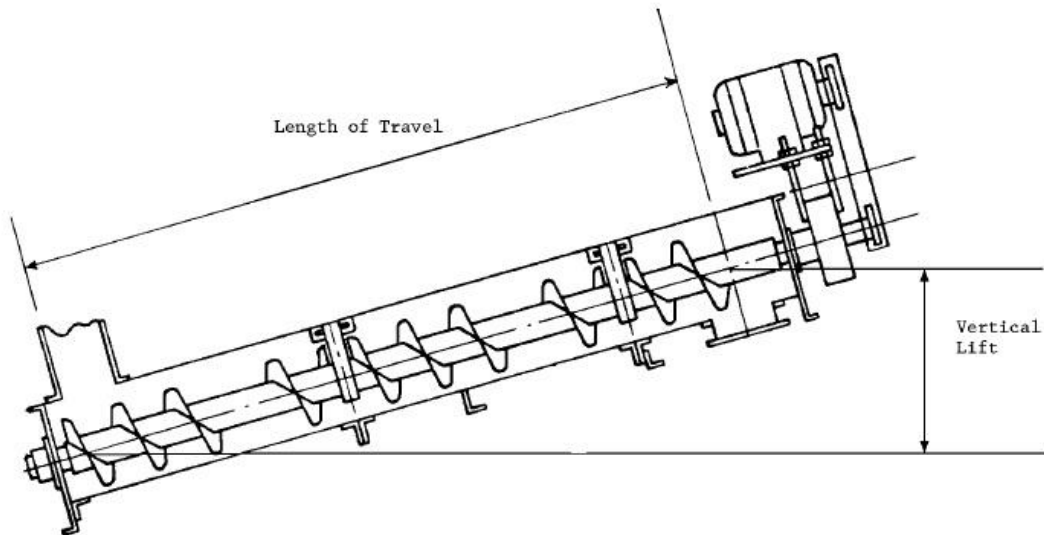
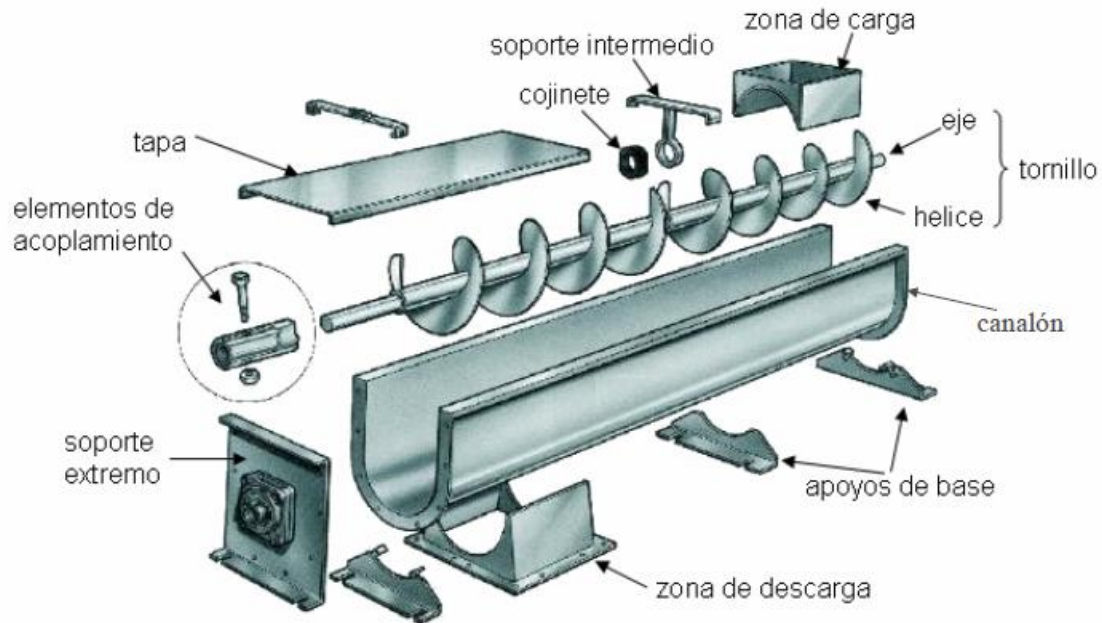


Figura 2.27: Representación de tornillo sin fin

Si bien el material constructivo puede ser el mismo para todos los equipos, se hace necesario calcular características tales como su potencia consumida, longitud, y altura a superar [sección Cálculos].

Los tornillos J-103, J-104 y J-105 salvan una distancia de 10 m por la disposición en la planta, y para evitar que los equipos se encuentren demasiado cerca del secado E-107. Se asume que todos los tornillos salvan una altura de hasta 2 m para poder introducir el material



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

por la parte superior de cada uno de los equipos. El último tornillo se encuentra más inclinado y es de menor longitud para, desde el tamizado final, introducir el material por la parte superior al depósito en el que se almacena y desde el cual el material debe ser empaquetado. Las potencias consumidas son $P_{J103} = 1.50 \text{ kW}$, $P_{J04} = 1.72 \text{ kW}$, $P_{J05} = 1.55 \text{ kW}$ y $P_{J06} = 0.81 \text{ kW}$.



Borja Hernández García

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y RESUMEN



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



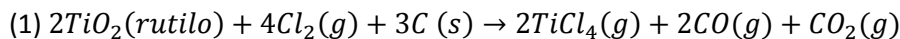
3. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA A LAS DOS REACCIONES PRINCIPALES

3.1 BALANCE DE MATERIA

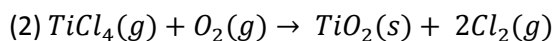
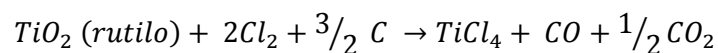
Tomando como base de cálculo:

- Cantidad de TiO₂ a producir: 90 000 ton/año = 300 000 kg/día
- Alimentación: mineral de rutilo, contenido en TiO₂: 94% de media
- Conversión de la reacción de cloración (1): 97%
- Conversión de la oxidación (2): teóricamente es oxidación completa con oxígeno en exceso: 100%

El balance se hará en kmol/día. Las reacciones son:



o, por unidad molar de TiO₂:



En moles:

$$300\,000\text{ kg } TiO_2 \cdot \frac{1\text{ kmol } TiO_2}{79.9\text{ kg } TiO_2} = 3754\text{ kmol } TiO_2$$

La conversión global de la reacción puede aproximarse al 97% de la cloración. Según los datos existentes (LVIC : Large Volume Inorganic Chemicals, Agosto 2007) para la obtención de 1000 kg de TiO₂ son necesarios, de media, 1095 kg de mineral y 467 kg de O₂. Con estos datos, convertidos a moles, puede hallarse el balance y conversiones globales.

$$467\text{ kg } O_2 / \text{kg } TiO_2 \cdot 300\text{ kg } TiO_2 = 140\,100\text{ kg } O_2$$

$$140\,100\text{ kg } O_2 \cdot \frac{1\text{ kmol } O_2}{32\text{ kg } O_2} = 4378\text{ kmol } O_2$$



Estequiométricamente, el oxígeno está en exceso en (2) (4378 - 3754 = 624 kmol en exceso) para asegurar la total oxidación del tetracloruro de titanio.

El contenido en moles de TiO_2 del rutilo es de:

$$1095 \text{ kg rutilo} / \text{kg } TiO_2 \cdot 300 \text{ kg } TiO_2 = 328\,958 \text{ kg rutilo}$$

$$328\,958 \text{ kg rutilo} \cdot \frac{94 \text{ kg } TiO_2}{100 \text{ kg rutilo}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } TiO_2}{79.9 \text{ kg } TiO_2} =$$

$$= 3870 \text{ kmol } TiO_2 \text{ contenidos en el mineral}$$

La conversión global del proceso es entonces la de la cloración:

$$\frac{3754 \text{ kmol } TiO_2 \text{ obtenido}}{3870 \text{ kmol } TiO_2 \text{ en el rutilo}} = 0.97 \rightarrow 97\%$$

El balance global queda, para la base de cálculo utilizada (300 ton TiO_2 /día):

Reactivos en (1):

Rutilo: 328 958kg, que contienen 3870 kmol TiO_2

Cloro: 7740 kmol Cl_2

Coque: 126 550 kg que contienen 69 660 de carbono, 5805 kmol C

Productos en (1)

Tetracloruro de titanio: 3754 kmol $TiCl_4$

Monóxido de carbono: 3794 kmol CO

Dióxido de carbono: 1897 kmol CO_2

Reactivos en (2)

Tetracloruro de titanio: 3754 kmol $TiCl_4$

Oxígeno: 4378kmol O_2 (exceso)

Productos en (2)



Borja Hernández García

Dióxido de titanio: 3754 kmol TiO₂



Octubre 2012

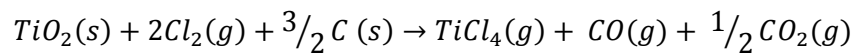
BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

Cloro: 7588 kmol Cl₂

(*) Unidades de flujo por día

3.2. BALANCE DE ENERGÍA

1) Reacción de cloración



A T = 1273K, p = atmosférica

Capacidades caloríficas a presión constante obtenidas de Manual del Ingeniero Químico [Bibliografía #1]

$$C_p(C) = 2.673 + 0.002617T - \frac{116000}{T^2}$$

$$C_p(CO) = 6.660 + 0.00120T$$

$$C_p(CO_2) = 10.34 + 0.00274T - \frac{195500}{T^2}$$

$$C_p(Cl_2) = 8.26 + 0.00056T$$

$$C_p(TiO_2) = 11.81 + 0.00754T - \frac{41900}{T^2}$$

Entalpía molar de reacción estándar para TiCl₄ gas: $\Delta H^0 = -763 \text{ kJ/mol}$ [Bibliografía #1]

Flujos molares obtenidos del Balance de materia

Entalpía reactivos:

$$\begin{aligned} H_1 &= \dot{m}_{TiO_2} \int_{1273}^{298} C_p(TiO_2) + \dot{m}_{Cl_2} \int_{1273}^{298} C_p(Cl_2) + \dot{m}_C \int_{1273}^{298} C_p(C) \\ &= \left(3.87 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot (-17180 \text{ J/mol}) \right) \\ &\quad + \left(7.74 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot (-8481 \text{ J/mol}) \right) + \left(5.81 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot (-6316 \text{ J/mol}) \right) \\ &= -1.688 \cdot 10^{11} \text{ J} \end{aligned}$$

Entalpía productos:



BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



Borja Hernández García

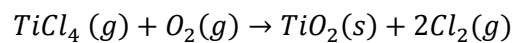
Octubre 2012

$$\begin{aligned}
H_2 &= \dot{m}_{TiCl_4} \int_{298}^{350} Cp(TiCl_4) + \lambda_{eb TiCl_4} \cdot \dot{m}_{TiCl_4} + \dot{m}_{TiCl_4} \int_{350}^{1273} Cp(TiCl_4) \\
&+ \dot{m}_{CO} \int_{298}^{1273} Cp(CO) + \dot{m}_{CO_2} \int_{298}^{369} Cp(CO_2) + \lambda_{eb CO_2} \cdot \dot{m}_{CO_2} \\
&+ \dot{m}_{CO_2} \int_{369}^{1273} Cp(CO_2) \\
&= (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot 1207.8 J/mol) + (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot 26543 J/mol) \\
&+ (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot 23208 J/mol) + (3.794 \cdot 10^6 mol \cdot 6990 J/mol) \\
&+ (1.897 \cdot 10^6 mol \cdot 672 J/mol) + (1.897 \cdot 10^6 mol \cdot 25127 J/mol) \\
&+ (1.897 \cdot 10^6 mol \cdot 11004 J/mol) = 2.876 \cdot 10^{11} J
\end{aligned}$$

Entalpía total de la cloración:

$$\Delta H_1 = H_1 + H_2 + \dot{m} \Delta H^0 = -1.688 \cdot 10^{11} J + 2.876 \cdot 10^{11} J + (-7.63 \cdot 10^5 J/mol \cdot 3.754 \cdot 10^6 mol) = -2.746 \cdot 10^{12} J = -2.746 \cdot 10^9 kJ/día$$

2) Reacción de oxidación



T = 2073K, p = alrededor de 0.5atm

Entalpía molar de reacción estándar para TiO2 sólido: $\Delta H^0 = -939.7 \text{ kJ/mol}$ [Bibliografía #1]

Flujos molares obtenidos a partir del balance de materia

Entalpía de reactivos:

$$\begin{aligned}
H_1 &= \dot{m}_{TiCl_4} \int_{350}^{298} Cp(TiCl_4) + \dot{m}_{TiCl_4} \cdot \lambda_{eb TiCl_4} + \dot{m}_{TiCl_4} \int_{2073}^{350} Cp(TiCl_4) \\
&+ \dot{m}_{O_2} \int_{2073}^{298} Cp(O_2) \\
&= (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot (-1207 J/mol)) + (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot (26543 J/mol)) \\
&+ (3.754 \cdot 10^6 mol \cdot (-43781 J/mol)) \\
&+ (4.378 \cdot 10^6 mol \cdot (-14682 J/mol)) = -1.335 \cdot 10^{11} J
\end{aligned}$$



Borja Hernández García

Entalpía de productos:

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



Octubre 2012

$$\begin{aligned} H_2 &= \dot{m}_{TiO_2} \int_{298}^{2073} C_p(TiO_2) + \dot{m}_{Cl_2} \int_{298}^{2073} C_p(Cl_2) \\ &= (3.754 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 36708 \text{ J/mol}) + (7.588 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 15839 \text{ J/mol}) \\ &= 2.58 \cdot 10^{11} \text{ J} \end{aligned}$$

Entalpía total de la oxidación:

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= H_1 + H_2 + \dot{m} \Delta H^0 = -1.335 \cdot 10^{11} \text{ J} + 2.58 \cdot 10^{11} \text{ J} + (-9.39 \cdot 10^5 \text{ J/mol} \cdot 3.754 \cdot \\ &10^6 \text{ mol}) = -3.403 \cdot 10^{12} \text{ J} = -3.403 \cdot 10^9 \text{ kJ/día} \end{aligned}$$

3.3. Estudio de las reacciones del proceso

Como puede observarse en el balance de materia, las reacciones del proceso de formación de TiO_2 tienen un alto grado de conversión. La cloración supera el 95% y la oxidación puede considerarse prácticamente completa, pero existen una serie de complicaciones en el mecanismo de reacción de esta última que requieren ser considerados, de cara a observar el proceso global.

En la reacción de oxidación se han realizado multitud de ensayos de laboratorio para describir su mecanismo. Podrían nombrarse algunas de los resultados experimentales obtenidos, la mayoría con unas condiciones comunes:

Modelo reactor pistón, compresión adiabática, usando argón como gas de arrastre. Factor de compresibilidad $Z = 1$ (aproximado), por lo que puede considerarse gas ideal. Se asume reacción de orden 1, por lo que la constante es

$$k = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

- Considerando un flujo tubular de gases de 0.5 a 1l/min, entre 700 y 1000°C y en diversas proporciones de $TiCl_4:O_2$, se obtuvieron una $E_a=88.8\text{kJ/mol}$ y una $A=8.26 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$.

- En un horno vertical: $E_a=71\text{kJ/mol}$

- Reactor de conversión rápida a 2000K: $E_a=83\text{kcal/mol}$

- Interpolaciones a otros experimentos: $E_a=57$, $A=8.3 \cdot 10^3$. En general E_a de 42 a 163 kJ/mol

El tiempo de reacción, uno de las propiedades de la reacción más interesantes, ha de ser también aproximado mediante resultados experimentales. Pueden tomarse como representativos estos:



Borja Hernández García

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



Octubre 2012

- Para una T de 1476K y $P_0=372$ torr $\rightarrow t = 0.022s$

- Para T= 1700K, $P_0=249$ $\rightarrow t=0.019s$

El tiempo de reacción es extremadamente pequeño. Conviene recordar que la reacción "real" se dará a mas temperatura que en ambos ensayos, por lo que será aún más rápida

Parece pues difícil encontrar unos valores que permitan conocer la reacción a nivel real. Sin embargo, sí que pueden deducirse de las condiciones de estos experimentos, los factores que influyen en la reacción real y el mecanismo de formación a nivel molecular. Algunos factores a tener en cuenta son:

- El aumento de la temperatura y la proporción de oxígeno sobre $TiCl_4$ tiende a disminuir el tamaño de la partícula de TiO_2 .
- La adición de haluros como el $FeCl_3$ y $AlBr_3$ también disminuye el tamaño de partícula. El caso especial del cloruro de aluminio se trata más adelante.
- La presencia casual de CO_2 no tiene efecto sobre la oxidación.
- Una formación paralela de H_2O acelera la reacción.
- La generación lateral de O_2 por las reacciones secundarias no tiene efecto sobre la reacción más allá de aumentar la proporción de oxígeno.
- La adición de metano o hidrógeno aumenta la conversión de la reacción.

En la oxidación se crean multitud de especies intermedias, en forma de óxidos y oxiclорuros de titanio, muchas de ellas a partir de $TiCl_3$, sumando un total de unas 51 reacciones secundarias. La vida de estas especies es extremadamente corta, tanto que apenas existen datos sobre sus reacciones, pasando de una a otra hasta finalizar en un núcleo de Ti_nO_{2n-2} . El mecanismo fundamental puede observarse en la figura 3.1. Al formarse los núcleos, el $TiCl_4$ presente se absorbe en la superficie. El Cl_2 se libera, quedando el titanio en la superficie de la molécula. Este titanio se oxida con el O_2 presente, de forme que pueda absorberse y descomponerse más $TiCl_4$ y repetir el ciclo. El paso clave para definir el tamaño de la partícula es la oxidación en superficie del TiO_2 reducido.

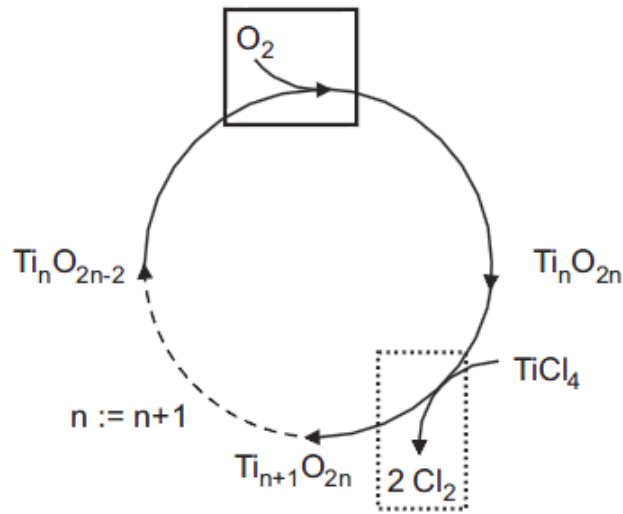


Figure 3.4: Surface reaction mechanism. Dotted box shows section studied by *Inderwildi and Kraft (2007)*; solid box shows section studied by *West et al. (2007b)*.

Figura 3.1 Mecanismo de reacción en superficie

Dado que la aportación de cloruro de aluminio favorece enormemente la oxidación, éste suele ser uno de los aditivos preferidos a la hora de preparar la combustión. Según varias patentes (US-A-3734761, GB-A-2037266, ES 2 135 447 T3), el calor de reacción procedente de la formación de cloruro de aluminio puede servir tanto para precalentar el horno como para mantener la temperatura durante la combustión. En todo caso, el proceso a nivel industrial se desarrolla por encima de la presión atmosférica, y su temperatura, aunque varía de una planta a otra, es de al menos 900-1000°C en la entrada y unos 1600°C en la salida. El tetracloruro se introduce mediante varios puntos de entrada a una temperatura algo inferior, alrededor de 700°C, pero al entrar en contacto con la mezcla ya caliente inicia sin problemas la reacción. La corriente del gas oxidante puede precalentarse mediante serpentines calentados a llama de gas. La introducción del aluminio para favorecer la formación de su cloruro puede ser previa, o durante la propia reacción en forma pulverizada o particulada. En todo caso, ha de controlarse minuciosamente la temperatura del horno para evitar un aumento excesivo, y aprovechar el calor extraído para otras etapas posteriores, como por ejemplo la de secado.

La corriente de gas oxidante deberá estar en exceso para asegurar la reacción completa. Como subproducto, el Al_2O_3 formado de forma secundaria mediante este método supone únicamente un 0.5 a 2% en peso del dióxido total, y favorece sus aplicaciones como pigmento, por lo que no es un producto secundario indeseado. Además, pueden añadirse metales alcalinos, como sales de potasio, para controlar la formación de cristales de dióxido de



BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



Borja Hernández García

Octubre 2012

titanio, o agentes desengrasantes como propiamente TiO_2 con tamaño de partícula mayor, para impedir el ensuciamiento de las paredes interiores del reactor.

La reacción en todo caso transcurre a presiones altas por este método, de al menos 15 bar, incluso hasta 50 bar.



Borja Hernández García

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



4. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO

Para comenzar los cálculos que permiten dimensionar la parte final del proceso, se caracteriza en primer lugar la corriente de salida del horno de oxidación, donde se lleva a cabo la transformación del tetracloruro de titanio en dióxido de titanio sólido y cloro gas, mediante el aporte de oxígeno. La corriente de salida será pues la entrada en esta parte de proceso, y por ello se especifican sus condiciones antes de comenzar con el diseño de equipos.

4.1. Base de cálculo y condiciones iniciales.

Datos de [Bibliografía #1]. Estos valores se utilizarán en el dimensionamiento del intercambiador de calor E-105.

Corriente de gas+sólidos en suspensión:

$$\begin{aligned}3.754 \cdot 10^6 \text{ mol/día } TiO_2 &= 43.45 \text{ mol/s } TiO_2 \\7.588 \cdot 10^6 \text{ mol/día } Cl_2 &= 87.82 \text{ mol/s } Cl_2 \\ \text{Total de la mezcla:} &= 131.27 \text{ mol/s}\end{aligned}$$

Densidad aproximada de la mezcla:

$$\begin{aligned}\rho_{TiO_2} &= 4200 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{Cl_2} &= 3.22 \text{ kg/m}^3 \\ \rho &= 1261 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Capacidad calorífica aproximada de la mezcla:

Puesto que es dependiente de la temperatura, se calcula para la temperatura de operación del intercambiador de calor E-105, 1808K.

$$C_p = 10.41 \text{ J/molK}$$

Viscosidad media:

La aproximación de este dato es difícil por lo que se toma un valor de:

$$\mu = 8.4 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Conductividad térmica aproximada:

$$k = 6.57 \text{ W/mK}$$

4.2. Velocidad límite de sedimentación para partículas esféricas [Formulario #1][Bibliografía #2]

$$u = \sqrt{\frac{4gD_p(\rho_p - \rho)}{3C_D\rho}}$$



Donde D_p es el diámetro de las partículas

ρ_p y ρ son las densidades de las partículas y del fluido

$$C_D = 0.44 \text{ para } 1000 < Re < 200\,000$$

u es la velocidad límite

Puesto que de la oxidación se obtienen partículas de un tamaño cercano a 15mm, se introduce este valor como diámetro para asegurar la velocidad mínima a la que las partículas mayores serán arrastradas.

$$D_p = 0.015 \text{ mm}$$

$$u = \sqrt{\frac{4 \cdot 9.8 \cdot 0.015 \cdot (4200 - 3.22)}{3 \cdot 0.44 \cdot 3.22}} = 20.63 \text{ m/s}$$

Para esas condiciones de presión y temperatura, se comprueba si la parte gaseosa de la mezcla alcanza velocidad del sonido, no deseable. Considerando el gas como ideal y el flujo en las tuberías como prácticamente isotérmico, la velocidad máxima que alcanza el flujo [Biblio. #2]:

$$a' = \sqrt{\frac{TRg_c}{M}} = \sqrt{\frac{g_c p_{st}}{\rho}} \sim 3000 \text{ m/s} \gg 20.63 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

No se prevén problemas en este aspecto puesto que la velocidad es mayor de la que se tendrá en el proceso.

4.3. Dimensionamiento del intercambiador E-105 [según método Kern, DMTL, Bibliografía #4]

Función: enfriamiento

Fluido caliente: Suspensión de TiO_2 en Cl_2 , con propiedades:

Temperatura de entrada: 1800°C

Temperatura de salida: 50°C

Temperatura de operación: 1535°C

$$q = \dot{m} C_p \Delta T = 3.39 \cdot 10^6 \text{ J/s}$$

$$k = 6.57 \text{ W/mK}$$

$$\mu = 8.4 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$C_p = 10.41 \text{ J/molK}$$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

$$\rho = 1261 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = 131.27 \text{ mol/s} = 0.969 \text{ m}^3/\text{s}$$

Fluido frío: Dowtherm A [tabla anexo #1], con propiedades:

Temperatura de entrada: 25°C

Temperatura de salida: 265°C

Temperatura de operación: 145°C

$$k = 0.1171 \text{ W/mK}$$

$$\mu = 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$C_p = 1900 \text{ J/kgK}$$

$$\rho = 947.8 \text{ kg/m}^3$$

Puesto que el calor intercambiado es $3.39 \cdot 10^6 \text{ J/s}$, para calcular el flujo necesario de refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{q}{\Delta T C_p} = \frac{3.39 \cdot 10^6}{240 \cdot 1900} = 7.43 \text{ kg/s} = 7.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir de este momento se procede con el método de diseño DTML para el diseño del intercambiador [Bibliografía, #4, #5]

Cálculo de la temperatura media logarítmica, consideradas dos corrientes horizontales en contracorriente [Formulario #3]

$$\Delta T_{ln} = \frac{1535 - 25}{\ln \frac{1535}{25}} = 366.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Factor de corrección de la diferencia media de temperaturas [Bibliografía #4, #5][Anexo #2]

$$\Delta T_m = \Delta T_{ln} \cdot F$$

con $F \in (0,1)$

El valor de F se encuentra tabulado según R y S y el formato del intercambiador

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 7.29$$
$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0.13$$



Se comprobará tras elegir las características del cambiador. Si $F > 0.75$ la disposición es adecuada.

Cálculo del área necesaria para la transferencia de calor [Biblio. #4][Form. #4]: Para hallar el área es necesario fijar un valor para el coeficiente U . El coeficiente típico para un gas puede estar entre 20 y 200, por lo que en principio y para comenzar cálculos e iteraciones se podría comenzar en $U_0 = 150$. Sin embargo un mayor coeficiente U disminuye el área necesaria, por lo que, para un $U_0 = 230 \text{ W/m}^2\text{°C}$:

$$A = \frac{q}{U_0 \Delta T_m} = 40.17 \text{ m}^2$$

Se detallan ahora las características constructivas que hacen que el coeficiente de intercambio " U " supere al supuesto inicialmente y de esta forma el diseño sea efectivo:

Fluido caliente por tubos

Diámetro externo de tubos, $d_o = 0.026 \text{ m}$

Espesor tubos, $t = 0.0032 \text{ m}$

Diámetro interno tubos, $d_i = 0.0196 \text{ m}$

Logitud tubos, $L = 3.22 \text{ m}$

Número de pasos = 1

Número de tubos por paso = 152

Velocidad lineal del fluido, $u = 21.14 \text{ m/s}$

Número de Prandtl, $Pr = 0.0001$

Número de Reynolds, $Re = 6.22 \cdot 10^6$

Alineación de tubos: cuadrada

Pitch, $Pt = 0.033 \text{ m}$

Constantes K, n [anexo #3]; $K = 0.215, n = 2.207$

Diámetro bancada = 0.508 m

Coeficiente [anexo 4] $j_H = 0.002$

Número de Nusselt, $Nu = 1.609$

Coeficiente de transmisión de calor interno $h_i = 539.6 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Fluido frío por carcasa

Diámetro carcasa [anexo #9] = 0.598 m

Espacio entre baffles = 0.1196

Número de baffles = 27

Corte del baffle = 25%

Área de flujo cruzado = 0.014 m

Velocidad lineal en carcasa = 0.552 m/s

Diámetro equivalente = 0.0257

Número de Reynolds, $Re = 2.4 \cdot 10^4$

Número de Prandtl, $Pr = 9.09$

Coeficiente [anexo #5] $j_H = 5 \cdot 10^{-3}$

Nusselt, $Nu = 1.75 \cdot 10^2$

Coeficiente de transmisión de calor externo $h_o = 798.8 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Coeficiente de ensuciamiento en tubos [anexo #6] = 3500 $\text{W/m}^2\text{°C}$

Coeficiente de ensuciamiento en carcasa = 5000 $\text{W/m}^2\text{°C}$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Conductividad térmica del material del cambiador $\approx 98 \text{ W/mK}$

Nuevo U calculado, $U_R = 231 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Se opta por un intercambiador con carcasa pull-through, que permite su apertura habitual para limpieza de los tubos. Así mismo, el fluido caliente se introduce por los tubos para facilitar la limpieza durante el mantenimiento.

Se comprueba que el factor de corrección de la diferencia media de temperaturas es $F=0.8 > 0.75$, por lo que el diseño parece correcto.

Se calcula ahora la caída de presión. Se trata de una caída de presión alta en los tubos pero consecuente con la velocidad a la que entra el fluido. Tras repetidas iteraciones ésta es la diferencia mínima de presión que ha podido obtenerse.

Caída de presión en los tubos

Factor de fricción [anexos #7 #8] $j_f = 0.001$

Caída de presión $\Delta P = 5.08 \text{ bar}$

Caída de presión en la carcasa

Factor de fricción $j_f = 0.06$

Caída de presión $\Delta P = 0.46 \text{ bar}$

4.4. Dimensionamiento del filtro de mangas F-101

Caudal: $0.969 \text{ m}^3/\text{s}$

Temperatura: 50°C

Diámetro máximo de partícula, $D_0 = 15 \text{ mm}$

Tipo de polvo: dióxido de titanio

Concentración: 0.66 molar

Una vez contrastados distintos modelos de fabricantes para conocer los estándares de las bolsas (mangas) comerciales existentes, se elige una bolsa de 5.63×32 " (diámetro por longitud), aproximadamente $140 \times 812 \text{ mm}$ [Biblio. #7, #8, #9][Anexo #10] en poliéster. El filtro deberá constar además de un método de auto-limpieza, pulse-jet, por el que se inyecta aire comprimido para sacudir las mangas y recoger el polvo de dióxido de titanio. El periodo entre impulsos se incluirá en los cálculos.

Se procede ahora al diseño del filtro y el cálculo de la caída de presión que ofrecerá, según el método experimental de Dennis & Klemm [Biblio. #6].

La relación "air-to-cloth ratio", entre el flujo volumétrico tiene un valor típico:



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

$$A/C = 1.20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min} = 0.02 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$$

El área unitaria de una manga del filtro, A_U :

$$A_U = \frac{\pi\phi^2}{4} + \pi\phi L = 0.372 \text{ m}^2$$

El número de mangas n :

$$n = \frac{Q/AC}{A_U} = 130 \text{ mangas}$$

Para la velocidad de filtración son necesarios los parámetros, A_{PE} , A_{OM} y S_E , referidos a las dimensiones de la carcasa del filtro, supóngase 1.6mx1.6m. La velocidad de filtrado u_f depende del caudal y de la sección S_E .

$$\begin{aligned} A_{PE} &= 1.6 \cdot 1.6 = 2.56 \text{ m}^2 \\ A_{OM} &= \frac{n\pi\phi^2}{4} = 2 \text{ m}^2 \\ S_E &= 2.56 - 2 = 0.56 \text{ m}^2 \\ u_f &= \frac{Q}{S_E} = \frac{0.969}{0.56} = 1.73 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Es una velocidad un poco alta (recomendable 1 a 1.3 m/s) por lo que variando las dimensiones a 1.6x1.8m se obtiene una velocidad de filtrado $u_f = 1.1\text{m/s}$.

Se necesitará por tanto una carcasa de dimensiones 1.6x1.8m de base con una altura suficiente para las dimensiones de las bolsas, 1.75m. Se requerirán 130 bolsas con correspondientes canastillas de acero de sus mismas dimensiones, y una tolva inferior de recepción de sólidos, con inclinación de 60° en cada cara.

Se calcula ahora la caída de presión en el filtro, mediante las fórmulas determinadas por Denny & Klemm [Formulario #5].

$$\begin{aligned} C_t &= 0.67 \\ V_f &= 1.1 \text{ m/s} \\ \text{Presión de los pulsos } P_f &= 600 \text{ kPa} \\ \text{Constante experimental } K_2 &= 10\,000 \\ \text{Tamaño entre impulsos } t &= 10 \text{ s} \end{aligned}$$

La presión tomada para los pulsos de aire comprimido es estándar, y la constante experimental puede variar entre un amplio rango de valores, pero se toma el de 10 000 tras observar valores típicos de limpieza de gases que contienen arenas y cementos [Biblio.#6].



Puesto que la carga de sólidos es alta, es recomendable que el tiempo entre pulsos sea corto para evitar caídas altas de presión. Para $t=30s$ la caída de presión aumenta hasta 24bar y para 20s es de 16bar. En principio se selecciona el menor tiempo, 10 segundos, pero dadas las características del sistema es posible que este tiempo pueda aumentarse hasta 20-25s sin necesidad de elevar la presión en la entrada y así economizar la energía necesaria para los pulsos de aire comprimido.

$$\begin{aligned} \text{Masa de polvo } W_0 &= 0.67 \cdot 1.1 \cdot 10 = 7.37 \text{ kg/m}^2 \\ P_e &= 1045 \cdot 1.1 \cdot 600\,000^{-0.65} = 0.202 \text{ Pa} \\ \Delta P &= 0.202 + 10\,000 \cdot 7.37 \cdot 1.1 = 810700 \text{ Pa} = 8.1 \text{ bar} \end{aligned}$$

Suele añadirse una caída de presión de unos 0.015 bar correspondientes a la trayectoria del fluido por la carcasa, para dar un total de unos 8.12 bar.

4.5. Diseño de conducciones de mezcla de cloro gas y dióxido de titanio sólido

4.5.1. Primer tramo: De horno de oxidación a intercambiador E-105

Temperatura diseño será superior a temperatura de trabajo $\approx 1900^\circ\text{C}$

Presión de diseño = $1.1 \times P_{\max} = 1.1 \times P_{\text{salida del horno}} = 1.1 \times 30 = 33 \text{ bar}$

Velocidad de diseño = Velocidad al final de la conducción = Velocidad a la entrada del intercambiador E-105, $u = 21.14 \text{ m/s}$

Densidad de la mezcla $\rho = 1261 \text{ kg/m}^3$

Flujo volumétrico $Q = 0.969 \text{ m}^3/\text{s}$

Viscosidad de la mezcla $\mu = 8.4 \text{ E-05 Pas}$

Diámetro de tubería [Biblio. #5]:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}} = 0.242 \text{ m} = 61 \text{ in}$$

Espesor de tubería [Formulario #6] con datos en unidades del sistema inglés

$$\frac{2SE}{M} \cdot t - 2Pt = PD_i + 2SEC$$

Con $S = 15000 \text{ lb/in}^2$

$E = 0.8$

$M = 1.125$

$P = \text{Presión de diseño} = 33 \text{ bar} = 484 \text{ psi}$

$C = 0.11811$

El espesor $t = 1.59 \text{ in} = 40.4 \text{ mm}$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Según el catálogo general de tuberías no puede escogerse una de acero dado las características del fluido. Se escoge un diámetro interior interno estándar [anexo #12] pero es necesario que el espesor y el material sean especiales:

$$\begin{aligned}D_i &= 242.8\text{mm} \\t &= 40.4\text{mm} \\D_o &= 323.5\text{mm}\end{aligned}$$

Para esta tubería, la velocidad:

$$u = \frac{4Q}{\pi D_i^2} = 20.94 \text{ m/s}$$

Caída de presión en el primer tramo de tubería

Asumiendo que no hay diferencia de alturas, primero se fija una longitud del tramo y se añade la longitud equivalente [anexo #10]. Si se considera que en este tramo existirá una válvula de control de velocidad así como instrumentación necesaria para el control del caudal, $L+L_{eq} = 20\text{m}$. El número de Reynolds de la mezcla es de $6.22 \cdot 10^6$, dato necesario para calcular el factor de fricción según Von Karman [Formulario #7]o mediante el Ábaco de Moody [Anexo #11].

$$\begin{aligned}Re &= 6.22 \cdot 10^6 \\f &= 0.03 \\h_1 &= 0.0826f \left(\frac{Q^2}{D^5} \right) (L + L_{eq}) = 55 \text{ mca} = 5.4 \text{ bar}\end{aligned}$$

4.5.2. Segundo tramo de tubería, desde intercambiador E-105 a filtro F-101

La ventaja de este tramo está en la temperatura de diseño, mucho más asequible que en el tramo previo al cambiador E-105, y que permite utilizar materiales más habituales. La tubería por tanto es similar en dimensiones para mantener la velocidad por encima de la sedimentación.

Se asume que, al salir la mezcla del horno con 30 bar de presión pero perder por rozamiento 5.4 bar en la tubería y 5.08 bar en el intercambiador, llega a este tramo con unos 19.52 bar de presión

Temperatura diseño $\approx 80^\circ\text{C}$

Presión de diseño = $1.1 \times P_{\text{max}} = 1.1 \times P_{\text{salida de E-105}} = 1.1 \times 19.52 = 21.5 \text{ bar}$

Velocidad de diseño = Velocidad al final de la conducción = Velocidad a la entrada del filtro F-101, $u = 21.14 \text{ m/s}$

Densidad de la mezcla $\rho = 1261 \text{ kg/m}^3$

Flujo volumétrico $Q = 0.969 \text{ m}^3/\text{s}$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Viscosidad de la mezcla $\mu = 8.4 \text{ E-05 Pas}$

Se desprecian las variaciones de viscosidad o densidad que puedan producirse por el enfriamiento.

El diámetro calculado es igual al tramo anterior, pero el espesor es en este caso [Formulario #6]:

$$t = 27.1 \text{ mm}$$

Por lo que se haría necesaria la misma tubería que en el apartado anterior pero variando el espesor.

$$D_i = 242.8 \text{ mm}$$

$$t = 27.1 \text{ mm}$$

$$D_o = 297 \text{ mm}$$

$$u \sim 21 \text{ m/s}$$

Para calcular la caída de presión de forma similar al anterior tramo, se toma una longitud y una longitud equivalente que corresponda con la variación de dirección o la existencia de instrumentación. En este caso se toman otros 10m de longitud pero se amplía a 20m la longitud equivalente incluyendo válvula de control, diafragma medidor del caudal, y los codos pertinentes para inyectar la mezcla por la parte inferior del filtro de mangas F-101. El número de Reynolds se mantiene.

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.0826f \left(\frac{Q^2}{D^5} \right) (L + L_{eq}) = 0.0826 \cdot 0.03 \cdot \left(\frac{0.969^2}{0.2428^5} \right) \cdot (10 + 20) \\ &= 82.7 \text{ mca} = 8.3 \text{ bar} \end{aligned}$$

4.6. Caída de presión hasta F-101. Necesidad de aporte de presión al circuito donde circula la mezcla sólido-gas

La caída de presión en este circuito es el resultado de sumar las caídas de presión originadas por cada uno de sus elementos, es decir, el intercambiador E-105, el filtro F-101 y los tramos de tubería entre ellos:

$$\begin{aligned} \Delta P_{TOTAL} &= \Delta P_{TRAMO 1 TUBERIA} + \Delta P_{E105} + \Delta P_{TRAMO 2 TUBERIA} + \Delta P_{F101} \\ &= 5.4 + 5.1 + 8.3 + 8.1 = 26.9 \text{ bar} \end{aligned}$$

En todo caso, la caída de presión no supera la presión con la que la mezcla sale del horno de oxidación, 30 bar. Por tanto no es necesario ningún aporte de presión al circuito.



4.7. Molido húmedo C-101

La base de cálculo para este equipo será supuesto el máximo rendimiento en las etapas anteriores, lo cual permitirá un margen de seguridad en el diseño. El caudal molar diario máximo que se obtendría del horno de oxidación, e ignorando las pérdidas en los equipos anteriores al molido es de 3754 kmol.

$$\dot{m} = 3754 \text{ kmolTiO}_2/\text{dia} = 12.497 \text{ ton/h} = 27807 \text{ lb/h}$$

El índice de Bond y la abrasividad del material se toman de [Bibliografía #11 y #12] para calcular la potencia requerida en el molido según las leyes de Rittinger y Kick, y de Bond [Bibliografía #2][Formulario #10].

Índice de Bond del "TiO₂ slag" = 6.8 kW/ton para partículas de entre 400µm y 0.4mm.
Abrasividad = 140 mg/kg

El mineral de titanio normalmente tiene un índice de alrededor de 11.88 kW/ton.

El diámetro de las partículas en la entrada es de unos 15 ó 20mm y el objetivo es reducirlo hasta 0.5mm aproximadamente. Ante la posibilidad de que se hayan formado agregados de mayor tamaño en la fase anterior, se toma como valor máximo 25mm al introducirlo en la fórmula de Rittinger y Kick.

La potencia requerida para el molido es:

$$\begin{aligned} D_{\text{entrada}} &= 25 \text{ mm} \\ D_{\text{salida}} &= 0.5 \text{ mm} \\ \text{Índice de Bond } W_t &= 6.8 \text{ kW/ton} \\ P &= 12.497 \cdot 0.3162 \cdot 6.8 \left(\frac{1}{\sqrt{0.5}} - \frac{1}{\sqrt{25}} \right) = 32.6 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Puesto que el molido es en medio húmedo no es necesario aplicar factores de corrección. El consumo típico en el molido de este tipo de materiales es siempre mayor de 16kWh/ton.

Sumando aditivos, la masa total de producto en el interior del molino es de:

$$\dot{m}_T = 14.37 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

Se toma inicialmente un volumen de molino de 9 metros cúbicos, es decir, de dimensiones 2mx2.86m (diámetro por longitud). La densidad de la mezcla es aproximadamente 4400 kg/m³, por lo que el flujo másico ocuparía 3.3 metros cúbicos, es decir, aproximadamente un tercio del molino.

Las bolas de molido normalmente ocupan un 0.4 de la fracción total de volumen durante el molido. Para un diámetro de bola de 0.02m, que es del orden de tamaño de partícula a reducir:



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

$$D_{bola} = 0.02m$$
$$V_{bola} = 4\pi r^2 = 0.00126 m^3$$

Si el volumen a ocupar es 0.4 de 9 metros cúbicos:

$$9m^3 \cdot 0.4 = 3.6 m^3$$
$$n_{bolas} = \frac{Volumen}{Volumen\ bola} = \frac{3.6}{0.00126} \sim 3000\ bolas$$

Se halla la velocidad crítica según [Bibliografía #2][Formulario #11]

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8}{1 - 0.01}} = 0.511\ m/s$$

La velocidad de giro normalmente es el 80% de la velocidad crítica. Se tomará un 60% al tratarse de un molido viscoso.

$$V_{giro} = 0.306\ m/s \sim 18\ rpm$$

4.8. Secado en E-107

Los cálculos del equipo de secado son similares a los de un intercambiador de calor de un único tubo concéntrico. La cantidad de agua a evaporar para que el contenido en humedad final sea de un 1% o menor, es de 1350kg/h. El flujo de calor requerido es por tanto el necesario para elevar la temperatura del agua contenida en el producto desde 70 a 110°C.

$$q = \dot{m}C_p\Delta T = 1350 * 4180 * 40 = 6.3 \cdot 10^4\ J/s$$

Durante el enfriamiento en el intercambiador E-105 el refrigerante DowthermA almacenó un calor del orden de $10^6\ J/s$, por lo que es posible utilizar este fluido en el secado de forma que aporte calor. Al tener ya fijada la cantidad de Dowtherm en el enfriamiento en E-105, los cálculos varían ligeramente en este caso, ya que en lugar de hallar el flujo másico necesario para el intercambio de calor, es necesario iterar con la superficie de contacto [Formulario #4].

Se supone un flujo paralelo entre la corriente de dióxido de titanio y el fluido, que pasa de entrar a 265°C a salir a 230°C. Esta diferencia de temperaturas es lo suficientemente amplia para proporcionar la energía suficiente al dióxido, y resulta adecuada para el flujo másico de Dowtherm además de suponer un ahorro en su posterior refrigeración en E-106. El factor de corrección de la diferencia media de temperaturas [Bibliografía #4, #5][Anexo #2], $F \approx 1 > 0.75$ luego el diseño parece apropiado.

Las características de los fluidos son:



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Dióxido de titanio:

Temperatura de entrada: 60-70°C

Temperatura de salida: 110°C

$$q = \dot{m}C_p\Delta T = 6.3 \cdot 10^4 J/s$$

$$k = 21 W/mK$$

$$\mu = 1 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$$

$$C_p = 1100 J/molK$$

$$\rho = 4100 kg/m^3$$

$$\dot{m} = 0.375 kg/s = 0.000396 m^3/s$$

Dowtherm A [tabla anexo #1]:

Temperatura de entrada: 265°C

Temperatura de salida: 230°C

$$k = 0.1171 W/mK$$

$$\mu = 5.6 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s$$

$$C_p = 1900 J/kgK$$

$$\rho = 947.8 kg/m^3$$

$$\dot{m} = 7.49 kg/s = 0.0079 m^3/s$$

Con estas temperaturas, la temperatura media logarítmica $\Delta T_m = 154.5$ °C. Se supone un valor del coeficiente de intercambio de calor $U_0 = 75 W/m^2 \cdot ^\circ C$. Para este valor de U, el área $A = 5.6 m^2$. Las características del secadero son entonces:

Interior (circulando dióxido de titanio)

Diámetro interno $D_i = 1.997m$

Espesor = 0.010m

Diámetro externo $D_0 = 2m$

Longitud del tubo $L = 6m$

Velocidad lineal $u = 0.145 m/s$

Reynolds $Re = 1.18 \cdot 10^6$

Nusselt $Nu = 685.45$

Coficiente interno de intercambio de calor $h_i = 7208 W/m^2 \cdot ^\circ C$

Encamisado (circulando Dowtherm A)

Diámetro externo $D_{ext} = 2.04m$

Diámetro equivalente $D_{eq} = 0.402m$



Velocidad lineal $u = 0.57 \text{ m/s}$

Reynolds $Re = 3.88 \cdot 10^5$

Nusselt $Nu = 280.78$

Coefficiente externo de intercambio de calor $h_0 = 81 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Coefficiente de ensuciamiento en interior = $5000 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Coefficiente de ensuciamiento en exterior = $5000 \text{ W/m}^2\text{°C}$

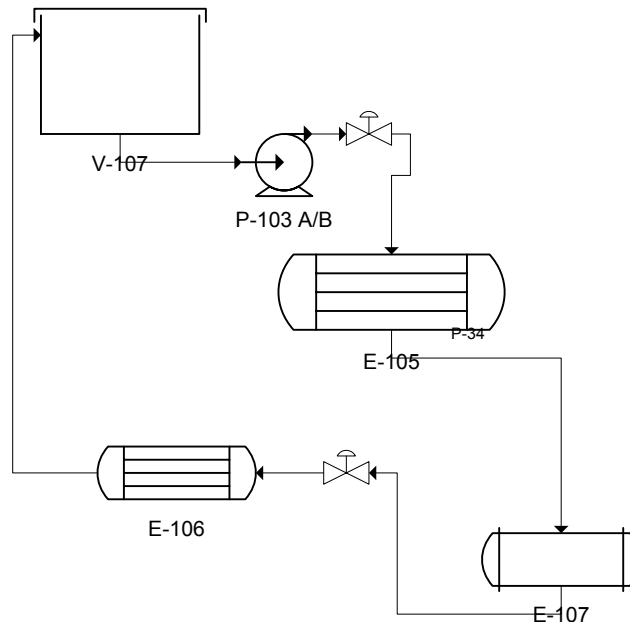
Conductividad térmica del material del cambiador $\approx 46 \text{ W/mK}$

El valor del coeficiente de transferencia de calor hallado es $U_R = 77.14 \text{ W/m}^2\text{°C}$, que es mayor que el supuesto, por lo que pueden darse por válidos los parámetros diseñados.

Es de especial interés conocer la pérdida de presión que sufre el fluido a través del encamisado, para un posterior diseño de su circuito de recuperación. La caída de presión del Dowtherm en el encamisado del secadero E-107 es de: $\Delta P_{E107} = 1.18\text{kPa} = 0.12\text{bar}$.

4.9. Diseño del circuito del refrigerante Dowtherm A

Este circuito se representa esquemáticamente en la figura:



Supuesta la posición de la bomba P-103 A/B justo a la salida del depósito, se diferencian tres tramos de tuberías a diseñar. Entre el intercambiador E-105 y el secadero E-107 contiene Dowtherm A a 265°C . Desde el secadero E-107 a E-106 contiene Dowtherm A a 230°C y desde el intercambiador E-106 al depósito V-107, el mismo fluido a 25°C .



4.9.1. En primer lugar se realizan los cálculos para dimensionar el intercambiador E-106.

Características fluido caliente: DowthermA [anexo #1]:

$$\begin{aligned}T \text{ entrada} &= 230^{\circ}\text{C} \\T \text{ salida} &= 25^{\circ}\text{C} \\T \text{ de operación} &= 145^{\circ}\text{C} \\ \text{Cantidad de calor a retirar, } q &= 2.89 \cdot 10^6 \text{ J/s} \\ \text{Viscosidad, } \mu &= 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ Pa s} \\ \text{Conductividad térmica, } k &= 0.1171 \text{ W/mK} \\ \text{Capacidad calorífica, } CP &= 1900 \text{ J/molK} \\ \text{Densidad, } \rho &= 947.8 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Flujo volumétrico, } Q &= 0.0079 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Fluido frío: Agua (CW) [Biblio. #1]

$$\begin{aligned}T \text{ entrada} &= 22^{\circ}\text{C} \\T \text{ salida} &= 80^{\circ}\text{C} \\T \text{ de operación} &= 55^{\circ}\text{C} \\ \text{Viscosidad, } \mu &= 8 \cdot 10^{-4} \text{ Pa s} \\ \text{Conductividad térmica, } k &= 0.59 \text{ W/mK} \\ \text{Capacidad calorífica, } CP &= 4180 \text{ J/molK} \\ \text{Densidad, } \rho &= 996 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Siguiendo el mismo procedimiento DMTL que en el diseño del intercambiador E-105 calculado previamente [Biblio. #4, #5] se obtiene:

$$\dot{m}_{\text{fluido frío}} = 11.94 \text{ kg/s} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{in} &= 37.58 \\ \text{Con } U_0 &= 650 \text{ W/m}^2\text{C} \\ A &= 118.49 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Las características constructivas del intercambiador son:

Fluido frío por tubos
Diámetro externo de tubos, $d_0 = 0.016\text{m}$
Espesor tubos, $t = 0.0016\text{m}$
Diámetro interno tubos, $d_i = 0.0168\text{m}$
Logitud tubos, $L = 7.32\text{m}$
Número de pasos = 4
Número de tubos por paso = 85
Velocidad lineal del fluido, $u = 1.09 \text{ m/s}$
Número de Prandtl, $Pr = 5.67$
Número de Reynolds, $Re = 1.75 \cdot 10^4$
Alineación de tubos: cuadrada
Pitch, $Pt = 0.025\text{m}$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Constantes K, n [anexo #3]; $K = 0.158, n = 2.263$
Diámetro bancada = 0.475m
Coeficiente [anexo 4] $j_H = 0.004$
Número de Nusselt, $Nu = 151.12$
Coeficiente de transmisión de calor interno $h_i = 6977 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Fluido caliente por carcasa
Diámetro carcasa [anexo #9] = 0.513m
Espacio entre baffles = 0.2226
Número de baffles = 35
Corte del baffle = 45%
Área de flujo cruzado = 0.021m
Velocidad lineal en carcasa = 0.57 m/s
Diámetro equivalente = 0.0144
Número de Reynolds, $Re = 1.09 \cdot 10^4$
Número de Prandtl, $Pr = 9.09$
Coeficiente [anexo #5] $j_H = 6 \cdot 10^{-3}$
Nusselt, $Nu = 129.32$
Coeficiente de transmisión de calor externo $h_o = 1332 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Coeficiente de ensuciamiento en tubos [anexo #6] = 4000 $\text{W/m}^2\text{°C}$
Coeficiente de ensuciamiento en carcasa = 5000 $\text{W/m}^2\text{°C}$
Conductividad térmica del material del cambiador, acero $k \approx 46 \text{ W/mK}$

Nuevo U calculado, $U_R = 675 \text{ W/m}^2\text{°C}$

El tipo de cambiador es outside-packed. No parece muy necesario limpiar a menudo el interior dado que ninguno de los fluidos transporta en principio suciedad. El fluido caliente se coloca por carcasa para permitir un mejor enfriamiento en contacto con el ambiente. Para aumentar las velocidades de paso, inicialmente muy bajas, se colocan cuatro pasos en los tubos y deflectores de mayor corte del habitual en la carcasa.

Las caídas de presión en tubos y carcasa son:

Caída de presión en los tubos (fluido: agua)

Factor de fricción [anexos #7 #8] $j_f = 0.003$
Caída de presión $\Delta P = 1 \text{ bar}$

Caída de presión en la carcasa (fluido: DowthermA)

Factor de fricción $j_f = 0.03$
Caída de presión $\Delta P = 0.62 \text{ bar}$

El factor de corrección de la diferencia media de temperaturas [Bibliografía #4, #5][Anexo #2], $F > 0.75$ luego el diseño parece apropiado.

**4.9.2. Tubería del circuito de recirculación de refrigerante Dowtherm**

Se toma $u=0.56\text{m/s}$ como velocidad del fluido en todo el circuito, puesto que esta velocidad es muy aproximada a la que ha de tener en los pasos por los intercambiadores E-105 y E-106 y el secadero E-107.

$$\begin{aligned} \text{Diámetro de la tubería} \\ \text{Sección } S &= \frac{\dot{Q}}{u} = 0.138 \text{ m}^2 \\ D &= 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.42\text{m} \sim 17'' \end{aligned}$$

El número de Reynolds indica que el flujo es en caso de ambos tramos turbulento, $Re \gg 4000$.

Se calcula ahora la caída de presión causada por la propia longitud del circuito [Formulario #8, Biblio. #5]. En este caso no se incluyen los intercambiadores, que se añadirán posteriormente en la ecuación de Bernouilli para hallar la presión que debe aportarse por bombeo.

$$\frac{-\Delta P}{L} = f_{SF} \cdot f \cdot \frac{u^2}{2gD}$$

Con f_{SF} fijo e igual a 1.2, L siendo la longitud total, conteniendo la Longitud equivalente en forma de instrumentación, en este caso, al menos dos válvulas y los correspondientes medidores, $L = 100\text{m}$, y f a partir de la expresión [Formulario #9][Biblio. #5]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,7065} - \frac{5,042}{Re} \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{1,1098}}{2,8257} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right) \right]$$

Se obtiene una caída de presión:

$$-\Delta P_L = L f_{SF} f \frac{u^2}{2gD} = 0.076 \text{ mca}$$

Se obvia el signo negativo como indicador de pérdida de presión: $\Delta P = 0.076 \text{ mca}$.

Sumada esta caída de presión a la obtenida para cada intercambiador de calor:

$$\Delta P_T = \Delta P_L + \Delta P_{E105} + \Delta P_{E106} + \Delta P_{E107}$$

Con las caídas de presión de los intercambiadores, $\Delta P_{E105} = 0.47 \text{ bar}$, $\Delta P_{E107} = 0.12 \text{ bar}$ y $\Delta P_{E106} = 0.62 \text{ bar}$ en unidades de metros de columna de agua, $\Delta P_{E105} = 4.84 \text{ mca}$, $\Delta P_{E107} = 1.20 \text{ mca}$ y $\Delta P_{E106} = 6.32 \text{ mca}$:

$$\Delta P_T = \Delta P_L + \Delta P_{E105} + \Delta P_{E106} + \Delta P_{E107} = 0.076 + 4.84 + 6.32 + 1.2 = 12.44 \text{ mca}$$



Para el cálculo de la presión a aportar se plantea la ecuación de Bernoulli para los puntos 1 y 2, siendo el punto 1 la superficie del líquido refrigerante en el depósito [figura 4.2].

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 + h_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + h_f$$

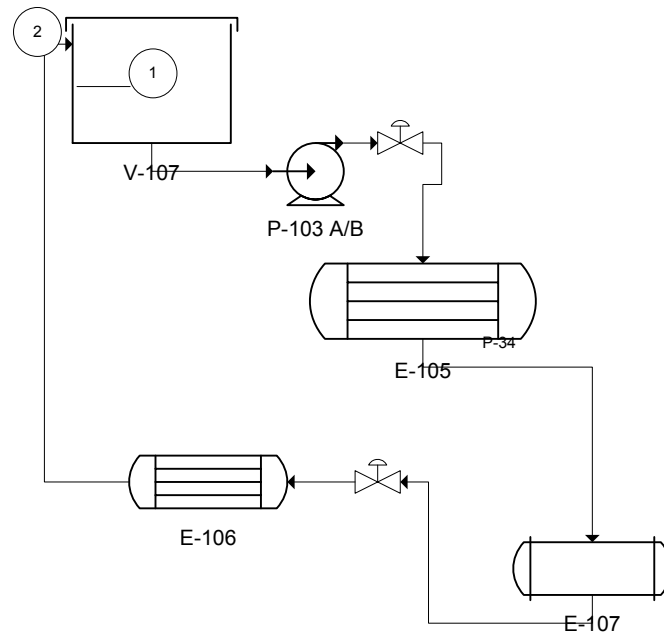


Figura 4.2

En todo caso, la superficie del líquido debe estar 3 metros por debajo del nivel máximo del depósito, por lo que $z_2 - z_1 = 3\text{m}$. La presión en 2 y en 1 es la atmosférica puesto que el tanque está cubierto pero no a presión. La velocidad en 1 del fluido es igual a cero. Se escoge un diámetro comercial de tubería, $D=18''$, que es aproximado al calculado e implica que la velocidad $u = 0.55\text{m/s}$. Considerando también un factor de seguridad en el caudal para el diseño, 1.2, por el que se multiplica el caudal inicial de 0.0079 se obtiene $Q = 0.00948\text{m}^3/\text{s} = 34.13\text{ m}^3/\text{h}$.

$$\frac{101300}{1050g} + \frac{0}{2g} + h_p = \frac{101300}{1050g} + \frac{0.55^2}{2g} + 3 + 12.44$$

$$h_p = 15.52\text{ mca}$$

Se opta por ampliar el valor hasta 16mca para escoger posteriormente la bomba P-103 A/B.

Para calcular el espesor de tubería se opera de forma similar a los apartados anteriores, según [Formulario #6].



$$\frac{2SE}{M} \cdot t - 2Pt = PD_i + 2SEC$$

La presión de diseño a incluir en esta ecuación será la máxima existente en el circuito. Los posibles puntos de máxima presión son el impulso de la bomba y la base del depósito. Se comprueba cuál de ellos ofrece una presión mayor.

$$P_{impulso P-103} = gph_p = 139\,039\text{ Pa}$$

$$P_{salida\ depósito} = P_{atm} + \rho gh_{deposito} = 358\,550\text{ Pa} = P_{max}$$

$$P_{diseño} = 1.1 P_{max} = 394\,405\text{ Pa} = 57.19\text{ psi}$$

La presión interna de diseño se obtiene restando la presión atmosférica

$$P_{int.diseño} = 57.19 - 14.7 = 42.49\text{ psi}$$

De la ecuación para obtener el espesor, t [Formulario #6] se obtiene

$$t = 0.0167\text{ in} = 4.46\text{ mm}$$

De la tabla de tuberías comerciales [anexo #12][Bibliografía #10]:

$$D_i = 0.445\text{ m}$$

$$t = 6.35\text{ mm}$$

$$D_o = 0.457\text{ m}$$

Recalculando para estos valores se obtienen cifras muy similares al diámetro supuesto inicialmente, por lo que se dan por válidas las especificaciones de $h_p = 16\text{ mca}$ y $Q = 34.13\text{ m}^3/\text{h}$ ($0.00948\text{ m}^3/\text{s}$) para seleccionar la bomba P-103 A/B. Puede seleccionarse uno de los modelos del catálogo del fabricante KSB, de la serie Etanorm/Etabloc 40-125 [Anexo #14].

4.10. Molido seco C-102

El cálculo de las características del equipo de molido se realiza de forma similar al molino C-101 [Bibliografía #2][Formulario #10], añadiendo el factor que corrige la potencia necesaria en caso de molido seco (4/3). La masa de sólidos tras el secado es de 12.85 ton/h.

$$P' = 12.850 \cdot 0.3162 \cdot 6.8 \left(\frac{1}{\sqrt{0.03}} - \frac{1}{\sqrt{0.5}} \right) = 120.3\text{ kWh}$$

Añadiendo el factor correspondiente al molido seco

$$P = \frac{4}{3} P' = 160.46\text{ kWh}$$

Se sabe que la efectividad de estos equipos no es total, por lo que, a la hora de calcular su volumen aproximado ha de tenerse en cuenta que, procedentes de las operaciones previo almacenaje (tamizado, selección de diferentes tamaños de partícula para distintas aplicaciones



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

del material), es posible que vuelvan al molido una cierta cantidad de sólidos que no hayan pasado por cierta luz del tamiz, por ejemplo. Este aspecto conlleva la necesidad de aumentar el volumen del molino a modo de factor de seguridad para que la operación transcurra correctamente, por lo que se ampliarán las dimensiones hasta las mismas que en el molino C-101.

$$\begin{aligned} \text{Volumen del molino} &= 9\text{m}^3 \\ \text{Volumen bolas} &= 3\text{m}^3 \\ D \text{ bolas} &= 0.20\text{mm} \\ \text{numero de bolas} &\sim 2 \text{ mill} \\ \text{Velocidad critica} &= \frac{42.2}{\sqrt{D_m - D_b}} = 28\text{rpm} \\ \text{Velocidad de giro} &= 0.8 \cdot 28 = 22\text{rpm} \end{aligned}$$

4.11. Transporte entre equipos: tornillos sin fin

Para el diseño de las características básicas de los equipos J-103, J-104, J-105 y J-106 se utilizarán los métodos según [Bibliografía #13][Formulario #12][Anexos #15, #16, #17]. Se considera el paso del tornillo entre 0.5 y 1 veces el diámetro, siendo éste al menos 12 veces mayor que el de las partículas a transportar, y la velocidad de giro menor de 150rpm (recomendada para materiales ligeros).

Tornillo sin fin post-filtro (F-101), J-103:

$$\begin{aligned} \text{Caudal } Q &= 12.497 \text{ ton/h} \\ \text{Coeficiente de relleno } \lambda &= 0.32 \\ \text{Paso del tornillo, } t &= 0.9 \\ \text{Velocidad de giro, } n &= 100 \text{ rpm} \\ \text{Densidad } \gamma &= 4.2 \text{ ton/m}^3 \\ \text{Coeficiente de disminución de flujo } k &= 0.8 \\ \text{Diámetro calculado } D &= 0.14\text{m} \\ \text{Longitud } L &= 10\text{m} \\ \text{Coeficiente de resistencia } c_0 &= 4 \\ \text{Altura } H &= 2\text{m} \\ \text{Potencia total } P &= 1.50\text{kW} \end{aligned}$$

Tornillo sin fin J-104, entre molido húmedo C-101 y secado E-107

$$\begin{aligned} \text{Caudal } Q &= 14.37 \text{ ton/h} \\ \text{Coeficiente de relleno } \lambda &= 0.32 \\ \text{Paso del tornillo, } t &= 0.8 \\ \text{Velocidad de giro, } n &= 100 \text{ rpm} \\ \text{Densidad } \gamma &= 3.7 \text{ ton/m}^3 \\ \text{Coeficiente de disminución de flujo } k &= 0.8 \\ \text{Diámetro calculado } D &= 0.16\text{m} \\ \text{Longitud } L &= 10\text{m} \\ \text{Coeficiente de resistencia } c_0 &= 4 \end{aligned}$$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

Altura $H = 2m$
Potencia total $P = 1.72kW$

Tornillo sin fin J-105, entre secado E-107 y molido seco C-102

Caudal $Q = 12.89 \text{ ton/h}$
Coefficiente de relleno $\lambda = 0.32$
Paso del tornillo, $t = 0.9$
Velocidad de giro, $n = 100 \text{ rpm}$
Densidad $\gamma = 4.1 \text{ ton/m}^3$
Coefficiente de disminución de flujo $k = 0.8$
Diámetro calculado $D = 0.14m$
Longitud $L = 10m$
Coefficiente de resistencia $c_0 = 4$
Altura $H = 2m$
Potencia total $P = 1.55kW$

Tornillo sin fin J-106, tras molido seco C-102

Caudal $Q = 12.89 \text{ ton/h}$
Coefficiente de relleno $\lambda = 0.32$
Paso del tornillo, $t = 0.9$
Velocidad de giro, $n = 100 \text{ rpm}$
Densidad $\gamma = 4.1 \text{ ton/m}^3$
Coefficiente de disminución de flujo $k = 0.7$
Diámetro calculado $D = 0.15m$
Longitud $L = 5m$
Coefficiente de resistencia $c_0 = 3.8$
Altura $H = 3m$
Potencia total $P = 0.81kW$



Borja Hernández García

CÁLCULOS Y RESULTADOS DE DISEÑO



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



Borja Hernández García

HOJAS DE ESPECIFICACIONES



Octubre 2012

5. HOJAS DE ESPECIFICACIONES



HOJA DE ESPECIFICACIONES 1 INTERCAMBIADOR E-105

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del cambiador	E-105	Cantidad	1
2	Servicio	Enfriamiento de corriente de proceso mediante Dowtherm A		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Carcasa y tubos		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Circulacion de fluidos	Contracorriente			
		Lado tubos		Lado carcasa	
6	Tipo de fluido	Fluido de proceso (dióxido de titanio sólido + cloro gas)		Refrigerante Dowtherm A [Anexo #1]	
7	Flujo	m ³ /s			
			Entrada	Salida	Entrada
			0.969	0.969	0.0079
9	Densidad	kg/m ³	1261		947
10	Viscosidad	Ns/m ²	8.4*10 ⁻⁵		5.6*10 ⁻⁴
11	Calor específico	J/kg°C	10.41		1900
12	Conductividad térmica	W/m°C	6.57		0.1171
13	Temperatura	°C	1800	50	25
14	Velocidad lineal	m/s	21.14		0.552
15	Caída de presión	Pa	5.08*10 ⁵		4.57*10 ⁴
16	Coef. De transmisión	W/m ² °C	230		

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

17	Material	Óxido cerámico de alta temperatura			
18	Coef. Transmision calor	W/m ² °C	93		
19	Temperatura de diseño	°C	Lado Tubos		Lado Carcasa

20			1535	145
21	Numero de pasos		1	1
22	Numero de tubos		152	
Tubos				
24	Longitud	m	3.22	
25	Diámetro externo	mm	26	
26	Espesor	mm	3.2	
27	Diámetro interno	mm	19.6	
Carcasa				
29	Longitud	m		3.22
30	Diámetro bancada	m		0.508
31	Diámetro carcasa	m		0.598
32	Tipo		Tubo fijo	Carcasa pull-through
33	Distribución de los tubos		Cuadrada	
34	N° Placas deflectoras			27
35	Corte de placas deflectoras			25%



HOJA DE ESPECIFICACIONES 2 FILTRO DE MANGAS F-101

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	F-101	Cantidad	1
2	Servicio	Primer filtrado del dióxido de titanio en la corriente de cloro		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Filtro de mangas		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Circulación del fluido	Inyección inferior	
6	Tipo de polvo/fluido	Dióxido de titanio contenido en corriente gaseosa de cloro	
7	Flujo	m ³ /s	0.969
8	Temperatura	°C	50
9	Diámetro de partícula	mm	15
10	Concentración	Molar	0.66
11	Masa de polvo	kg/m ²	7.37
12	Air-to-cloth ratio	m ³ /m ² s	0.02
13	Área unitaria de filtro	m ²	0.372
14	Velocidad de filtrado	m/s	1.1
15	Caída de presión	Pa	8.22*10 ⁶
16	Tipo de limpieza	Autolimpiable, pulse-jet	
17	Presión de los pulsos	Pa	6*10 ⁶
18	Tiempo entre pulsos	s	10

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

18	Material	Acero inoxidable	
19	Dimensiones mangas	Pulg.	5.36x32
20	Dimensiones mangas	mm	140x812
21	Material mangas	Poliéster	

21	Número de mangas		130
22	Dimensiones carcasa	m	Base 1.6x1.8, Altura 1.75
23	Tipo sujección bolsas		Canastillas acero inoxidable
24	Tipo recepción sólidos		Tolva inferior
24	Inclinación tolva	°	60



HOJA DE ESPECIFICACIONES 3 MOLINO DE BOLAS C-101

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	C-101	Cantidad	1
2	Servicio	Molido húmedo de dióxido de titanio junto a aditivos		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Molino rotatorio de bolas		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	14.37	
6	Índice de Bond	kW/ton	6.8	
7	Abrasividad	mg/kg	140	
8	Temperatura	°C	50	
9	Diámetro de partícula	mm	Entrada	Salida (requerido)
			25	0.5
11	Velocidad de giro	Rpm	18	
12	Velocidad crítica	m/s	0.511	
13	Tipo de descarga	Periférica libre (overflow)		
14	Carga de bolas	25-30%		
15	Potencia consumida	kWh	32.6	

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

16	Material	Acero forjado		
17	Longitud	m	2.86	
18	Diámetro	m	2	
Tipo de bolas				
20	Número de bolas	3000		
21	Diámetro bolas	m	0.02	
22	Material bolas	Zirconium Oxide Y stabilished [Anexo #13]		



HOJA DE ESPECIFICACIONES 4 TORNILLO SIN FIN J-103

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	J-103	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de dióxido de titanio desde filtrado F-101 a molido C-101		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Tornillo sin fin		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	12.497
6	Densidad	ton/m ³	4.2
7	Coeficiente disminución de flujo		0.8
8	Temperatura	°C	50
9	Velocidad de giro	rpm	100
10	Paso del tornillo		0.9
12	Coeficiente de resistencia		4
13	Potencia consumida	kWh	1.50

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

14	Material	Acero inoxidable	
15	Tipo hélice	Helicoidal	
16	Aislamiento a exterior (S/N)	Si	
17	Longitud	m	10
18	Diámetro	m	0.14
19	Altura a superar	m	2



HOJA DE ESPECIFICACIONES 5 TORNILLO SIN FIN J-104

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	J-104	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de dióxido de titanio desde molido C-101 a secado E-107		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Tornillo sin fin		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	14.37
6	Densidad	ton/m ³	3.7
7	Coeficiente disminución de flujo		0.8
8	Temperatura	°C	70
9	Velocidad de giro	rpm	100
10	Paso del tornillo		0.8
12	Coeficiente de resistencia		4
13	Potencia consumida	kWh	1.72

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

14	Material	Acero inoxidable	
15	Tipo hélice	Helicoidal	
16	Aislamiento a exterior (S/N)	Si	
17	Longitud	m	10
18	Diámetro	m	0.16
19	Altura a superar	m	2



HOJA DE ESPECIFICACIONES 6 SECADERO E-107

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del cambiador	E-107	Cantidad	1
2	Servicio	Secado de la mezcla de dióxido proveniente de molido C-101		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Secadero rotatorio encamisado (tubo concéntrico)		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Circulacion de fluidos	Paralelo				
		Interior		Encamisado		
6	Tipo de fluido	Dióxido de titanio en polvo		Refrigerante Dowtherm A [Anexo #1]		
7	Flujo	m ³ /s				
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
		0.000396	0.000396	0.0079	0.0079	
9	Densidad	kg/m ³	4100		947	
10	Viscosidad	Ns/m ²	1*10 ⁻³		5.6*10 ⁻⁴	
11	Calor específico	J/kg°C	1100		1900	
12	Conductividad térmica	W/m°C	21		0.1171	
13	Temperatura	°C	70	110	265	230
14	Velocidad lineal	m/s	0.145		0.57	
15	Caída de presión	Pa	No aplicable		1180	
16	Coef. De transmisión global	W/m ² °C	75			

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

17	Material	Acero inoxidable			
18	Coef. Transmision calor	W/m ² °C	46		
19	Temperatura de diseño	°C	Interior		Encamisado

			90	247
20	Longitud	m	6	6
21	Diámetro externo	m	2	2.04
22	Espesor	mm	10	
23	Diámetro interno	m	1.997	
24	Diámetro encamisado equivalente	m		0.402
25	Tipo		Rotatorio, con álabes para elevar el sólido	
26	Anotaciones		Necesario ciclón en conducción de salida para recuperar partículas sólidas contenidas en el condensado	



HOJA DE ESPECIFICACIONES 7 TORNILLO SIN FIN J-105

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	J-105	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de dióxido de titanio desde secado E-107 a molido C-102		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Tornillo sin fin		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	12.89
6	Densidad	ton/m ³	4.1
7	Coeficiente disminución de flujo		0.8
8	Temperatura	°C	110
9	Velocidad de giro	rpm	100
10	Paso del tornillo		0.9
12	Coeficiente de resistencia		4
13	Potencia consumida	kWh	1.55

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

14	Material	Acero inoxidable	
15	Tipo hélice	Helicoidal	
16	Aislamiento a exterior (S/N)	Si	
17	Longitud	m	10
18	Diámetro	m	0.14
19	Altura a superar	m	2



HOJA DE ESPECIFICACIONES 8 MOLINO DE BOLAS C-102

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	C-102	Cantidad	1
2	Servicio	Molido seco de dióxido de titanio procedente de secado		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Molino rotatorio de bolas		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	12.89	
6	Índice de Bond	kW/ton	6.8	
7	Abrasividad	mg/kg	140	
8	Temperatura	°C	100	
9	Diámetro de partícula	mm	Entrada	Salida (requerido)
			0.5	0.03
11	Velocidad de giro	Rpm	22	
12	Velocidad crítica	m/s	0.664	
13	Tipo de descarga	Periférica libre (overflow)		
14	Carga de bolas	25-30%		
15	Potencia consumida	kWh	160.5	

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

16	Material	Acero forjado		
17	Longitud	m	2.86	
18	Diámetro	m	2	
Tipo de bolas				
20	Número de bolas	2*10 ⁶		
21	Diámetro bolas	m	0.0002	
22	Material bolas	Zirconium Oxide Y stabilished [Anexo #13]		

23	Refrigeración (S/N)	Si. Serpentín externo, CW
----	---------------------	---------------------------



HOJA DE ESPECIFICACIONES 9 TORNILLO SIN FIN J-106

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	J-106	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de dióxido de titanio a partir de molido C-102		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Tornillo sin fin		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo de sólidos	ton/h	12.89
6	Densidad	ton/m ³	4.1
7	Coeficiente disminución de flujo		0.7
8	Temperatura	°C	60-70
9	Velocidad de giro	rpm	100
10	Paso del tornillo		0.9
12	Coeficiente de resistencia		3.8
13	Potencia consumida	kWh	0.81

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

14	Material	Acero inoxidable	
15	Tipo hélice	Helicoidal	
16	Aislamiento a exterior (S/N)	Si	
17	Longitud	m	5
18	Diámetro	m	0.15
19	Altura a superar	m	3



HOJA DE ESPECIFICACIONES 10 INTERCAMBIADOR E-106

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del cambiador	E-106	Cantidad	1
2	Servicio	Enfriamiento de refrigerante para recuperación		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Carcasa y tubos		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Circulacion de fluidos	Contracorriente			
		Lado tubos		Lado carcasa	
6	Tipo de fluido	Fluido frío (CW)		Refrigerante Dowtherm A [Anexo #1]	
7	Flujo	m ³ /s			
			Entrada	Salida	
			0.0079		0.012
9	Densidad	kg/m ³	947		996
10	Viscosidad	Ns/m ²	5.6*10 ⁻⁴		8*10 ⁻⁴
11	Calor específico	J/kg°C	1900		4180
12	Conductividad térmica	W/m°C	0.1171		0.59
13	Temperatura	°C	230	25	22 80
14	Velocidad lineal	m/s	1.09		0.57
15	Caída de presión	Pa	1.31*10 ⁵		6.23*10 ⁴
16	Coef. De transmisión global	W/m ² °C	650		

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

17	Material	Acero inoxidable			
18	Coef. Transmision calor	W/m ² °C	46		
19	Temperatura de diseño	°C	Lado Tubos		Lado Carcasa

20			127.5	58
21	Numero de pasos		4	1
22	Numero de tubos por paso		85	
Tubos				
24	Longitud	m	7.32	
25	Diámetro externo	mm	16	
26	Espesor	mm	1.6	
27	Diámetro interno	mm	12.8	
Carcasa				
29	Longitud	m		7.32
30	Diámetro bancada	m		0.475
31	Diámetro carcasa	m		0.513
32	Tipo		Tubo fijo	Carcasa outside packed
33	Distribución de los tubos		Cuadrada	
34	Nº Placas deflectoras			35
35	Corte de placas deflectoras			45%



HOJA DE ESPECIFICACIONES 11 BOMBA P-103 A/B

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código del equipo	P-103 A/B	Cantidad	2
2	Servicio	Bombeo de refrigerante Dowtherm A a través de circuito secundario		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Bomba centrífuga		

DISEÑO DEL EQUIPO

5	Flujo	m ³ /s	0.0079
6	Densidad	kg/m ³	947
7	Viscosidad	Ns/m ²	5.6*10 ⁻⁴
8	Temperatura de diseño	°C	30
9	Caudal de diseño	m ³ /s	0.00948
11	Velocidad lineal	m/s	0.57
12	Presión de diseño	psi	57.19
15	Potencia consumida	kW	1.7

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

16	Material	Acero inoxidable	
18	Diámetro del rodete	m	0.139
20	Velocidad de giro	rpm	2200
21	Esquema		



HOJA DE ESPECIFICACIONES 12 LINEA DE TUBERÍA L1

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	1	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de mezcla de salida del horno de oxidación		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.969
6	Presión de diseño	bar	33
7	Temperatura de diseño	°C	1900
8	Caída de presión	bar	5.4
9	Velocidad	m/s	20.94

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Óxido cerámico de alta temperatura	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	323.5
15	Espesor	mm	40.4
16	Diámetro interno	mm	242.8



HOJA DE ESPECIFICACIONES 13 LINEA DE TUBERÍA L2

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	2	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de mezcla desde intercambiador E-105 a filtro F-101		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.969
6	Presión de diseño	bar	21.5
7	Temperatura de diseño	°C	80
8	Caída de presión	bar	8.3
9	Velocidad	m/s	21

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Acero al carbono	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	297
15	Espesor	mm	27.1
16	Diámetro interno	mm	242.8



HOJA DE ESPECIFICACIONES 14 LINEA DE TUBERÍA L3

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	3	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de DowthermA desde V-107 a E-105		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.0079
6	Presión de diseño	bar	4
7	Temperatura de diseño	°C	50
8	Caída de presión	mca	0.02
9	Velocidad	m/s	0.56

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Acero al carbono	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	457
15	Espesor	mm	6.35
16	Diámetro interno	mm	445



HOJA DE ESPECIFICACIONES 15 LINEA DE TUBERÍA L4

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	4	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de DowthermA desde E-105 a E-107		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.0079
6	Presión de diseño	bar	4
7	Temperatura de diseño	°C	280
8	Caída de presión	mca	0.02
9	Velocidad	m/s	0.56

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Acero al carbono	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	457
15	Espesor	mm	6.35
16	Diámetro interno	mm	445



HOJA DE ESPECIFICACIONES 16 LINEA DE TUBERÍA L5

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	5	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de DowthermA desde E-107 a E-106		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.0079
6	Presión de diseño	bar	4
7	Temperatura de diseño	°C	250
8	Caída de presión	mca	0.02
9	Velocidad	m/s	0.56

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Acero al carbono	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	457
15	Espesor	mm	6.35
16	Diámetro interno	mm	445



HOJA DE ESPECIFICACIONES 17 LINEA DE TUBERÍA L6

Fecha	17/09/2012	Proceso	Producción de dióxido de titanio
Realizado por	Borja Hernández	Destinatario	
Revisado por		Localización	

1	Código de tubería	6	Cantidad	1
2	Servicio	Transporte de DowthermA desde E-106 a V-107		
3	Operación (Continuo/Discont)	Contínuo		
4	Tipo	Cilíndrica		

DISEÑO

5	Flujo	m ³ /s	0.0079
6	Presión de diseño	bar	4
7	Temperatura de diseño	°C	50
8	Caída de presión	mca	0.02
9	Velocidad	m/s	0.56

DATOS DE CONSTRUCCIÓN

10	Material	Acero al carbono	
11	Aislamiento (S/N)	N	
12	Tipo aislamiento	No aplicable	
13	Longitud	m	10
14	Diámetro externo	mm	457
15	Espesor	mm	6.35
16	Diámetro interno	mm	445



Borja Hernández García

HOJAS DE ESPECIFICACIONES



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial (química industrial)

Borja Hernández García



Borja Hernández García

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL



Octubre 2012

6. INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. Niveles de consumo y emisión de materias primas y productos

De media, puede decirse que el consumo en la planta proyectada es de 1075 kg de TiO_2 contenido en el mineral por tonelada de TiO_2 obtenido. Este dato puede oscilar mucho dependiendo de la materia prima, su porcentaje en TiO_2 inicial, o los valores de rendimiento obtenidos por la planta. Pero en general el consumo de mineral es de unos 1100kg por tonelada de TiO_2 final, lo que refleja la alta eficiencia química del proceso.

El uso de cloro varía según las necesidades de la planta. Pese a que la gran mayoría es recirculado, puede ser necesario clorar impurezas en la alimentación de mineral, por lo que el consumo de cloro será mayor cuanto menor sea la pureza del mineral alimentado. Aproximadamente suelen utilizarse 200 kg de Cl_2 por tonelada de TiO_2 final.

Dado que la reacción de cloración requiere carbono, suele utilizarse coque, añadiéndolo continuamente al lecho en la reacción. Su consumo depende del diseño del clorador, especialmente de las velocidades de fluidización. En los últimos años la tendencia implica utilizar más coque, ya que se trabaja a velocidades de fluidización altas que minimizan las paradas para purgar inertes. A pesar de esto, el coque puede ser recuperado o vendido. Por tonelada de TiO_2 final, el consumo medio es de 366kg de coque.

En la separación de sólidos y tratamiento de cloruros metálicos los métodos varían según la instalación, por lo que no es fiable indicar un consumo aproximado. Normalmente los materiales más usados son carbón o arcillas, para neutralizar la acidez y estabilizar los cloruros metálicos de desecho. Así mismo, para complejar el vanadio obtenido de la purificación de tetracloruro de titanio, suelen usarse pequeñas cantidades de aceites, ya sean minerales o vegetales.

Para llevar a cabo la oxidación del $TiCl_4$ son necesarios, de media, unos 470kg/tonelada de TiO_2 . El oxígeno gas normalmente se recibe por tubería a partir de una planta de licuefacción aparte o anexa a la planta principal.

Para el enfriamiento y separación de TiO_2 y Cl_2 pueden usarse arenas silíceas, o en este caso particular, enfriamiento mediante refrigerante industrial Dowtherm A.

El tratamiento de gases, que puede ser absorbido en HCl o en soluciones cáusticas, conlleva un consumo de disolución de sosa cáustica, aproximadamente de unos 100kg por tonelada de TiO_2 .

Las pequeñas cantidades adicionadas en las fases finales del proceso, ya sean sosa cáustica para el tratamiento de sólidos, incluida en apartados anteriores, o compuestos adicionados en el tratamiento superficial del dióxido, que no son relevantes en comparación con las expuestas anteriormente.



6.2. Energía y agua

El consumo energético medio de una planta de dióxido de titanio, mediante el método del cloro, puede estar en un rango amplio de 17 a 29GJ por tonelada de pigmento. Gracias a los avances en eficiencia energética, el rango puede acortarse hasta los 22GJ/t, aunque si se incluyen otros métodos como la absorción-desorción de cloro en el balance global, estas cantidades pueden aumentar hasta en 4 GJ/t. Así mismo, no suele incluirse la producción de oxígeno, purificación de coque, etc... puesto que se supone se realizan en plantas anexas pero externas.

En el caso del consumo de agua, existe una amplia disparidad. Dependiendo de los métodos de refrigeración, arrastre de sólidos u otras técnicas durante el proceso, el consumo de agua varía enormemente de una planta a otra. E las tablas 6.1 y 6.2 se muestran máximos y mínimos de consumos energético y de agua, y puede observarse la amplitud del rango de consumo.

Site/process	Chloride (averages)	Chloride (maximum)	Chloride (minimum)
Date/year	1999	1999	1999
Energy TiO₂ usage ore preparation to oxidation (*)			
Electricity GJ/t	2.3	3.3	1.5
Steam GJ/t	2.4	7.6	1.3
Gas GJ/t	3.2	6.6	1.3
Energy: TiO₂ usage finishing			
Electricity GJ/t	2.6	5.7	0.8
Steam GJ/t	6.9	10.4	7.1
Gas GJ/t	5.7	13.2	2.8
Energy: effluent treatment			
Electricity GJ/t	1.7	2.9	0.5
Steam GJ/t	0.0	0.0	0.0
Gas GJ/t	0.0	0.0	0.0
Heavy fuel oil GJ/t	0.0	0.0	0.0
Overall total energy per site	24.8	28.7	17.4
(*) Average and maximum energy consumption figures 1999 up to oxidation include the operation of indirect, more energy intensive chlorine recycling at some of the sites. This technique is no longer in use in the EU TiO ₂ industry.			

Table 3.16: Energy consumption in TiO₂ production based on the chloride process in 1999 [20, CEFIC-TDMA, 2004]

Tabla 6.1: Consumo energético en la producción de dióxido de titanio por el proceso del cloro en 1999

Site/process	Chloride averages (m ³ /tonne)	Max. chloride (m ³ /tonne)	Min. chloride (m ³ /tonne)
Date/year	1999	1999	1999
Treated	21.49	43.14	10.95
Non treated	11.0	17.0	0.0
Treated water for steam generation	1.82	3.65	0.76
Total water per site	34.5	48.0	22.6

Table 3.17: Water consumption for the chloride process

Tabla 6.2: Consumo de agua



6.3. Emisiones al aire

Por la naturaleza del propio proceso, la mayoría de gases de desecho pasan por absorbedores para maximizar la recuperación de productos, antes de salir a la atmósfera. Existe de nuevo una amplísima variedad de tratamientos según la planta y sus diferentes flujos de gases.

Emissions to air		
Emitted substance	Dust	NO _x
Treatment method	Bag filters	
kg/t TiO ₂ (average)	0.002	0.008
kg/t TiO ₂ (max)	0.005	0.016
kg/t TiO ₂ (min)	0.000	0.000
Collection period	1999	1999
Number of data (average)	91750	4000
Typical volume based value	Dust	NO _x
mg/Nm ³ (average)	18	54

Tabla 6.3: Emisiones de polvo y NO_x

Emissions to air							
Emitted substance	Cl ₂	CO	COS	CO ₂	SO ₂	NO _x	HCl
Treatment method	Oxidiser followed by water, acid or lime scrubbing						
kg/t TiO ₂ (average)	0.003	159	2.39	923	1.14	0.10	0.10
kg/t TiO ₂ (max)	0.008	297	3.99	1790	4.00	0.12	0.16
kg/t TiO ₂ (min)	0.000	0	0.00	56	0.01	0.07	0.05
Collection period	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
No of data (average)	18	15	8	11	11	11	192
Typical volume based value	Cl ₂	CO	COS	CO ₂	SO ₂	NO _x	HCl
mg/Nm ³ (average)	1	1570	21	49344	286	51	35

Table 3.19: Emissions to air from chlorination – TiO₂ production, the chloride process [20, CEFIC-TDMA, 2004]

Tabla 6.4: Emisión de gases procedentes de la cloración

Durante la cloración las emisiones de cloro son escasas, pero controladas por absorbedores acuosos o caústicos, normalmente en torres empacadas. Cantidades pequeñas de HCl pueden quedar como residuos en los gases de salida. Para tratar el CO y COS el método imperante es el de implementar oxidadores térmicos. El gas natural utilizado en estos quemadores provoca emisiones de NO_x, CO₂ y SO₂. El calor generado en las etapas de oxidación puede además utilizarse en el tratamiento de las corrientes gaseosas.



Emissions to air		
Emitted substance	Dust	NO _x
Treatment method	Bag filters	
kg/t TiO ₂ (average)	0.158	0.020
kg/t TiO ₂ (max.)	0.400	0.020
kg/t TiO ₂ (min.)	0.002	0.020
Collection period	1999	1999
No of data (average)	7	4
No of data (max.)	18	4
No of data (min.)	1	4
Typical volume based value	Dust	NO _x
mg/Nm ³ (average)	21	

Tabla 6.5: Emisiones de polvo y NOx de las secciones finales

El SO₂ conlleva un problema especial. Puesto que su procedencia principal está en el coque, es recomendable revisar los niveles de contenido de éste en el óxido. Por desgracia la tendencia actual es de un aumento de contenido en óxido en el coque; de un 1% en 1999 a casi un 2% en 2005, resultando en mayores emisiones de SO₂ durante el proceso.

Emissions to air	
Emitted substance	SO ₂
Treatment method	None
kg/t TiO ₂ (average)	0.14
Collection period	1999
No of data (average)	6
Typical volume based value	SO ₂
mg/Nm ³ (average)	2

Tabla 6.6: Emisiones al aire procedentes de la oxidación

Durante las separaciones de sólidos y el tratamiento de cloruros metálicos pueden utilizarse lechos fluidizados quemados con carbón, absorbiendo posteriormente los gases generados.

Durante la oxidación existe un gasto de gas previo, debido al pre-calentamiento. En el resto de tratamientos finales el control de las corrientes gaseosas ha de ser estricto y las pérdidas sin tratar al ambiente, mínimas. Es especialmente importante el nivel de emisión de NO_x. Principalmente se utilizan dos métodos. Ambos incluyen separaciones en serie, pero se diferencian en el uso o no de un medio líquido para la separación. Las separaciones gracias a líquidos producen subproductos como hipoclorito de sodio o ácido clorhídrico. Su aplicación depende del mercado local de co-productos.



Emissions to air			
Emitted substance	NO _x	HCl	Dust
Treated method	Combustion	scrubber	None
kg/t TiO ₂ (average)	1.40	0.6	0.5
Collection period	1999	1999	1999
No of data (average)	4	Continuous	4

Table 3.21: Emissions to air from waste solid metal chlorides treatment

Tabla 6.7: Emisiones al aire procedentes del tratamiento de cloruros metálicos sólidos

6.4. Emisiones al agua

Emissions to water				
Treatment method	Neutralisation as required			
Emitted substance	Fe	Hg	Cd	Other metals*
Collection period	1999	1999	1999	1999
No. of data (average)	75	130	156	209
No. of data (max)	183	365	365	365
No. of data (min)	12	52	52	52
kg/t TiO ₂ (average)	2.3	8.56 E ⁻⁰⁶	5.76 E ⁻⁰⁵	1.334
kg/t TiO ₂ max	8.8	2.00 E ⁻⁰⁵	1.80 E ⁻⁰⁴	2.000
kg/t TiO ₂ min	0.0001	1.60 E ⁻⁰⁸	8.00 E ⁻⁰⁸	0.003
Typical volume based concentrations	Fe	Hg	Cd	Other metals*
mg/litre	0.56	0.0002	0.0012	32.6

Note: Data from the German TiO₂ plant, based on the chloride process, are broadly consistent with the above-mentioned data, as the emission of waste solid metal chlorides after neutralisation are reported to be as follows: Fe – 0.011 kg/t TiO₂; Hg – 2.2 E⁻⁰⁷ kg/t TiO₂; Cd – 2.2 E⁻⁰⁷ kg/t TiO₂; Other metals – 0.0025 kg/t TiO₂.

* Other metals: Manganese (Mn), Vanadium (V), Titanium (Ti), Zinc (Zn), Chromium (Cr), Lead (Pb), Nickel (Ni), Copper (Cu), Arsenic (As). It should be noted that in the group of other metals, Ti and Mn are much less harmful for the environment than the remaining metals listed above. The emission level of the remaining metals (V, Zn, Cr, Pb, Ni, Cu, As) is estimated at <0.1 kg/t TiO₂ pigment [85, EIPPCB, 2004-2005].

Table 3.24: Emissions of metals to water – TiO₂ production by the chloride route [20, CEFIC-TDMA, 2004], [42, UBA-Germany, 2001]

Tabla 6.8: Emisiones metálicas al agua

Durante las condensaciones, tratamientos de gases por métodos acuosos, y diversos métodos de la fase final del proceso, se producen emisiones de ácido clorhídrico y sólidos en suspensión al agua. En los tratamientos de líquidos de salida, o en el caso de que los gases se traten por medios caústicos.



Emissions to water		
Treatment method	Lagoon	
Emitted substance	HCl	Suspended solids
Collection period	1999	1999
No of data (average)	365	365
kg/t TiO₂ (average)	16	0.36

Tabla 6.9: Emisiones de ácido clorhídrico y sólidos en suspensión al agua

Los sólidos en suspensión son básicamente partículas inertes de dióxido de titanio o incluso en algunos casos, propios sólidos procedentes del agua de río o lago. Es posible que se emitan además sulfatos de sodio procedentes de las etapas de molido húmedo con recubrimiento, en las plantas en las que se utilice este método. En cualquier caso, las emisiones de cloruros al agua están limitadas por la TiO₂ Harmonisation Directive en función de la materia prima utilizada:

- 130kg cloruros/ton de TiO₂ si es rutilo natural
- 228kg cloruros/t TiO₂ en caso de rutilo sintético
- 450kg cloruros/t TiO₂ en caso de material reciclado

Emissions to water		
Treatment method	Filtration, settling	
Emitted substance	Suspended solids	Chlorides
Collection period	1999	
No. of data (average)	98	
No. of data (max)	183	
No. of data (min)	12	
kg/t TiO₂ (average)	4.64	164
kg/t TiO ₂ max	11.10	330
kg/t TiO ₂ min	0.57	38
Typical volume based concentration	Suspended solids	Chlorides
mg/litre	5.23	185

Table 3.26: Emissions of suspended solids and chlorides to water – TiO₂ chloride process [20, CEFIC-TDMA, 2004]

Tabla 6.10: Emisiones de sólidos en suspensión y cloruros al agua

6.5. Desechos sólidos

Waste to land	
Emitted substance	Inerts (solids)
kg/t TiO₂ (average)	224

Table 3.27: Waste sent to landfill from the chlorination unit

Tabla 6.11: Emisión de desechos procedentes de la cloración

La emisión de cloruros metálicos, previo tratamiento o tostación, es una de las mayores preocupaciones ambientales en cuanto a la contaminación por sólidos. Normalmente



se utiliza cal para aglutinar los metales insolubles y que el lodo formado sea adecuado para emitirse al ambiente. En algunas plantas se separa el coque que queda sin reaccionar en la cloración, para reutilizarlo o venderlo, mientras que en otras instalaciones se le extrae el componente de hierro como cloruro de hierro, con salida comercial.

Waste to land	
Treatment method	Neutralisation or roasting
Emitted substance	Solids
kg/t TiO ₂ (average)	397
kg/t TiO ₂ max	660
kg/t TiO ₂ min	99

Tabla 6.12: Niveles de emisión de sólidos procedentes del tratamiento de cloruros metálicos

Como ejemplo general, se toman la evolución de las emisiones de una planta de TiO₂ mediante el método del cloro en Greatham, UK

	kg/tonne 1999	kg/tonne 2000	kg/tonne 2001	kg/tonne 2002
Discharges to water				
Hydrochloric acid	16	13	13	12
Titanium (Ti)	0.8	0.6	0.5	0.6
Suspended solids	0.6	0.5	0.4	0.5
Manganese (Mn)	0.6	0.6	0.4	0.5
Iron (Fe)	0.28	0.55	0.67	0.61
Vanadium (V)	0.03	0.03	0.03	0.02
Chromium (Cr)	0.003	0.004	0.004	0.002
Zinc (Zn)	0.006	0.007	0.009	0.005
Nickel (Ni)	0.019	0.015	0.004	0.001
Lead (Pb)	0.011	0.009	0.002	0.000
Copper (Cu)	0.003	0.003	0.006	0.001
Arsenic (As)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
Cadmium (Cd)	0.00018	0.00013	0.00012	0.00001
Mercury (Hg)	0.00007	0.00001	0.00000	0.00000
Chlorinated organic compounds	0.00041	0.00027	0.00025	0.00025
Emissions to air				
Carbon monoxide	181	116	65	83
Carbonyl sulphide	3.2	1.9	1.3	0.4
Nitrogen oxides (as NO ₂)	1.2	1.3	1.2	1.2
Particulates	0.4	0.1	0.1	0.1
Sulphur dioxide	0.3	0.2	0.1	0.1
Hydrogen chloride	0.2	0.0	0.0	0.0
Chlorine	0.00041	0.00054	0.00050	0.00012
Hydrogen sulphide	0.1	0.1	0.0	0.0
Carbon dioxide (ex process)	437	487	729	576
Carbon dioxide (ex combustion)	1304	1090	1110	989
Carbon dioxide (from bought in energy)	609	588	561	540
Wastes to land				
Non-hazardous waste	729	785	881	962
Hazardous waste to land/incineration	0.5	1.8	0.9	1.8
Resource consumption				
Water usage m ³	38	32	31	32
Energy usage GJ	29	26	26	23

Table 3.29: Emissions 1999 – 2002 in the Greatham Works TiO₂ plant, the chloride process [20, CEFIC-TDMA, 2004]

Tabla 6.13: Emisiones entre 1999 y 2002 en la planta de Greatham



Borja Hernández García

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL



Octubre 2012

6.6. Normativa española: BOE 2001

En todo caso se cumple y ha de cumplirse la normativa española establecida [BOE abril 2001] para los niveles de emisión y vertidos. Los residuos poco ácidos, de tratamiento o neutralizados, procedentes de establecimientos industriales que utilicen el procedimiento del cloro, no podrán superar los siguientes valores de cloruro total por tonelada de dióxido producido: 130 kg, 228 kg o 450 kg según se utilice, respectivamente, rutilo natural, sintético o escoria.

Los residuos emitidos en forma de partículas quedarán reducidos a un valor que no exceda de 50 mg/Nm^3 , o de 150 mg/Nm^3 si proceden de otras fuentes, medido el metro cúbico a una temperatura de 273K y una presión de 1 atm. Los residuos de cloro se reducirán a una media diaria de concentración que no exceda de 5 mg/Nm^3 (es decir, un máximo de 6 gramos por tonelada de dióxido de titanio producido), y que no exceda de 40 mg/Nm^3 en cualquier momento.



Borja Hernández García

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7. PLIEGO DE CONDICIONES

7.0. Legislación. Elementos del contrato.

Normas de aplicación:

- Real Decreto 1109/2007 del 24 de agosto.
- Ley 31/1995 de Prevención de riesgos laborales

También es de obligado cumplimiento cuanto la Dirección de Obra dicte, encaminado a garantizar la seguridad tanto de obreros como de la propia obra. En ningún caso dicho cumplimiento eximirá de responsabilidad al contratista.

La contratación de las obras objeto de este pliego es de naturaleza administrativa. Por consiguiente, cuantas incidencias se deriven de la realización de los trabajos y de la interpretación de las disposiciones de los pliegos, serán resueltos en primer término por el órgano de contratación, cuyos acuerdos pondrán fin a la vía administrativa y contra los mismos se podrá interponer potestativamente recurso de reposición en el plazo de un mes ante el mismo órgano o recurso contencioso-administrativo ante el Tribunal Superior de Justicia, en el plazo de dos meses contados desde el día siguiente al de su notificación o publicación. Las empresas extranjeras estarán sometidas a la Jurisdicción de los Juzgados y Tribunales españoles de cualquier orden para todas las incidencias que de modo directo o indirecto puedan surgir en el contrato.

Legislación genérica. Normativa Básica

REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7 (BOE núm. 112 de 10 de mayo de 2001).

Ley 16/2002, de 1 de julio de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (BOE 2 julio 2002 y BOE 12 de mayo 2002).

Real Decreto 833/1988 de 20 de julio de 1988, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986. Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (derogados los artículos 50,51 y 56) (BOE, 30 de julio de 1988 y 29 de enero de 1989).

Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de junio (BOE nº160, de 5 de julio de 1997).

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos (BOE 19 febrero 2002 y BOE 12 de marzo 2002).



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (BOE 21 de abril de 2007)

Recomendaciones del GEST (Grupo Almacenamiento, Seguridad y Transporte) de EUROCHLOR.

Prevención y Reducción de la Contaminación

Real Decreto 886/1988 de 15 de julio sobre prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales (BOE nº 187 de 5 de agosto de 1988 y 28 de enero de 1989).

Orden de 28 de julio de 1989 para la prevención de la contaminación producida por los residuos procedentes de la industria del dióxido de titanio. (BOE nº 191 de 11 de agosto de 1989)

Orden de 18 de abril de 1991 por la que se establecen normas para reducir la contaminación producida por los residuos de las industrias del dióxido de titanio. (BOE nº 102 de 29 de abril de 1991).

Caracterización y Gestión de Residuos

Orden de 13 de octubre de 1989 por la que se determinan los métodos de caracterización de los residuos tóxicos y peligrosos (BOE nº 270 de 10 de noviembre de 1989).

Orden de 13 de noviembre de 1989. Métodos de ensayo para la determinación de las propiedades de sustancias peligrosas. (BOE nº 274 de 15 de noviembre de 1989).

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (BOE Nº 25 de 29 de enero 2002).

7.1. Objetivo

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.2. Disposiciones generales

7.2.1. Contradicciones, omisiones o errores

En el caso de contradicción entre los planos y el pliego de prescripciones técnicas, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de prescripciones técnicas y omitido en los planos o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del director de obra, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

7.2.2. Trabajos preparatorios

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en:

- Comprobación del replanteo.
- Fijación y conservación de los puntos del replanteo.
- Programación de los trabajos.

7.2.2.1. Comprobación del replanteo

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

7.2.2.2. Fijación de los puntos de replanteo

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición. Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista. El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.2.2.3. Programación de los trabajos

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, en un gráfico de barras o en un diagrama espacio - tiempo.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

7.3. Plazos de ejecución

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminadas en la fecha acordada en dicho acta.

7.4. Desarrollo y control de los trabajos

Para el mejor desarrollo y control de los trabajos, el adjudicatario seguirá las normas que se indican en los apartados siguientes:

7.4.1. Equipos de maquinaria

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

7.4.2. Ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el ingeniero director, y se efectuarán con arreglo a las normas afectantes a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director. El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrán superar el 1 % del presupuesto de adjudicación.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Así, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

7.4.3. Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que este estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar y su procedencia, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material no implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia no impide el posterior rechazo de cualquier partida de material de ella que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

7.4.4. Manipulación de materiales

Todos los materiales se manipularán con cuidado, y de tal modo que se mantengan su calidad y aptitud para la obra.

7.4.5. Inspección en planta

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

7.4.6. Inspección de los materiales



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega.

7.4.7. Materiales defectuosos

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido substancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

7.4.8. Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director. Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

- *Áreas de proceso adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos.
- *Desagües y zonas de trabajo en general.
- *Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- *Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de proceso adyacentes a ésta.
- *En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá de ser comprobado en el momento su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

7.4.9. Trabajos nocturnos

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director, y solamente realizados en aquellas unidades de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.4.10. Accidentes de trabajo

De conformidad con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo, el contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra riesgo por accidentes de trabajo.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes. No obstante, en aquellos casos en que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como cascos, caretas, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que puedan ocurrir.

7.4.11. Descanso en días festivos

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes. En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

7.4.12. Trabajos defectuosos o no autorizados

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto. Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

7.4.13. Señalización de las obras

El contratista queda obligado a señalizar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

7.4.14. Precauciones especiales

7.4.14.1. Lluvias



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Durante las fases de construcción, montaje e instalación de obras y equipos, estos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo tal que no produzcan daños.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

7.4.14.2.Incendios

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, y a las recomendaciones u órdenes que reciba del director. En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

No obstante lo anterior, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente, y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

7.4.15.Personal técnico

El contratista está obligado a dedicar a los trabajos (tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos) el personal técnico a que se comprometió en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero superior.

El personal así designado no será asignado a otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal a su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajos de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respeto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

7.4.16.Medición de obras

La forma de realizar la medición, y las unidades de medida a utilizar, serán definidas en el pliego de prescripciones técnicas para cada unidad de obra. Todas las mediciones básicas para el abono deberán de ser conformadas por el director y el representante del contratista.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Las unidades que hayan de quedar ocultas o enterradas deberán ser medidas antes de su ocultación. Si la medición no se efectuó a su debido tiempo, serán de cuenta del contratista las operaciones para llevarlas a cabo.

7.4.17. Certificaciones

El importe de los trabajos efectuados se acreditará mensualmente al contratista por medio de certificaciones expedidas por el director en la forma legalmente establecida.

7.4.18. Precio unitario

Los precios unitarios fijados en el contrato para cada unidad de obra cubrirán todos los gastos efectuados para la ejecución material de la unidad correspondiente, incluidos los trabajos auxiliares, mano de obra, materiales y medios auxiliares de cada unidad de obra, siempre que expresamente no se indique lo contrario en este pliego de prescripciones técnicas.

7.4.19. Partidas alzadas

Las partidas alzadas a justificar se abonarán consignando las unidades de obra que comprenden los precios del contrato, o los precios aprobados si se trata de nuevas unidades.

7.4.20. Instalaciones y equipos de maquinaria

Los gastos correspondientes a instalaciones y equipos de maquinaria se considerarán incluidos en los precios de las unidades correspondientes, y, en consecuencia, no serán abonados separadamente.

7.4.21. Legislación social

El contratista estará obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato del Trabajo y Reglamentaciones de Trabajo Regulatorias de Subsidio y Seguros Sociales vigentes.

7.5. Gastos de cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.

Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.

Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.

Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.

Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesarias para las obras.

Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.

Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

7.6. Ingeniero director de obras. Funciones

El ingeniero director de obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.

Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.

Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.

Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.

Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.

Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.

Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.

Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

El contratista estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

7.7.Recepciones, garantías y obligaciones del contratista

El adjudicatario deberá obtener a su costa todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras. Del mismo modo serán de su cuenta los gastos derivados de los permisos y tasas.

La recepción, garantías y obligaciones del contratista serán las siguientes:

Recepción provisional.

Plazo de garantía.

Recepción definitiva.

Recepción provisional

Una vez terminados los trabajos, se procederá al examen global por parte del director, el cual, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en normal funcionamiento de las instalaciones.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de los equipos auxiliares.

Prueba hidrostática de las áreas que así lo requieran.

Lavado del equipo tal y como se expone en el apartado “aparatos a presión” del presente pliego de condiciones.

Comprobación de servicios auxiliares.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obra no podrá ponerse en funcionamiento por partes desde su inicio, a menos que, a juicio del ingeniero director, no se perjudique la integridad de la instalación y no se interfiera en la normal operación de otras unidades o procesos adyacentes.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.8. Plazo de garantía

Será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho periodo, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo este responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

7.9. Recepción definitiva

Transcurrido el plazo de garantía, y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas.

En caso de que, al proceder al reconocimiento de las obras, estas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que estén en condiciones de serlo.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por cuadruplicado el acta correspondiente.

7.10. Prescripciones particulares

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de las obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por este del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.

7.11. Referencias y normativas

Se tendrán como de obligado cumplimiento las siguientes normas y estándares:

Código de construcción de recipientes a presión ASME, Sección VIII, División I. Se aplicarán las prescripciones de este código en los aspectos referentes a presiones y temperaturas de diseño, espesores de cuerpos y fondos, presiones de prueba, tests hidrostáticos y soldadura. Se aplicarán también las prescripciones de este código a las juntas.

Standards of the Tubular Exchangers Manufacturers Association (TEMA). Sixth Edition, 1986.

Norma API 610 para bombas de proceso en servicios de refino y petroquímica.

Norma ANSI B.36.10 para dimensiones de tuberías de acero al carbono y aleado soldadas y sin soldadura.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Norma ANSI B.16.5 para clasificación presión - temperatura, bridas, espárragos para bridas, válvulas bridadas y accesorios bridados de acero.

Norma ANSI B.18.2 para espárragos y tuercas.

Norma ANSI B.16.9 para accesorios de acero para soldar a tope.

Norma ANSI B.16.11 para accesorios de acero para soldar a enchufe y roscados.

Norma ANSI B.16.10 para la definición de dimensiones de válvulas bridadas.

Norma ANSI B.16.34. para válvulas para soldar a tope.

Norma API 600 para válvulas de compuerta.

Norma API 598 para inspección y prueba de válvulas.

Norma API RP 520 para el dimensionamiento de válvulas de seguridad para recipientes a presión.

Norma ASTM A-106 gr. B para tuberías de acero al carbono sin soldaduras.

Norma ASTM A-234 WPB para accesorios de acero al carbono obtenidos de tubos para soldar a tope.

Norma ASTM A-216 WCB para válvulas y accesorios bridados de acero al carbono fundido.

Norma ASTM A-105 para bridas, válvulas y accesorios de acero al carbono forjado roscados y para soldar a enchufe.

Norma ASTM A-193 B7 para espárragos.

Norma ASTM A-194 gr. 2H para tuercas.

Norma ASME SA-285 gr. C para cuerpos cilíndricos y fondos de recipientes.

Norma ASME SA-179 para tubos de intercambiador de calor.

Norma ASME SA-212 gr. B para placas tubulares de intercambiador de calor.

Norma ASME B31.3 345.4.2. para pruebas de presión en tuberías

7.12. Condiciones de los materiales y equipos

El presente apartado del pliego de condiciones tiene por objeto establecer las calidades y características de los equipos y dispositivos objeto de este proyecto, así como de los materiales que los constituyen.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.13. Condiciones para los materiales

7.13.1. Condiciones generales para los materiales

Todos los materiales tendrán las condiciones técnicas que dictan las normas citadas en el subapartado “referencias y normativas” del presente apartado del pliego de condiciones.

Las características de los mismos serán las expresadas en los subapartados que siguen, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no las reúnan.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

7.13.2. Condiciones para las tuberías y tubos de intercambiador

Las tuberías serán de los diámetros especificados en el apartado correspondiente de la “memoria de cálculo”. Serán de sección circular, de espesor uniforme y sin costura. Se montarán a partir de cañas de 6 metros de longitud, con los extremos achaflanados para soldar a tope.

Estarán exentas de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o faltas de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

Las tuberías destinadas a las líneas L2, L3, L4, L5, L6 así como las líneas de suministro y salida de agua de refrigeración a la unidad E-106, L7 y L8, serán de acero al carbono ASTM A-106 gr. B.

Los tubos de intercambiador correspondientes al refrigerador E-106 serán de acero al carbono ASME SA-179, de 16mm de diámetro exterior, de 7.32m de longitud recta y calibre, según hoja de especificaciones.

Las tuberías destinadas a la línea L1 y los tubos del intercambiador E-105 serán de composite de fibra de carbono-SiC ó bien de óxido cerámico, en todo caso probadas y testadas para temperatura de 2000°C y presión de 40bar similar a normativa A608-06. Los tubos del intercambiador serán de 26mm de diámetro externo y 3.22m de longitud, según hoja de especificaciones.

7.13.3. Condiciones para las bridas

Las bridas serán de acero al carbono forjado ASTM A-105, del tipo de cuello soldado (welding neck), con cara elevada y de 2 bar presión primaria en servicio (bridas 150 # - R.F - W.N.), excepto para las tuberías de la línea L1, en las que se utilizarán 600 # - R.F - W.N.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Los espárragos de unión estarán en consonancia con lo marcado por la norma ANSI B16.5. Sus diámetros serán los correspondientes a la línea en la que vayan a ser instaladas.

El estriado de las bridas será de estrías concéntricas, con grado de estriado “””. No se aceptarán bridas con estrías en espiral (“estriado gramófono”).

Estarán libres de defectos, irregularidades, rebabas, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso. Las bridas habrán de ser planas y paralelas, o presentar rigidez suficiente contra deformaciones debidas a la presión de los espárragos. Estos habrán de apretarse en cruz con llave dinamométrica para controlar el par de apriete.

7.13.4. Condiciones para los accesorios soldables

Los accesorios para las tuberías (codos, tes, reducciones, etc.) serán de acero ASTM A-234 WPB para soldar a tope ó ASTM A-105 para roscar o soldar a enchufe, según corresponda, siendo su diámetro el correspondiente a las líneas en las que vayan instalados. En la línea L1 serán de igual material constructivo que la tubería. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

7.13.5. Condiciones para las válvulas

Las válvulas serán del tipo que la dirección de la obra estime el más adecuado de cara a la línea y servicio en que vayan a ser instaladas. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

Durante su instalación se tendrá especial cuidado de alinear correctamente los extremos con la tubería en la que vayan a ser instaladas.

El apriete de los espárragos se hará con llave dinamométrica, previa introducción de las correspondientes juntas.

7.13.6. Condiciones para las juntas

Las juntas serán espirometálicas o de amianto encamisadas. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

7.13.7. Condiciones de las placas para la fabricación de los equipos

Las placas a partir de las cuales se fabriquen los nuevos equipos previstos estarán fabricadas en los materiales designados en las hojas de especificaciones. Estarán libres de fisuras grietas, poros, etc., que puedan disminuir sus resistencias o afectar a su comportamiento durante su funcionamiento dentro del proceso.

7.13.8. Condiciones para las soldaduras



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

En las partes de la instalación en que deban llevarse a cabo procesos de soldadura a tope, se instalarán durante el proceso de soldado anillos de protección, y se evitará en todo momento que penetren en el interior de las partes a soldar cascarillas y salpicaduras de soldadura.

La soldadura se hará mediante cordones finos, limpiando e inspeccionado después de cada cordón, evitando así que los defectos de un cordón puedan ser enmascarados por el siguiente.

7.13.9. Condiciones para los equipos

7.13.9.1. Condiciones para los intercambiadores de calor

Las dimensiones de los intercambiadores, así como sus características geométricas (tipo según TEMA, número de tubos, longitud, diámetro y espaciado de los mismos, número de pasos, etc.) serán los determinados en la sección de "cálculos" y reflejados en las hojas de especificaciones.

Tanto si son trasladados al lugar de emplazamiento montados, como si lo son por partes, el equipo o sus partes serán protegidos adecuadamente contra la lluvia, el polvo, los golpes o las deformaciones.

Si desde que los equipos fueran recibidos desde el taller del fabricante hasta que fueran montados en el terreno hubiera de transcurrir un periodo de tiempo que la dirección técnica considerase razonablemente largo, serán almacenados bajo techado en un lugar seco, y se tomarían precauciones para que no sufrieran contaminación, oxidación excesiva, acumulación de humedad o suciedad, así como golpes o deterioros.

El ingeniero director supervisará los equipos antes de su montaje, comprobará su buen estado y podrá rechazarlos si observa anomalías que a su juicio puedan provocar dicho rechazo.

En el lugar de emplazamiento se habrá previsto el espacio suficiente para permitir la extracción del haz y los desmontajes de bridas y cabezales durante las paradas. Durante la instalación de los haces se protegerán estos con láminas de madera o metal, sujetadas mediante cables a pares de tubos de dichos haces. El haz se apoyará sobre las placas tubulares o sobre los deflectores, y nunca sobre los propios tubos. El alzado se hará mediante bandas trenzadas, y se tendrá especial cuidado de que los haces no sufran deformaciones.

Previo la puesta en marcha, se harán las comprobaciones y operaciones que aparecen en el apartado "equipos a presión" del presente pliego de condiciones.

7.13.9.2. Condiciones para las bombas

Las bombas serán iguales a aquellas con las que formen pareja y junto a las cuales conformen un grupo de bombeo, estando diseñadas según las normas API 610 para bombas de proceso, y permaneciendo en reserva durante la operación normal de la unidad.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Las bombas se suministrarán con la correspondiente bancada, sobre la que se montará el conjunto bomba - motor. La bancada estará constituida por perfiles de acero, dimensionada de forma que soporte los esfuerzos de arranque, y garantizará la estabilidad del conjunto bomba - motor.

Cada bomba será instalada dejando una pendiente para la evacuación de posibles derrames. Esta pendiente se dirigirá hacia el lado opuesto del motor.

El contratista presentará al ingeniero director los planos y memorias descriptivas de las bombas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas de sobrecarga, rodaje, etc., efectuadas en el taller del fabricante.

7.13.9.3. Condiciones para el filtro de mangas

El filtro de mangas estará diseñado según normas de reconocida solvencia. Se suministrará con la correspondiente estructura, sobre la que se montará el conjunto manga-contenedor según la hoja de especificaciones. La estructura estará construida por perfiles de acero inoxidable AISI 304, dimensionada de forma que soporte los esfuerzos y garantice la estabilidad del conjunto.

El contratista presentará al ingeniero director los planos y memoria descriptiva del filtro de mangas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas provenientes del taller del fabricante.

7.13.9.4. Condiciones para los molinos de bolas

Los molinos de bolas estarán diseñados según normas de reconocida solvencia. Se suministrarán con soporte y bancada, sobre los que se instalará el armazón del molino, siguiendo las especificaciones técnicas de su correspondiente hoja de especificaciones.

El contratista presentará al ingeniero director los planos y memoria descriptiva del filtro de mangas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas provenientes del taller del fabricante.

7.13.9.5. Condiciones para los equipos reutilizados

Se aplicará a los equipos sometidos a una alteración en sus condiciones de servicio lo recogido en el apartado "equipos a presión" del presente pliego de condiciones, especialmente en lo que se refiere a inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del aparato antes de su puesta en servicio.

7.13.10. Condiciones sobre instalaciones auxiliares

7.13.11. Condiciones sobre pintura y preparación de superficies

Todas las superficies exteriores de equipos y tuberías recibirán, antes del pintado, el tratamiento de preparación siguiente:



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Limpieza con disolventes de las zonas excesivamente cargadas de grasa o aceites, o que durante el proceso de instalación y manipulación hayan quedado impregnadas de estas sustancias o similares.

Eliminación de depósitos de óxidos muy voluminosos mediante limpieza manual o mecánica. Esto puede hacerse mediante lijado o cepillado en dos direcciones.

Redondeado de aristas vivas y alisado mediante lijado de cordones y salpicaduras de soldadura.

Protección de zonas y anexos que no vayan a ser recubiertos.

Chorroado con abrasivo (granalla o arena silíceo).

Limpieza con aspirador o aire a presión de residuos abrasivos, polvo, y demás partículas extrañas y contaminantes.

Posteriormente, las superficies recibirán cuatro manos de pintura anticorrosión (pasivamente aniónica), como minio de plomo o cromato de zinc de aceite. Se controlará que, tras la capa definitiva, el espesor de la capa protectora de pintura sea de 150 micras como mínimo.

7.13.11. Condiciones para las purgas y venteos

Las purgas y los venteos de las líneas y equipos principales serán de $\frac{3}{4}$ " como mínimo, y dispondrán de válvulas de compuerta soldadas como elementos de cierre.

7.13.12. Condiciones para la instrumentación

Las válvulas de control serán las adecuadas para las condiciones de proyecto, y se procurará que quede instalada siguiendo las recomendaciones de la norma API RP 550 (1976).

Los termómetros y manómetros a instalar serán de los tipos fabricados por "Bourdon", "Wika" o similar. Se procurará que los márgenes de medición de temperatura en los que vaya a trabajar el aparato en condiciones normales queden en el tercio central de la escala.

7.14. Equipos a presión. Disposiciones generales

Dado que algunas de las líneas y equipos contemplados en el presente proyecto trabajan a presión superior a la atmosférica, se fijan las condiciones generales de fabricación, prueba, instalación, operación y funcionamiento de los mismos.

Referencias y normativas

Se tendrán como referencia y de obligado cumplimiento las siguientes disposiciones y normas:



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía (R/D 1244/1976 del 4 de abril, B.O.E. nº 128 del 29 de mayo) para todos los aparatos a presión en el ámbito de la industria química.

Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE AP1) sobre el reglamento de aparatos a presión. Calderas, economizadores, precalentadores de agua, sobrecalentadores y calentadores de vapor.

Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-AP-2. Industrias en general del Reglamento de aparatos a presión: tuberías para fluidos relativos a calderas.

Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-AP-4 del Reglamento de aparatos a presión.

Reglamento sobre almacenamiento de productos químicos: Real Decreto 668/1980 de 8.2.1980, B.O.E. 14.4.80 nº 90

Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ-001. "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, Orden de 9.3.1982, B.O.E. de 20.5.1982.

Garantías de identificación de productos químicos, Orden de 20.6.1977 (Presidencia), B.O.E. nº 166 de 13.7.1977.

7.15. Definiciones generales

Con el fin de que la interpretación del presente pliego de condiciones sea clara e inequívoca, se proporcionan, de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, las siguientes definiciones:

Aparato sometido a presión

Aparato cuya presión máxima de servicio es superior a la atmosférica. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición se aplica a:

- Intercambiador E-105
- Filtro F-101

Tuberías

Líneas de conducción de fluidos a presión o a vacío, no sometidas a fuego directo. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición afecta a todas las tuberías del proceso, L1 a L8.

Sistemas



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Conjunto de aparatos a presión, normalmente conectados en secuencia de proceso y susceptibles de ser probados a presión conjuntamente.

Diseño mecánico

Consiste en la definición completa e inequívoca de un aparato a presión en función de los datos básicos de proceso, código de diseño, características de los materiales utilizados, proceso de fabricación y control de calidad.

Ingeniería

Persona jurídica o técnico titulado competente que, mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de diseño de aparatos a presión, y a partir de los datos básicos necesarios, realiza el diseño mecánico de dichos aparatos. Estas ingenierías deberán estar inscritas en el Registro de Sociedades de Ingeniería o en el colegio oficial correspondiente, y cumplir los requisitos exigidos por la legislación vigente. Las ingenierías extranjeras que no dispongan de delegación en España debidamente legalizada deberán tener autorizado por la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnológica el correspondiente contrato de asistencia técnica, suscrito con el fabricante o con alguna ingeniería.

Fabricante

Persona física o jurídica que, a partir de un diseño mecánico y mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de construcción de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, realiza el acopio de materiales, la fabricación y ensamblaje total o parcial de los componentes de los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrica el aparato.

Reparador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de los códigos, normas de construcción y de reparación de aparatos a presión, dispone de personal cualificado y medios apropiados para reparar los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Reparadores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentren sus talleres de reparación.

Instalador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de las normas de instalación de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, instala los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre el domicilio social o sus talleres.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Usuario

Persona física o jurídica propietaria o explotadora de la refinería de petróleos o planta petroquímica donde se instalan los aparatos a presión.

Inspector propio

Personal técnico competente designado por el usuario o contratado, con experiencia en la inspección de aparatos a presión de refinerías y plantas petroquímicas.

Inspecciones y pruebas previas

Toda inspección anterior a la puesta en servicio o durante la misma de un aparato o sistema.

Inspecciones y pruebas periódicas

Toda inspección y prueba posterior a la puesta en servicio de un aparato o sistema.

Control de calidad

Se entiende como tal el de la ingeniería, fabricante o instalador, cuanto una inspección o prueba previa se realiza bajo su competencia y responsabilidad.

Definiciones de ámbito técnico

Presión de diseño (Pd)

Se entiende como el valor de la presión que se toma para el cálculo del espesor del aparato, a la temperatura de diseño. La presión de diseño no podrá ser menor que la presión máxima de servicio.

Presión máxima de servicio (Pms)

Se entiende como la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento del proceso.

Presión de precinto (Pt)

Se entiende como la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen al aparato o al sistema.

Presión de servicio (Ps)

Se entiende como la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.

Presión de prueba (Pp)



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Se entiende como aquella presión a la que se somete el aparato o sistema para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Corresponde a la mayor presión efectiva que se ejerce en el punto más alto del aparato o sistema durante la prueba de presión.

Temperatura de diseño (Td)

Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato.

Temperatura máxima de servicio (Tms)

Es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento.

Temperatura de servicio (Ts)

Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del aparato o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.

Condiciones generales para todos los aparatos

Todas las prescripciones expresadas a continuación se aplicarán a los equipos de nueva instalación relacionados en el subapartado “aparato sometido a presión” del presente apartado del pliego de condiciones, y, de entre ellas, las correspondientes a inspecciones y pruebas, al resto de los equipos disponibles.

7.16. Manual de diseño

De acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, se entregará una copia al usuario del manual de diseño del aparato considerado, que comprenderá:

Identificación de la ingeniería.

Datos básicos de proceso necesarios para el diseño.

Código de diseño o sistema de cálculo, ambos de reconocida solvencia técnica, y normas de construcción elegidas, cálculos justificativos, vida mínima estimada del equipo y demás especificaciones técnicas complementarias no contempladas por el código elegido y que la buena práctica requiera.

Planos básicos normalizados según UNE, con indicación de los materiales a emplear y de los elementos que, por formar parte integrante del equipo a presión, puedan afectar a la seguridad del mismo.

Especificación de prueba de presión.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

La ingeniería que elabore el manual de diseño certificará que dicho manual cumple con el código de diseño elegido y que el aparato que se fabrique de acuerdo con él será adecuado para el fin al que se destina.

7.17. Certificados

Los materiales utilizados en la construcción de los elementos resistentes de los aparatos a presión deberán poseer los certificados de calidad correspondientes. Los materiales de aportación que se utilicen en las soldaduras de los componentes de los aparatos a presión estarán clasificados bajo norma de reconocida solvencia técnica.

7.18. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación deberán utilizarse unas normas de construcción, control y pruebas acordes con el código de diseño.

7.19. Legalización de aparatos a presión

Para cada aparato a presión construido, con excepción de las tuberías, el fabricante deberá elaborar un manual de construcción acorde al manual de diseño, del cual entregará copia al usuario, que comprenderá:

Número de inscripción en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrique el aparato.

Nombre, razón social y domicilio de la ingeniería.

Planos constructivos complementarios de los básicos que figuren en manual de diseño, comprobados por la ingeniería si fuese requerido contractualmente para ello por el fabricante o el usuario.

Certificados de calidad de los materiales de base y materiales de aportación y de los componentes del aparato empleado en su construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.

Procedimientos de conformado, soldadura, tratamientos térmicos y controles, calificación de procedimientos de soldaduras y soldadores, todo ello aprobado por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.

Plano de situación de las zonas sometidas a control por ensayos no destructivos, ensayos requeridos, extensión de los mismos y resultados. Las placas radiográficas serán conservadas adecuadamente por el fabricante durante cinco años como mínimo, a partir de la fecha de fabricación del aparato.

Certificado de ensayos y pruebas realizados durante la construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante o una entidad colaboradora, indistintamente, y comprobados por la ingeniería si fuera requerida contractualmente para ello por el usuario.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Acta de la prueba a presión realizada por el fabricante y aprobada por el control de calidad del fabricante.

Certificado del fabricante del aparato, en el que se hará constar que éste ha sido construido de acuerdo con el manual de diseño, el código y normas utilizadas en su fabricación.

El fabricante, al solicitar de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía la placa de diseño, con su número de registro, presentará los documentos comprendidos en los puntos g), h) e i) anteriores.

El fabricante de un aparato a presión es responsable de que dicho aparato ofrezca las garantías debidas para el fin a que se destina.

7.20. Instalación

Por cada instalación el instalador deberá elaborar un expediente de instalación acorde con los manuales de diseño y construcción, del cual entregará copia al usuario. Este expediente comprenderá:

Número de inscripción en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre su domicilio social.

Nombre, razón social y domicilio tanto del fabricante como del instalador.

Relación de aparatos a instalar.

Procedimientos de soldadura y calificación de la mano de obra, aprobados por el control de calidad del instalador.

El instalador de todo sistema a presión es responsable de cualquier deficiencia que pudiera observarse o derivarse de las operaciones de instalación.

7.21. Inspecciones y pruebas

*** Inspecciones y pruebas oficiales**

Todos los aparatos a presión especificados en el subapartado “aparato sometido a presión” deberán ser sometidos a las inspecciones y pruebas previas a la puesta en servicio ya citadas.

*** Inspecciones y pruebas en el taller del fabricante**

Se comprobará por el control de calidad del fabricante que cada equipo ha sido construido de acuerdo con los manuales de diseño y construcción, y quedará constancia de que se han cumplido cada uno de los requisitos previstos en los citados manuales, en cuyo caso se someterán a las siguientes inspecciones y pruebas:



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Examen visual y control dimensional del aparato. Al objeto de poder examinar debidamente el aparato, la placa se hallará desprovista de pintura o de cualquier recubrimiento que pueda disimular los posibles defectos.

Prueba de presión con el aparato completamente lleno de fluido de prueba. Si existiesen razones por las que dicha prueba no sea factible de realizar en el taller del fabricante, se realizará en el lugar de emplazamiento.

* Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del equipo

Cada equipo se someterá a las siguientes inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento:

Examen visual y control dimensional del aparato, si no se ha realizado anteriormente en el taller del fabricante.

Prueba de presión de valor igual a la primera en el caso de que evidentemente el aparato haya sufrido alguna anomalía durante el transporte o la manipulación, que la inspección detecte algún fallo real o aparente que así lo aconseje, que el ingeniero director tenga dudas sobre la capacidad de un equipo para resistir las condiciones de servicio previstas, que confluyan circunstancias inesperadas que las hagan recomendables, o siempre que la prueba no se haya efectuado en el taller del fabricante.

En caso de tener que realizarse la prueba de presión en el lugar de emplazamiento, se seguirán las siguientes condiciones:

Observación del procedimiento de prueba descrito por el fabricante en el manual de construcción. Este deberá ser lo suficientemente detallado, incluyendo las condiciones de prueba, los equipos necesarios para su ejecución, los aparatos de medidas de control (debidamente contrastados y con la sensibilidad adecuada, procurándose que la lectura se sitúe en el tercio central de la escala del aparato), sistema de llenado y vaciado y tiempo de mantenimiento de la presión de prueba, que en ningún caso será inferior a 30 minutos.

Observación de las condiciones de seguridad durante las pruebas de presión, comprobándose que el equipo para pruebas es correcto y que las conexiones son las adecuadas a las presiones máximas que se van a alcanzar, así como la disposición de las medidas de seguridad suficientes para evitar no sobrepasar la presión de prueba, ni en ningún momento estar por debajo de la temperatura señalada en el manual diseño, ni dañar los elementos internos del aparato.

Se comprobará antes de la prueba que las estructuras y fundaciones que sustenten el aparato o sistema a probar estén en condiciones de resistir la carga a que van a ser sometidas.

Se cuidará que el personal se mantenga alejado durante el desarrollo de las pruebas de los fondos, tapas y piezas roscadas, y se evitará la presencia de personas ajenas a la prueba.

Los manómetros se instalarán fuera de la proyección vertical y se preferirá situarlos lateralmente o en posición superior.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Durante el llenado con fluido de prueba se cuidará de ventear bien el circuito para evitar que queden cámaras de aire o vapor.

El fluido de prueba será agua a la temperatura ambiente, siempre que dicha temperatura no sea inferior a 10° C. El valor de la presión de prueba será el correspondiente a la siguiente expresión:

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

donde “Pp” representa la presión de prueba, “Pd” la presión de diseño, “Sp” la tensión máxima admisible del material a la temperatura de prueba y “Sd” la tensión máxima admisible a la temperatura de diseño.

En el lugar de emplazamiento se realizará, antes de cualquier otra operación, una inspección visual tanto interior como exterior del aparato.

7.22.Placas

Todos los equipos y aparatos a presión comprendidos en el presente proyecto, con excepción de las tuberías, deberán ir provistos de placas de diseño e identificación, conforme a lo estipulado en el artículo 19 del Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía. En dichas placas se grabará:

Placa de diseño: presión de diseño, y en su caso, la presión máxima de servicio, número de registro del aparato y fecha de la primera prueba y sucesivas.

Placa de identificación: nombre o razón social del fabricante, contraseña y fecha de registro del tipo, número de fabricación y características principales.

Las placas de diseño e identificación se fijarán mediante remaches, soldadura o cualquier otro medio que asegure su inamovilidad, en un sitio visible del aparato, y en ningún caso podrán retirarse del mismo.

7.23.Elementos de seguridad

Todos los aparatos y sistemas comprendidos en el presente proyecto deben ir provistos de los elementos de seguridad que prescriban los códigos de diseño empleados y los adicionales especificados en el manual de diseño.

Todas las válvulas de seguridad deben ser de apertura total y sistema de resorte, debiéndose cumplir la condición de que la apertura total de la válvula deberá ser ayudada por la presión del fluido evacuado, de tal manera que la apertura asegure una sección de paso a través de la válvula igual al 80 % de la sección neta de paso en el asiento después de la deducción de la sección transversal de los obstáculos en el orificio, debido a las guías y a la forma del cuerpo de la válvula en la posición de apertura máxima.

No se permitirá el uso de válvulas de seguridad de peso ni de palanca de contrapeso.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

La descarga de las válvulas de seguridad deberá realizarse de tal forma que impida eficazmente que el fluido evacuado pueda producir daños a personas o cosas.

Durante las inspecciones interiores periódicas de los aparatos o sistemas a presión la válvula o válvulas de seguridad que protejan dichos aparatos o sistemas se desmontarán y ajustarán para, a continuación, probarlas y precintarlas.

7.24. Pruebas para las tuberías

Para todas las tuberías contempladas en este proyecto se realizarán las siguientes pruebas y comprobaciones en el lugar de emplazamiento:

Examen visual, control de espesores e identificación de los materiales.

Primera prueba de presión, en el caso de no haber sido probadas en el taller.

Prueba de los sistemas antes de la puesta en marcha

Prueba hidrostática

Se deberá comprobar hidrostáticamente todas las líneas y equipos después de terminar la construcción del circuito, con los equipos interconectados entre sí (comprobación del sistema). El sistema se llenará con agua y se comprobará al menos a 1,25 veces la presión de diseño.

Las válvulas de control y placas de orificio deberán quitarse de servicio, así como los instrumentos. Las válvulas de seguridad estarán aisladas. Las secciones cuyas presiones de prueba sean diferentes serán separadas mediante juntas ciegas temporales.

Durante la prueba, se comprobará que no existen fugas, especialmente por las bridas atornilladas y por los asientos de las válvulas.

7.25. Lavado del equipo

Esta operación tiene por objeto eliminar cuerpos extraños que, durante el montaje, hayan podido quedar en las líneas o en los equipos, tales como virutas de metal o de madera. Estos restos pueden provocar durante la operación atascos en las líneas, bloqueos en válvulas o destrozarse partes móviles de las bombas.

El lavado se llevará a cabo mediante circulación de agua, a la que previamente se habrá añadido la cantidad adecuada de inhibidor de corrosión.

Las bombas habrán sido alineadas, comprobadas y rodadas de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se instalarán en ellas filtros de aspiración, que deberán limpiarse tan a menudo como sea necesario. Mientras dure el rodaje de las máquinas se vigilarán estrechamente todos los aspectos relacionados con sobrecalentamientos, vibraciones, posibles fugas y consumo eléctrico de motores.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Durante el lavado en los puntos bajos, líneas desconectadas, etc., se debe purgar para eliminar materiales sólidos. Los cambiadores de calor serán incluidos en el circuito al final de la operación, así como las conexiones a los instrumentos, teniendo sus purgas abiertas.

Cuando se observe que los filtros instalados en las bombas han dejado de ensuciarse y el agua que se purga aparece limpia, puede darse por concluida la operación de lavado. Se parará entonces la circulación y se drenará completamente de agua el sistema.

Por último, se instalarán las válvulas automáticas y las placas de orificio, verificándose su posición.

7.26. Comprobación de servicios auxiliares

*** Equipo eléctrico**

Se comprobará la tensión de los equipos. Los motores eléctricos deberán ser rodados de acuerdo con las instrucciones del fabricante, desconectados del equipo impulsor.

*** Agua de refrigeración**

El sistema debe de ser comprobado antes de la puesta en marcha, atendiendo a la disponibilidad, presión y libre circulación.

*** Aire de instrumentos**

Los colectores deben de ser soplados para la eliminación de la posible suciedad. Toda red debe de ser comprobada bajo presión.

*** Red contra incendios**

Se comprobará la llegada de agua a los hidrantes, así como el libre y rápido acceso a los mismos.

*** Sistema de drenaje**

Se comprobará que todos los drenajes y arquetas desalojan adecuadamente.

*** Seguridad**

Se comprobará que todas las válvulas de seguridad estén instaladas sin discos ciegos ni cerrojos.

7.27. Medición y abono de las obras

7.27.1. Mediciones y valoraciones

Las mediciones de las obras concluidas se harán por el tipo de unidad fijada en el “presupuesto”. La valoración deberá obtenerse igualmente, aplicando a las unidades de obra el precio que tuviesen asignado en el “presupuesto”.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

La valoración de las partidas no expresadas se verificará aplicando a cada una de ellas la medida más apropiada, en la forma y condiciones que estime el director de obra, multiplicando el resultado final de la medición por el precio correspondiente.

7.27.2. Condiciones económicas

Las condiciones especiales que regirán esta obra para la liquidación y abono de la misma serán establecidas por la entidad contratante.

*Condiciones de índole legal

Regirán las condiciones contenidas en el anuncio de subasta y contrata de ejecución, las cuales se ajustarán a las establecidas por la Leyes Generales del Estado.

7.28. Ejecución de las obras

7.28.1. Ejecución en general

El contratista tiene obligación de ejecutar esmeradamente las obras, cumplir estrictamente todas las condiciones estipuladas y cuantas ordenes le sean dadas por el director de obra, entendiéndose que deben entregarse completamente terminadas cuantas obras afecten a este compromiso.

Si a juicio del citado director, hubiese alguna parte de la obra mal ejecutada, tendrá el contratista obligación de volverla a ejecutar cuantas veces sean necesarias, hasta quedar a satisfacción de aquel, no siendo motivos estos aumentos de trabajo para pedir indemnización alguna.

7.28.2. Replanteo

Antes de comenzar los trabajos se realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías por el contratista o su representante bajo las órdenes del director de obra, marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos, pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

7.28.3. Orden de los trabajos

El técnico director encargado de las obras fijará el orden en que deben llevarse a cabo estos trabajos, y la contrata está obligada a cumplir exactamente cuanto se disponga sobre el particular.

7.28.4. Marcha de las obras



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

Una vez iniciadas las obras deberán continuarse sin interrupción y terminarse en el plazo estipulado. Los retrasos, cuando sean justificados, podrán ser aceptados por la dirección de la obra.

7.28.5.Obra civil

Se realizará con arreglo a las especificaciones de los restantes documentos del proyecto y a las órdenes que expresamente deberá solicitar el contratista al director de la obra.

7.28.6.Instalaciones varias

En todas las instalaciones, y como norma general, se seguirá exactamente todo lo indicado en la memoria y demás documentos del proyecto. En caso de duda, será competencia del director del proyecto decidir la solución a adoptar. Las instalaciones serán efectuadas conforme a los reglamentos vigentes que les afectan.

7.28.7.Responsabilidad de la contrata

La contrata será la única responsable de la ejecución de las obras, no teniendo derecho a indemnizaciones de ninguna clase por errores que pudiera cometer, y que serán de su cuenta y riesgo.

Aún después de la recepción provisional, la contrata está obligada a rectificar todas las deficiencias que sean advertidas por la dirección de obra. La demolición o reparación precisa será exclusivamente por cuenta de la contrata.

Asimismo, la contrata se responsabilizará ante los tribunales de los accidentes que puedan ocurrir durante la ejecución de las obras. Igualmente, estará obligada al cumplimiento de todos los preceptos legales establecidos o que se establezcan por disposiciones oficiales.

7.28.8.Dirección de los trabajos

El técnico encargado de las obras constituye la dirección técnica y, como tal, ejecutará todos los trabajos del desarrollo del proyecto, así como la dirección e inspección de los trabajos. Por lo tanto, la dirección técnica asumirá toda la responsabilidad en lo concerniente a planos e instrucciones técnicas.

7.28.9.Legalización

Para la recepción de las obras la contrata está obligada a la legalización de las obras e instalaciones ante los organismos oficiales competentes. Los gastos que estos ocasionen correrán por cuenta de la contrata.



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

7.29. Seguridad e higiene

El presente apartado del pliego de condiciones tiene por objeto establecer, de forma muy general, las medidas que se deben seguir, desde el punto de vista de la seguridad y la higiene, una vez que la instalación se haya puesto en funcionamiento. Se pretenden describir las medidas generales de seguridad de obligado cumplimiento, según el reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (ITC MIE-APQ 6) y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (NIOSH).

El empresario o responsable de la planta está obligado, por la Ley 31/95 de Prevención de Riesgos Laborales de 8 de noviembre, a formar e informar a los trabajadores en materia de seguridad y salud. Además, en su capítulo 6, artículo 41, obliga al empresario a dar a conocer las instrucciones y fichas de seguridad al personal encargado de manipular productos químicos. En el apartado "Informe de Seguridad y Salud" constan las características de los principales químicos utilizados durante el proceso, así como la explicación detallada de los distintos elementos de Seguridad y Salud dentro de la planta.

En todo caso sirven de referencia las siguientes normas técnicas para los equipos de protección:

MT-9 Mascarillas autofiltrantes B.O.E. nº 216 de 9.9.1975

MT-11 Guantes de protección frente agresivos químicos B.O.E. nº 158 de 4.7.1977

MT-14 Filtros químicos y mixtos contra cloro B.O.E. nº 95 de 21.4.1978

MT-20 Sobre equipos de protección personal de vías respiratorias: semiautónomos de aire fresco con manguera de aspiración. B.O.E. nº 4. de 5.1.1981

MT-24 Sobre equipos de protección personal de vías respiratorias: semiautónomos de aire fresco con manguera de presión. B.O.E. nº 184 de 3.8.1981



Borja Hernández García

PLIEGO DE CONDICIONES



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Quedan excluidos de este estudio algunos riesgos asociados a las instalaciones eléctricas, civiles, exposición a ruidos... que dependerán de la ubicación del sistema y el plan vigente en el lugar de instalación.

8.1.Higiene Industrial: Conceptos Básicos

Para evaluar los riesgos por exposición vía inhalatoria de agentes químicos se definen los Valores Límite Umbrales (TLV) de la American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Estos valores se clasifican en función de los efectos sobre las personas en atmósferas de trabajo (exposiciones por vía respiratoria), en mg de agente químico por m³ de aire, o p.p.m.

TLV-TWA (Valor límite umbral ponderado en el tiempo): Concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo de 8 horas diarias y 40 semanales, a la cual pueden estar expuestos casi todos los trabajadores, día tras día, sin efectos adversos.

TLV-STEL (Valor límite umbral de exposición de corta duración): Concentración media de un periodo de 15 minutos, que no debe sobrepasarse en ningún momento en la jornada laboral, aún cuando la concentración media correspondiente a 8 horas resulte inferior al TLV-TWA. Las exposiciones comprendidas entre el TLV-TWA y el TLV-STEL no deben superar los 15 minutos y no deben producirse más de 4 veces al día. Entre dos exposiciones cualesquiera de este rango debe haber al menos un intervalo de 60 minutos.

8.2.Instalaciones de Seguridad

Señalización: En el almacenamiento y en las áreas de manipulación se colocarán bien visibles señales normalizadas, según establece el Real Decreto sobre Señalización en Lugares de Trabajo, que indiquen claramente la presencia de agentes químicos, además de los que pudieran existir por otro tipo de riesgo.

Prevención de derrames: Para evitar proyecciones por rebosamiento se adoptarán medidas de prevención que garanticen el no llenado de los depósitos, como indicadores de nivel, tubos telescópicos, o recogida en caso de goteo.

Duchas y lavajos: Se instalarán duchas y lavajos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, especialmente en las zonas de carga y descarga y en las instalaciones con presencia de cloro. Las duchas y lavajos no distarán mas de 10m de los puestos de trabajo indicados y su acceso estará señalizado y libre de obstáculos.

8.3.Formación del personal

Para lograr el objetivo de la prevención de accidentes es necesario que el personal de la planta reciba una capacitación adecuada y efectiva, destinada a la prevención de riesgos de trabajo.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

El programa de capacitación de la planta deberá contemplar medidas educativas para los empleados, considerando cursos de Riesgos de Trabajo, como prevenirlos y saber que hacer en caso de accidente. Esta capacitación se puede dar dentro o fuera de las instalaciones, con el propósito de disminuir los riesgos y peligros que se presentan en este centro de trabajo.

En materia de prevención de accidentes se deberán detectar las necesidades existentes dentro de la planta respecto a los conocimientos de seguridad del personal, con el propósito de que estos puedan hacer frente a alguna eventualidad que ponga en riesgo su integridad y/o el patrimonio del organismo, el adiestramiento forma parte integral de la capacitación del personal y debe encaminarse a las personas inculcándoles los valores de la seguridad tanto teórica como practica en forma especial a las brigadas de emergencia, las cuales deben de forma programada llevar un adiestramiento más intenso.

La promoción o propaganda procura persuadir, instruir o inculcar la información para la formación profesional sobre la prevención de accidentes.

La Dirección apoyara esta promoción mediante una Comisión de Seguridad e Higiene, que se encargue de difundir en gran escala la prevención de accidentes por medio de la publicidad.

Los procedimientos de operación se establecerán por escrito. El personal recibirá instrucciones específicas del responsable de zona sobre propiedades de los productos manejados, función y uso de los diferentes elementos de seguridad, consecuencias de un incorrecto funcionamiento, y peligro derivado de fugas o derrames.

El personal tendrá acceso a la información relativa a riesgos y procedimientos de actuación en casos de emergencia.

8.4. Plan de revisiones

Cada zona de la planta tendrá un plan propio de revisiones para comprobar la disponibilidad y el buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad o el equipo de protección personal, manteniéndose un registro de las revisiones realizadas.

8.5. Plan de emergencias

Cada conjunto de equipos tendrá su plan de emergencias, que considerará las emergencias que pueden producirse, la forma de controlarlas por parte del personal y la posible actuación de servicios externos. Se tendrá en cuenta la aplicación del Real Decreto de Accidentes Mayores.

8.6. Instalación de protección contra incendios

El sistema de protección contra incendios constará de detección y alarma, extintores, hidrantes, equipos auxiliares y su correspondiente señalización. La fuente de abastecimiento podrá ser un depósito de reserva de agua y grupo de presión contra incendios, según norma UNE-23.500.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8.7. Reglas y normativa general sobre seguridad básica

1. Toda persona que ingrese a la planta debe contar con tarjeta de identificación el cual debe portar de forma visible durante el tiempo que dure su estadía en la planta.
2. Está prohibido durante los procesos productivos llevar objetos y/o ropa sueltos
3. Está prohibido traer los siguientes artículos a la planta, a menos que se autorice específicamente.
 - Cualquier tipo de arma (fuego, o arma blanca).
 - Bebidas alcohólicas.
 - Cerillos o encendedores.
 - Cámaras
4. No se permite fumar en ningún lugar de la planta, ya sea durante su funcionamiento como durante su instalación.
5. A las personas que se encuentren bajo la influencia del alcohol o sustancias ilegales no se les permitirá el acceso a planta.
6. Todos los accidentes, incidentes o similares deben ser reportados inmediatamente. Esto incluye a contratistas y visitantes.
7. Todas las emergencias deben ser reportadas a la sección de Seguridad y Salud
8. Cualquier trabajo que involucre generación de chispa, fuego o calor será permitido solo a través de la autorización respectiva "Permiso de Trabajos en Caliente" expedido por el equipo de Seguridad y Salud.
9. Todo el personal que entre al área operativa debe usar equipo de protección personal: Gafas de seguridad, zapatos de seguridad, uso de manga larga y casco, además deberá usar el equipo de protección personal adicional que se requiera en cada área o para cada trabajo de acuerdo a lo estipulado en los procedimientos.
10. Para entrar en las áreas de producción se requiere atuendo según lo estipulado y señalizado.
11. La velocidad máxima permitida dentro de planta para los vehículos es de 10 Km./h.
12. Se prohíbe correr dentro de la planta así como caminar sobre tubería.
13. Sólo el personal de planta debe efectuar tareas operativas, incluyendo el operar equipos, válvulas, aislar tubería, etc. Ninguna persona externa debe efectuar estas tareas a excepción de personal especializado contratado a tal efecto.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

14. Ningún trabajo se debe llevar a cabo en planta sin contar con el permiso apropiado debidamente autorizado por la Dirección de Obra y el equipo de Seguridad.
15. El equipo contra incendio y todos los equipos a ser usados para casos de emergencia, no pueden ser usados para otros propósitos. Estos deben ser retornados a su lugar luego de su uso y reportarlos al responsable de planta, quien verificará que se lleve a cabo el mantenimiento constante de los mismos.
16. Nadie puede operar equipo o maquinaria sin el entrenamiento apropiado y la autorización de su Supervisor de área.
- 21 Ninguna maquinaria (montacargas, grúas, máquinas de soldar, vehículos, etc.) puede dejarse operando sin atención de alguna persona.
- 22 Las herramientas manuales utilizadas, deben ser las apropiadas para ejecutar trabajos y deben encontrarse en buenas condiciones, la Dirección de Obra y/o el Responsable de Planta verificará que se les de el mantenimiento correctivo y preventivo adecuados.
- 24 Las áreas de trabajo deben mantenerse limpias y en orden.
- 25 No se permite la entrada al área a ninguna especie de mascota.
- 26 No se deben utilizar mangueras de servicios (agua, aire, vapor, etc.) para otros usos o para tener conexión cruzada entre ellos.

8.8. Accesos y señalización

ACCESO RESTRINGIDO: Está comprendido por las áreas de proceso consideradas de alto riesgo, para su tránsito, trabajos y maniobras, para lo cual se requiere la tramitación del permiso correspondiente.

ACCESO LIMITADO: Está comprendido por las áreas vecinas a las de proceso y su tránsito es permitido por vigilancia y el realizar trabajos o maniobras, se requiere del permiso correspondiente.

ACCESO LIBRE: Está comprendido por las áreas administrativas como vigilancia, edificio administrativo, comedor general y baños de obreros o vestidores. El tránsito es autorizado por vigilancia y el realizar trabajos o maniobras se requiere dar conocimiento al Responsable de Planta.

8.9. Maquinaria en el interior del área de planta

No dejar ninguna unidad vehicular encendida aún en maniobras. Retirar las unidades de las áreas de trabajo si no están en función por tiempos prolongados.

8.9.1. Transportistas

Los siguientes son los requisitos que todo transportista al ingresar a la planta para cargar o descargar productos o cualquier clase de insumos, debe cumplir:



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

1. Cuando un conductor llegue con su unidad al área industrial, debe estacionarse en el área designada para este fin y no debe hacerlo en las vialidades o estorbar el tránsito regular que existe en la planta.
2. Durante el tiempo que permanezca estacionado para la carga o descarga, está prohibido tirar basura en el estacionamiento o el área aledaña, cualquier basura debe colocarse en los botes que para este fin existen en el estacionamiento.
3. Está prohibido purgar producto (resina o emulsiones) en el piso, si existe la necesidad de hacerlo, solicitar en vigilancia bolsas para recoger el producto y una vez que dicho producto fue recogido en las bolsas, entregar estas en vigilancia, para su confinamiento.
4. Todos los conductores deben registrarse en vigilancia para que se les proporcione una tarjeta de identificación, que debe portar en forma visible todo el tiempo. Asimismo el personal de vigilancia les proporcionará un tarjetón con la leyenda de "vehículo autorizado" y que debe llevarse en el vehículo de forma visible.
5. Se prohíbe dormir en las instalaciones de la planta.
6. Todos los conductores deben contar con el equipo de protección necesario.
7. Cualquier accidente, incidente que ocurra en la planta, debe ser reportado inmediatamente.
8. La velocidad máxima permitida dentro de la planta es de 10 km./h.
9. Se prohíbe fumar dentro de la planta.
10. Una vez que la unidad esté cargada o descargada no puede permanecer en las instalaciones, por lo que deberá retirarse a su destino o a las instalaciones de su compañía.

8.10. Prevención de riesgos de trabajo

8.10.1. Reconocimiento de riesgos

Deberá realizarse de forma periódica dentro de las instalaciones una inspección de los elementos de seguridad, con el propósito de vigilar e identificar condiciones o actos potencialmente peligrosos., toda situación que implica riesgos ha de observarse y debe ser comunicada de inmediato al responsable de su corrección. Se deberá incluir una nota escrita que confirme la observación valorada y pida un informe también por escrito sobre la acción emprendida.

8.10.2. Análisis de las causas de riesgo o accidentes

Cuando se produce un accidente, por muy claras y evidentes que parezcan las causas que lo motivaron, se debe realizar una investigación para establecer claramente las causas del accidente y proponer los medios para prevenirlos en el futuro.

Los elementos causales más comunes en los accidentes son los siguientes:



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

1. El instrumento (es decir, el elemento o sustancia íntimamente relacionada con la causa del accidente)
2. La parte del instrumento
3. El tipo de accidente
4. Las condiciones de inseguridad mecánicas o físicas
5. La acción personal poco segura.
6. El factor personal poco seguro.

En lo esencial toda investigación debe poder aportar respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿Quién resultó lesionado?
2. ¿Qué ocurrió y que factores contribuyeron a que ocurriera?
3. ¿Cuándo sucedió el accidente?
4. ¿Dónde sucedió el accidente?
5. ¿Por qué sucedió el accidente?

Y por último, lo más importante:

6. Establecer unidades preventivas para impedir que un accidente se repita

8.10.3. Investigación de accidentes

Para los accidentes leves se utilizará el método siguiente:

1. La víctima recibe un formulario para la investigación del accidente, el cual debe ser cumplimentado y entregado al responsable de Seguridad y Salud.
2. La investigación de los accidentes siempre debe de ser hecha en el lugar mismo en donde se produjeron. Dicha labor será facilitada si el investigador encuentra la escena del accidente el sitio debe dejarse tal cual, a menos que se adopten medidas para proteger al personal o para impedir mayores daños.
3. Reconstrucción de hechos precedentes y simultáneos al accidente de ser posible con la ayuda del accidentado y con la cooperación de quienes lo presenciaron.
4. Si parte de una pieza de un aparato- como una cadena o un cable- se rompe, conviene descubrir la causa de esta falla, y para ello se deberá examinar y probar el material con el fin de descubrir si era inadecuado, si había sido objeto de malos tratos o si sencillamente estaba desgastado.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

5. Cuando un accidente es debido a reacciones químicas imprevistas, también se requieren experimentos de laboratorio para descubrir que sucedió exactamente.

8.11. Almacenamiento de materiales

8.11.1. Manejo de materiales

Para el manejo de materiales en relación con su almacenamiento, es indispensable escoger un lugar que no ofrezca riesgos al personal cuando se proyecten algunas partes en su manejo: para evitar bloquear temporalmente las salidas, facilitar el acceso al equipo para el manejo del material, evitar otras dificultades asociadas en las áreas de almacenamiento, y algunos problemas inflamables que exigen la atención de un experto en la materia.

El material almacenado deberá estar apilado, puesto en cunas, atado, empaquetado, puesto en estantes, calzado o bloqueado, de manera tal que no pueda caer o deslizarse.

Entre otras consideraciones de seguridad hay una que merece atención especial y es la referente al uso de extintores para la protección contra el fuego. La parte alta del material no deberá de estar a menos de 60 cm. Del extintor más cercano.

Debe tenerse especial cuidado en que no se formen depósitos de dióxido de titanio en esquinas, bajo equipos, etc, que pueden resultar peligrosos en caso de accidente, puesto que su dispersión en aire es altamente ignífuga.

8.11.2. Transporte de materiales

Para elegir el método de transporte de materiales, se deberán considerar los siguientes factores: principalmente el costo, la conveniencia y la disponibilidad. El método elegido puede ser seleccionado de un amplio margen, desde el movimiento mano- como carretones, carretillas, vehículos de dos ruedas, elevadores operados a mano- o puede llegar hasta el empleo de camiones de cuatro ruedas empujados a mano o remolcados por tractores, como en el conjunto formado por el tractor-trailer.

8.12. Prácticas de revisión de instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas

Para realizar la vigilancia e inspección se debe considerar:

1. Solicitar a los empleados y demás personal del área industrial su participación a través de informes cuando existan condiciones o actos inseguros comunicados al responsable de Seguridad y Salud.

2. Se usará una lista de verificación como guía para realizar las inspecciones, a modo que figuren los riesgos más característicos o frecuentes que se dan.

3. Se tendrá especial cuidado en verificar las áreas con exposición de riesgos más evidentes que requieren atención de los responsables de área y de Seguridad y Salud, porque en ellas pueden ocurrir los accidentes más graves y más frecuentes. Algunas de las áreas son las siguientes: áreas con equipo eléctrico, con líquidos inflamables, con equipo mecánicos, con



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

manejo de materiales, áreas de soldar, materiales peligrosos y químicos, áreas de pintura, escaleras, etc.

8.12.1. Maquinaria

Se deberá operar la maquina con sus protecciones en los elementos de transmisiones, con los dispositivos de seguridad proyectados, los topes de emergencia en su caso, dispositivos de seguridad en sus controles, establecer hábitos de seguridad a los operadores en el manejo de las maquinas herramientas, etc.

8.12.2. Equipo

Se puede citar el de transmisión, en el área eléctrica y de producción; también se deberá contar con la existencia de piezas de repuesto, las mas comunes; se deberá realizar el mantenimiento preventivo y correctivo a cada uno de los equipos con el fin de mantenerlos en optimas condiciones de servicio.

8.12.3. Herramientas

Las herramientas utilizadas en las diferentes áreas de la planta deberán ser revisadas periódicamente para detectar desperfectos en ellas, ya sea para repararlas o reponerlas.

8.13. Equipos de protección personal

El uso del equipo de protección personal básico (casco, gafas, ropa de trabajo, equipos ignífugos o de respiración asistida, calzado de seguridad) es obligatorio en el área operativa señalizada bien vertical bien horizontalmente (letrero, franja en el piso).

El uso del EPP necesario para ingresar a las áreas de proceso está señalado por letreros en los límites de estas. Sin embargo para cada trabajo existe un equipo de protección personal a utilizar, este EPP se establece en el permiso de trabajo que se emite antes de llevar a cabo la tarea.

PROTECCIÓN DE LAS MANOS.- Regularmente se utilizan guantes en la mayoría de los trabajos (conexión/desconexión de líneas y equipos, movimiento de tambores, contenedores etc.), sin embargo si se van a ejecutar trabajos en equipos/líneas que se encuentren a una temperatura mayor a 55 °C, se requieren guantes para protección térmica, aluminados (además de pantalones, botas y escafandra).

PROTECCIÓN AUDITIVA.- En las áreas de Producción donde el ruido sea excesivo a más de 85 db. Será obligatorio el uso de tapones auditivos.

PROTECCIÓN EN LA CABEZA.- El uso del casco es obligatorio en cualquier trabajo todo el tiempo.

PROTECCIÓN DE LOS OJOS.- El uso de gafas de seguridad es obligatorio todo el tiempo en todas las áreas, sin embargo existen trabajos en que se requiere una protección adicional tal como: careta para soldador, careta facial, etc.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

PROTECCIÓN DE LOS PIES.- El uso de calzado de seguridad, suela dura y antiderrapante minimiza los riesgos, el uso de este equipo también es obligatorio todo el tiempo en todas las áreas de la planta.

PROTECCIÓN DE LAS VÍAS RESPIRATORIAS.- El equipo a utilizar de Protección Respiratoria será el adecuado según la zona de trabajo, con especial atención a los gases de cloro (ver correspondiente ficha de seguridad del cloro)

La mascarillas con suministro de aire o equipos de respiración autónomo se utilizan en atmósferas donde la concentración de oxígeno es menor a 19.5% y en todos los trabajos en espacios confinados.

Antes de realizar cualquier trabajo es obligatorio el revisar cual es el EPP necesario a utilizar y hacer uso de él.

8.14. Análisis de trabajo seguro

Antes de iniciar cualquier trabajo será necesario realizar un AST, la compañía contratista o personal de mantenimiento de la planta junto con el responsable del área solicitante a cargo del trabajo, lleva a cabo un AST para detectar los riesgos que se puedan presentar durante la actividad a desarrollar, el EPP necesario a utilizar y establecer un procedimiento de trabajo para eliminar o reducir al mínimo los riesgos detectados. El resultado del AST deberá ser difundido entre todo el personal de planta. Se realizarán tantos AST como la sección de Seguridad y Salud lo crea conveniente.

El objetivo de llevar a cabo estos análisis es el detectar los riesgos potenciales a los cuales el personal se expondrá y determinar la manera de evitarlos. Todos los trabajos deberán tener su AST correspondiente antes de iniciarse y las medidas establecidas en el mismo deben cumplirse de forma obligatoria.

8.15. Informes de accidentes

Todos los accidentes o incidentes deben reportarse inmediatamente al responsable de Seguridad y Salud, que proveerá la ayuda necesaria a las personas y analizará el hecho para establecer las medidas correctivas que deben tomarse inmediatamente para evitar la repetición del evento. Ningún trabajo se reanuda sin haberse establecido e implementado dichas medidas.

Cuando suceda un accidente o incidente, no se alterará el lugar de los hechos para permitir que se lleve a cabo una investigación de forma apropiada.

Todos los accidentes e incidentes, deben constar por escrito. Es obligación de todo el personal involucrado en un accidente e incidente, participar en la investigación de las causas de los mismos con el fin de establecer acciones que impidan el que vuelvan a ocurrir.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8.16. Trabajos en altura

Realizar trabajos en altura aumenta el nivel de riesgos para los trabajadores por lo tanto para cualquier trabajo que vaya a efectuarse en altura se requiere:

A una altura mayor de 1.5 mts., ó si es una altura menor donde se está trabajando de forma incómoda o existe el riesgo de caerse, o si se trabaja con una parte del cuerpo afuera del barandal de protección de una plataforma; requiere utilizar arnés y cable de vida. Este cable y el arnés deben contar con ganchos de sujeción apropiados, no es permitido el uso de nudos o amarres en estas tareas.

Los arneses deben amarrarse siempre a una estructura fija y segura, nunca a tuberías, escaleras o andamios, a una altura superior a la de su cintura.

No está permitido trabajar sobre tuberías (vapor, gas, agua, eléctricas, aire, etc.) o equipos, se deberán utilizar escaleras (no de aluminio), andamios o algún otro equipo diseñado para alcanzar alturas. No está permitido improvisar tambores, cubetas, sillas, etc. para este fin.

Las escaleras a ser utilizadas deben estar en buenas condiciones, deben contar con zapatos con suela antiderrapante, Las escaleras deben colocarse con una inclinación de 4 a 1 entre la altura y la distancia en la base de la escalera. Sólo se permite que una persona esté en la escalera, todas las escaleras deben amarrarse en la parte superior o anclarse a lugares fijos y seguros.

Las escaleras se usarán para llegar a plataformas donde el operario pueda efectuar el trabajo de forma segura, nunca se harán trabajos parados en escaleras.

Las personas deben evitar estirarse sobre la escalera y si es necesario, nunca lo harán a una distancia que obligue a sacar más de medio cuerpo de la misma y no hacerlo individualmente, debe haber otro hombre de apoyo.

No se puede trabajar más arriba del antepenúltimo peldaño. Se utilizará una escalera para cada trabajo.

Se deben usar las dos manos al subir la escalera y siempre se debe subir de cara a la misma.

Al utilizar andamios deben estar en buenas condiciones, armarlos correctamente, nivelarlos, que cuenten con zapatas, los tabloncillos deben ser amarrados por los dos extremos. Si el andamio rebasa una altura de 3 mts. Este debe ser asegurado (amarrado) a una estructura o utilizar cuerdas de viento.

Está prohibido arrojar cosas desde una altura hacia el suelo o una altura inferior o viceversa.

Durante la ejecución de todos los trabajos en altura se cerrará el área circundante al trabajo de forma que se evite el paso de las personas por áreas donde puedan caer objetos.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8.17. Trabajos en caliente

Los trabajos en caliente están definidos como: soldar, esmerilar, cortar con soplete, quemar, y cualquier actividad que produzca chispa, incluidos el abrir cubículos eléctricos o utilizar herramienta eléctrica en áreas clasificadas, operación de maquinaria con motores de combustión interna, motores eléctricos que no sean de la clasificación eléctrica establecida en áreas clasificadas. También las actividades en aquellas líneas o equipos que potencialmente pudieran contener residuos que puedan reaccionar entre sí. Debido a la naturaleza de los materiales utilizados en la planta, el uso del permiso de seguridad para trabajos en caliente es de mayor importancia para prevenir fuego, incendio o explosión.

No debe iniciarse ningún trabajo en caliente antes de que personal de operaciones o seguridad verifique que exista 0% de explosividad en la atmósfera.

8.18. Trabajos en espacios confinados

Espacio confinado es un lugar cerrado o parcialmente cerrado que normalmente no está diseñado para actividades de las personas, al cual se puede entrar y que existen riesgos tales como: deficiencia de oxígeno, acumulación de polvos o gases los cuales son inflamables o significan un riesgo para la salud, altas temperaturas, riesgos de entrar en contacto con sustancias peligrosas. Algunos ejemplos de espacios confinados son: tanques, recipientes de proceso, tolvas, excavaciones, trincheras de drenaje, etc.

Cualquier fosa o zanja que tenga una profundidad mayor a 1.5 mts. es considerada un espacio confinado.

El hombre apoyo es una persona entrenada y asignada para llevar a cabo las acciones de rescate en caso necesario. Este hombre apoyo se mantiene monitoreando las condiciones de trabajo para alertar al personal que se encuentra dentro del espacio confinado. El hombre apoyo debe tener la complejión física necesaria para efectuar el rescate de la persona que se encuentra realizando el trabajo.

Se deben cumplir los requisitos establecidos en el permiso para entrar a espacios confinados, así como asegurar que no se den condiciones de riesgo durante la realización del trabajo. Estos requisitos son:

1. El contenido de oxígeno debe estar en un rango entre 20% y 21% en volumen.
2. El nivel de explosividad debe ser cero, no deben existir polvos o residuos de material inflamable.
3. El recipiente debe estar aislado de cualquier otra línea o recipiente para evitar la entrada de producto al mismo.
4. El recipiente debe tener ventilación adecuada.
5. El recipiente debe soportar la entrada de la (s) persona(s) que vayan a estar dentro y evitar el peligro de que el mismo caiga y cause daño a dichas personas.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

6. La temperatura del recipiente no debe ser mayor de 35° C.
7. El recipiente debe tener iluminación a prueba de explosión para poder llevar a cabo el trabajo.
8. Debe existir un hombre apoyo durante todo el tiempo que dure el trabajo.
9. Las fuentes de energía del equipo deberán estar desconectadas. Esto debe asegurarse haciendo una prueba en campo de arranque de los motores de equipo que se encuentren dentro del recipiente.
10. En caso de ser necesario el rescate de una persona, solo el personal entrenado para ello atenderá dicho rescate. En caso de las excavaciones o zanjas, estas deben estar apuntaladas en sus paredes con madera que debe estar colocada de tal forma que evite la caída o derrumbe de dichas paredes. Además siempre debe existir una escalera por cada dos personas que se encuentren trabajando en la excavación

8.19. Orden y limpieza

Las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo y, en especial, las salidas y vías de circulación previstas para la evacuación en casos de emergencia, deberán permanecer libres de obstáculos de forma que sea posible utilizarlas sin dificultades en todo momento.

Los lugares de trabajo, y sus respectivos equipos e instalaciones, se limpiarán periódicamente y siempre que sea necesario para mantenerlos en todo momento en condiciones higiénicas adecuadas. A tal fin, las características de los suelos, techos y paredes serán tales que permitan dicha limpieza y mantenimiento.

Se eliminarán con rapidez los desperdicios, las manchas de grasa, los residuos de sustancias peligrosas y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

Las operaciones de limpieza no deberán constituir por sí mismas una fuente de riesgo para los trabajadores que las efectúen o para terceros, realizándose a tal fin en los momentos, de la forma y con los medios más adecuados.

Los lugares de trabajo deberán ser objeto de un mantenimiento periódico, de forma que sus condiciones de funcionamiento satisfagan las necesidades, subsanándose con rapidez las deficiencias que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.

El departamento de Seguridad y Salud, en coordinación con los responsables de las áreas serán los responsables de que los puestos de trabajo se encuentren en condiciones óptimas de orden y limpieza, para ello se implementaran las acciones y actividades necesarias a través del personal de intendencia y se desarrollara una conciencia entre el personal de planta respecto al orden y limpieza en los puestos de trabajo.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8.20. Manejo y disposición de residuos

8.20.1. Residuos peligrosos

Todo residuo peligroso que se genere en las actividades realizadas dentro de las instalaciones como: solventes contaminados, aceites usados, recipientes de pintura o solvente, trapo o estopa contaminada, guantes usados, entre otros, debe ser informado a la sección de Seguridad y Saludo para definir el almacenamiento control y disposición final. Particularmente se tendrá especial precaución en el manejo de residuos clorados.

Todos los residuos peligrosos deben estar almacenados en tambores metálicos de 200 lts. Debidamente tapados, con un llenado máximo del 80% de la capacidad del tambor, el tambor debe estar limpio por su exterior y que no presente golpes que puedan originar fugas, y debe estar etiquetado para su identificación desde el lugar donde sean originados y trasladarlos al almacén temporal de residuos peligrosos o dependiendo la cantidad depositarlo en los recipientes identificados y dispuestos para este fin que se encuentran en el almacén temporal de residuos peligrosos.

Por ningún motivo se permitirá disponer o almacenar los residuos peligrosos de tal manera que puedan causar un daño al medio ambiente como: depositarlos en recipientes abiertos, sin identificar, tirarlos en trincheras o drenes, depositarlos directamente en el suelo, depositarlos en recipientes de basura común o depósitos de desechos no peligrosos. Se deben tomar todas las medidas preventivas necesarias para evitar algún derrame de residuos peligrosos como lo refieren los procedimientos de Manejo de Residuos Peligrosos y el Procedimiento para la elaboración de Planes de Emergencia en materia de protección Civil.

No es permitido el mezclar los residuos peligrosos en un mismo recipiente.

Para la disposición final de los materiales y residuos peligrosos se deberá contratar una empresa autorizada y certificada por las autoridades del medio ambiente, la cual deberá hacer entrega del manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos, todo retiro deberá ser registrado en la bitácora para tal efecto.

8.20.2. Residuos no peligrosos

Controlar y disponer en forma segura sin que afecte el medio ambiente todos aquellos materiales generados por sus actividades dentro de nuestras instalaciones y que por sus características son considerados como no peligrosos o no industriales.

No es permitido el acumulamiento excesivo de residuos en las instalaciones de la planta, debiendo contar con un área asignada para su almacenamiento temporal.

Los desechos de basura orgánica, restos de comidas, envolturas, envases de bebidas (no vidrio), etc. pueden ser depositados en los contenedores de basura los cuales estarán distribuidos por toda la instalación y clasifican la basura en orgánica e inorgánica.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

8.21.Reglas generales de protección civil

8.21.1.Primeros auxilios

Los primeros auxilios se definen como los cuidados inmediatos, adecuados y provisionales prestados a las personas accidentadas o con enfermedad antes de ser atendidos en un centro asistencial. No son un tratamiento médico. Son un conjunto de decisiones que deben tomarse con sentido común para mejorar las condiciones de una persona hasta que sea atendida por un médico. Estos primeros auxilios solo podrán ser dados por el personal brigadista o empleados de planta que estén debidamente adiestrados para prestar este tipo de auxilio.

Los objetivos de los primeros auxilios son:

- Conservar la vida.
- Evitar complicaciones físicas y psicológicas.
- Ayudar a la recuperación.
- Asegurar el traslado de los accidentados a un centro asistencial.

8.21.2.Respuesta a emergencias

Se dispondrá de pulsadores de alarma distribuidos por la planta.

Todo el personal que se encuentre trabajando en la planta en el momento en que exista una emergencia debe tener bien comprendido cuales son sus funciones específicas para que responda de forma eficiente ante cualquier estado de emergencia. Para ello con anterioridad se deberá establecer un plan de emergencias y/o contingencias, mismo que deberá ser difundido entre el personal con el propósito de estar preparados ante la eventualidad de una emergencia, como lo refiere el procedimiento para la elaboración de Planes de Emergencia en materia de protección Civil

Debido a la naturaleza de los procesos de la planta los procedimientos de emergencias más importantes a desarrollar son:

1. Fuga de gas (cloro)
2. Incendio
3. Emergencia mayor en una planta vecina
4. Personal accidentado.
5. Inundaciones en la zona
6. Seismos



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

7. Derrames químicos

Al sonar la alarma de emergencia el personal que no tenga injerencia en la atención directa de la emergencia, se dirigirá hacia el punto de reunión más seguro para su conteo, teniendo cuidado de observar las rutas de evacuación.

Cuando la emergencia no pueda ser controlada por las brigadas para la atención de emergencias, se solicitara el apoyo de forma inmediata a las autoridades y cuerpos de emergencia externos a fin de poder hacer frente a la eventualidad surgida.

8.22. Fichas de seguridad de los productos químicos de la planta

En el caso particular de la parte final de proceso serán de obligado cumplimiento las normas de seguridad para el manejo de cloro y dióxido de titanio, siguiendo con total rigurosidad los procedimientos de primeros auxilios, manejo, etc. La ficha de seguridad del refrigerante DowthermA puede observarse en el Anexo#1.

8.22.1. Cloro

Gas color amarillo cenizo, venenoso y comburente. Puede absorberse a través del cuerpo por inhalación. Causa lagrimeo. Es corrosivo a los ojos, piel y tracto respiratorio. La inhalación puede causar edema pulmonar. La evaporación rápida puede causar quemaduras en el área de contacto. Una exposición por encima de los niveles de exposición ocupacional puede provocar la muerte. Los efectos pueden ser retardados. Puede causar erosión en los dientes.

Masa molecular: 70.9

No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. No poner en contacto con materiales incompatibles (ver Peligros Químicos). En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

Riesgo de incendio y explosión. No poner en contacto con materiales incompatibles.

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-EC: 0,5 ppm, 1,5 mg/m³

8.22.1.1. Efectos adversos potenciales

Inhalación: Forma ácidos en el organismo, espasmos en los músculos de la laringe, lagrimeo, tos, náuseas, dificultad respiratoria, dolor de cabeza y tracto respiratorio. Inhalación de concentraciones mayores de 1000ppm causan la muerte.

Ingestión: Chorro de líquido ocasiona sensación de quemadura. Puede ocasionar vómito

Piel: Mezclado con agua produce quemadura (ácido clorhídrico), irritación, dolor y enrojecimiento.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

Ojos: Líquido produce quemadura por congelamiento. Gas produce lagrimeo, dolor, visión borrosa y quemadura. Corrosivo para los tejidos

Efectos crónicos: Erosión en los dientes, posible bronquitis crónica.

8.22.1.2.Procedimientos de primeros auxilios

Inhalación: Trasladar a aire fresco. Administrar respiración artificial si es necesario y evitando boca a boca. Suministrar oxígeno si respira con dificultad. Buscar atención médica.

Ingestión : Lavar la boca con agua. Suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica.

Piel: Retirar ropa o calzado contaminados. Lavar la zona con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Si persiste irritación repetir lavado. Buscar atención médica.

Ojos: Lavar con abundante agua. Levantar y separar los párpados para remoción del químico. Repetir si persiste irritación. Buscar atención médica.

Después de proporcionar primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada.

8.22.1.3.Medidas en caso de incendio

No utilizar agua como medio de extinción (formación ácido). Evitar contacto con los gases formados.

Mantener alejado de materiales incompatibles. No exponer al calor de soldadura. Mantener ventilación.

Evacuar o aislar el área de peligro. Ubicarse a favor de viento y restringir acceso a la zona sin debida protección personal. Detener fuga y mantener refrigerado con agua de rocío la zona siempre que esté herméticamente cerrada y no exista contacto con el producto.

8.22.1.4.Medidas en caso de vertido

Evacuar o aislar el área de peligro. Ubicarse a favor de viento y restringir acceso a la zona sin debida protección personal. Ventilar el área y dispersar los vapores. Detener fuga si no hay riesgo y comprobar con solución amoniaca desde cierta distancia si ésta continúa. Puede conducirse el gas a través de una manguera hacia una solución de sosa cáustica o lechada de cal (se requieren 1.25lb de lechada de cal o soda por cada libra de cloro).

8.22.1.5.Manejo y almacenamiento

Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o actividad realizada. Mantener estrictas normas de higiene. No fumar ni comer en el lugar de trabajo. Manejar las menores cantidades posibles y conocer la ubicación del equipo de emergencias. Leer instrucciones de placas y etiquetas de los recipientes. No intentar alterar o reparar los



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

recipientes o conducciones y/o sus válvulas sin la debida protección respiratoria. No utilizar cerca de operaciones de soldadura o llama.

Almacenar en cilindros o cisternas de acero a presión en lugares ventilados a nivel del piso, frescos y secos, lejos de fuentes de ignición. La temperatura de almacenamiento no debe exceder los 55°C. Proveer de amplias vías de acceso.

8.22.1.6. Equipo de protección personal

Debe disponerse de duchas y estaciones lavaojos en las instalaciones

Gafas de seguridad, guantes resistentes y botas.

Para concentración menor de 25 ppm utilizar respirador con filtro químico

En caso de emergencia utilizar equipo de respiración autónomo (SCBA) con máscara completa y ropa de protección total resistente al producto

8.22.1.7. Reglamento específico

Ley 769/2002, Código Nacional de Tránsito Terrestre. Art. 32

Decreto 1609 del 31 de Julio de 2002 por el cual se reglamenta el manejo y transporte de mercancías peligrosas por carretera

Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986

Ministerio de defensa Nacional. Resolución 1875 de 1979 sobre prevención de la contaminación del medio marino. En ningún momento puede verterse esta sustancia al medio acuático.

8.22.2. Dióxido de Titanio

Peso molecular 79.90, pigmento blanco.

Sólido a temperatura ambiente, insoluble en agua, HCl, HNO₃ o alcohol, pero soluble en ácido sulfúrico concentrado caliente, fluoruro de hidrógeno o álcalis. Funde a 1830°C y ebulle entre 2500 y 3000°C.

Inerte, térmicamente estable y no inflamable.

8.22.2.1. Identificación de efectos adversos potenciales

Piel: El contacto con el polvo puede causar irritación o coloración de la piel.

Ojos: El contacto con los ojos puede conllevar irritación



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

Nariz: Puede ocasionar irritación de tracto respiratorio, pulmones, y nariz

8.22.2.2.Procedimientos de primeros auxilios

Inhalación: Llevar a respirar aire fresco. Si continúan los síntomas, buscar atención médica.

Contacto con la piel: Lavar con agua y jabón

Contacto con los ojos: Enjuagar con abundante agua

Ingestión: No se indica intervención específica.

8.22.2.3.Medidas en caso de incendio

Utilídense medidas apropiadas a las circunstancias locales. El producto no es combustible.

8.22.2.4.Medidas en caso de vertido

Evitar respirar el polvo. No verter en aguas superficiales o aguas sanitarias. Para su limpieza, inténtese no crear polvo. Tras la limpieza, lavar la zona con agua.

8.22.2.5.Manejo y almacenamiento

Evitar respirar el polvo. Dado que es un producto mineral totalmente oxidado, no puede ser parte de explosión o combustión, pero la existencia de polvo puede alimentar ambas.

Mantener en contenedores o envases perfectamente cerrados en áreas secas y bien ventiladas.

8.22.2.6.Límites de exposición ocupacional. Protección personal

Límite de exposición: TWA = 10-15mg/m³

En caso de tratar concentraciones altas, utilizar equipos de respiración.

Guantes, gafas de seguridad.

Siempre lavar las manos antes de los descansos y al final de jornada.



Borja Hernández García

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



9. PRESUPUESTO

El objetivo de este apartado es estimar el precio aproximado de la instalación de la parte final del proceso de producción de dióxido de titanio. Para ello, se tomarán como referencia los estándares para construcción de plantas de proceso del libro "Process Plant Construction Standards", de Richardson Engineering Service Inc [Bibliografía]. Mediante este sistema se aproxima el valor del equipo, sumado a las horas-hombre necesarias normalmente para instalarlo, para obtener un valor total aproximado.

Puesto que no se contempla la planta en su totalidad, no parece lógico calcular valores como el rendimiento económico total, la viabilidad o la amortización de la planta. Sin embargo, cabe señalar que, de media, el valor del mineral que en ella entra (rutilo/anatasa) suele ser de unos 550 a 700 \$/tonelada, variable según el grado de pureza, y normalmente el valor del dióxido de titanio comercial está entre 2500 y 3500 \$ por tonelada, según el tamaño y las propiedades requeridas.

9.1. Estimación del presupuesto para los equipos

En la siguiente tabla quedan reflejados la descripción de cada equipo, su coste unitario, las horas aproximadas de instalación (incluyendo pruebas de funcionamiento), su coste, y por último, el total.

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Intercambiador E-105	Carcasa + tubos, ceramic		59	2124	1	
	Precio base	18990				
	Cabezales	4670				
	Carcasa	2700				
	Tubos	6890				
	Baffles	1230				
	Soporte	980				
	TOTAL	35460				37584



Borja Hernández García

PRESUPUESTO



Octubre 2012

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Filtro mangas F-101	Filtro, incluye conexiones de entrada y salida	44578	130	4680	1	49258
	Soplante de aire comprimido	2350			1	2350
	TOTAL					51608

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Molinos C-101 y C-102	Molino de bolas	165000	430	15480	2	360960
	TOTAL					360960

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Secadero E-107	Secadero rotatorio, carbon steel	108600	80	2880	1	111480
	Ciclón colector	6900			1	6900
	TOTAL					118380

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Tornillo sin fin		8265	5	180	4	33780
	TOTAL					33780

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Depósito V-107	Depósito vertical, acero. Incluye soportes y tuberías de entrada y salida	9880	84	3024	1	12904
	TOTAL					12904



Borja Hernández García

PRESUPUESTO



Octubre 2012

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Bomba P-103 A/B	Bomba centrífuga monoetapa	2998	28	1008	2	8012
	TOTAL					8012

Nombre	Tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Intercambiador E-106	Carcasa + tubos, SS		30	1080	1	
	Precio base	8400				
	Cabezales	2550				
	Carcasa	1449				
	Tubos	2248				
	Baffles	889				
	Soporte	980				
	TOTAL	16516				17596

9.2. Estimación de presupuesto para instalaciones de control y tuberías

De forma similar, con los equipos de control y las líneas de tuberías.

Nombre	Material/tipo	Precio unitario (€)	Horas	Coste laboral (€)	Cantidad	Total (€)
Valvula globo	SS	755.15	1.25	45	1	800
Válvula globo	Ceramic	1255.45	1.25	45	1	1300
Tuberías + soportes constructivos						
Tubería línea 1	Ceramic	99.5	10	360	1	459
Tubería línea 2	CS	25.78	5	180	1	205
Tubería línea 3	CS	25.78	8	288	1	313
Tubería línea 4	CS	25.78	6	216	1	241
Tubería línea 5	CS	25.78	8	288	1	313
Tubería línea 6	CS	25.78	6	216	1	241
Válvula de control	Cast steel	2993.2	3.1	111.6	4	12419



Borja Hernández García

PRESUPUESTO



Octubre 2012

Reguladores/controladores/indicadores/transmisores							
En línea 1	Presión	Isolated, Foxboro	2381	2.3	82.8	1	2463
	Temperatura	Isolated	798	3	108	1	906
	Flujo	Isolated, diafragma	670	3	108	1	778
En resto de líneas	Presión	Iron brass, Foxboro	1975	1.8	64.8	6	12238
	Temperatura	Resistencia platino	680	2.6	93.6	10	7736
	Flujo	Bronce, diafragma	570	2.7	97.2	5	3336
	Nivel de liquido	Direct level gauge	1255	2.4	86.4	1	1341
	Manómetro	Bourdon	70	0.5	18	8	704
Controladores lógicos programables (PLC)			22950	7	252	5	116010
Instalación instrumental (paneles, control distribuido)			154650	8	288	1	154938
TOTAL							316748

9.3. Presupuesto total

Una vez sumados los precios estimados para equipos e instalaciones de tuberías y control, el total es de 957 572€. No se incluyen costes constructivos de ningún elemento del resto de la planta, así como tampoco se tienen en cuenta gastos derivados de tareas de oficial técnica ni estudios de viabilidad, al necesitarse el presupuesto de la planta al completo.



Borja Hernández García

PRESUPUESTO



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



Borja Hernández García



Octubre 2012

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. Referencias teóricas generales

Inderwildi and Kraft. "Adsorption, Diffusion and Desorption of Chlorine on and from Rutile TiO₂". Theoretical Investigation.. ChemPhysChem 2007, 8, Weinheim.

I.Z. Dubé. "Estudio de capas nanoestructuradas de TiO₂ para celdas fotoquímicas", Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Físicas. Universidad de La Habana, 2004.

Andrew J. Timpone "A method to study the oxidation kinetics of titanium tetrachloride" de, Department of Chemical Engineering, Case Western Reserve University.

Ito, Chen, Comte, Khaja, Nazeeruddin, Liska, Péchy and Grätzel. "Fabrication of Screen-Printing pastes from TiO₂ powders for Dye-Sensitive solar cells", Laboratory of Photonique and Interfaces, Institute des Sciences et Ingenierie Chimiques, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, January-March 2007.

"Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry", European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture, August 2007.

CISPROQUIM. "Hoja de datos de seguridad: Cloro" Revisión 21.03.2005.

"Manual de Lineamientos de Seguridad Industrial y Ambiente Laboral", CAPUFE, 2005.

"Manufacture and general properties of titanium dioxide pigments", Huntsman Tioxide. Tioxide group, 1999.

Ram Raghavan "Measure of the high-temperature kinetics of TiCl₄ reactions in a rapid compression machine" Department of Chemical Engineering, Case Western Reserve University.

R.H. West . "Modelling the Chloride Process for Titanium Dioxide Synthesis", University of Cambridge, 2008.

Mehta, Sung, Raman & Fox. "Multiscale modelling of TiO₂ nanoparticle. Production in flame reactors: Effect of chemical mechanism", Publication by Iowa State University, University of Texas at Austin.

Dr J. Winkler "Nanoscaled titanium dioxide: Use in coatings, plastics and cosmetics" Publication "Nanomaterials 2".

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). "Occupational Exposure to Titanium Dioxide", Department of Health and Human Services. Publication Nº 2011-160, April 2011.



Borja Hernández García

BIBLIOGRAFÍA Y FORMULARIO



Octubre 2012

Richardson Engineering Service, Inc. "Process Plant Construction Estimating Standards" 1997 edition,

J.M Bernal Aguilar "Proyectos Fin de Carrera de Ingeniería Química", Universidad de Cádiz, 2005.

G.S. McNulty "Production of titanium dioxide", Publication by Huntsman Pigments, Tioxide Europe Ltd.

Corporation Limited. "Rutile Titanium Dioxide Data Sheet", Westmoonint (HK), 2009.

"Studies that verify that Titanium Dioxide is safe product", Titanium Dioxide Manufacturers Association (TDMA), Cefic group, April 2004.

Dupont Industries. "Titanium dioxide pigment, Safety Data Sheet" Version 5.2, revision date 19.06.2012.

J.G. Narkin "Titanium Dioxide Industry Overview", memorandum 2007

X. Chen and S.S. Mao "Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications", Publication in Chem Rev, 2007, 107, 23 June 2007.

Wiley-VCH "Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry", 6th Edition.

Moreno, Carballo, Jurado & Chinarro "Una revisión del uso de TiO₂ en terapias e ingeniería tisular", Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC. Artículo de Revisión del Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 2009.

International Agency for Research on Cancer (IARC). "Volume 93: Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans". Lyon, France, 2010.

10.2. Referencias bibliográficas para el cálculo y dimensionamiento

[#1] Robert H. Perry "Manual del Ingeniero Químico". Tercera edición, Ed. McGraw Hill, 2001.

[#2] Warren L. McCabe. "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química". Cuarta edición, Ed. McGraw Hill, 1991.

[#3] Shah, Ishizuka, Rudy and Wadekar. "High Temperature Heat Exchangers", Informe de Bengt Sunden. Proceedings of Fifth International Conference on Enhanced, Compact, and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology, Eds. Engineering Conferences International. Hoboken, NJ, USA. Sept. 2005.

[#4] R.K Sinnott "Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Vol 6, 3rd Edition: Chemical Engineering Design", Ed. Butterworth Heinemann, 1999.



Borja Hernández García

BIBLIOGRAFÍA Y FORMULARIO



Octubre 2012

[#5] Asignatura de Ingeniería Técnica Industrial, Esp. Química Industrial. "Equipo y Accesorios de la Industria Química", Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Valladolid, curso 2010-11.

[#6] S.G. Suárez. "Diseño de un sistema de extracción de polvo generado durante el proceso de arenado", Tesis de grado para Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Superior del Litoral, Ecuador, 2008.

[#7] "www.filters-strainers.com", Source for filter media, filter housings, filter systems & strainers

[#8] "Bag filter system sizing", Advanced Water Engineering Inc publication, Indian Harbour Beach, July 2001

[#9] "www.kthsales.com", KTH Sales Inc, Corrosion Resistant Specialties

[#10] "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías", división de Ingeniería de Crane, 1976, Ed. McGraw Hill.

[#11] "Rhodax interparticle crushes maximizes chloride slag production with a minimum generation of fines" Informe del Research Centre, FCB cement, Francia. Southern Africa Institute of Mining and Metallurgy, 2007.

[#12] R.H Snow, T. Allen, B.J. Ennis, J.D Litster "Size reduction and size enlargement"

[#13] "Transportes: Tornillos sin fin", Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad Carlos III de Madrid

10.3. Formulario

[#1] Movimiento de partículas esféricas en fluidos: Ley de Newton para la velocidad límite de sedimentación por gravedad [Bibliografía #2]

$$u = \sqrt{\frac{4gD_p(\rho_p - \rho)}{3C_D\rho}}$$

[#2] Ecuación general de cantidad de calor contenido en un fluido

$$q = \sum \dot{m}C_p\Delta T$$

[#3] Diferencia media logarítmica de temperaturas [Bibliografía #5]

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$



Borja Hernández García

BIBLIOGRAFÍA Y FORMULARIO



Octubre 2012

$$\Delta T_m = \Delta T_{ln} F$$

[#4] Transferencia de calor a través de una superficie

$$Q = UA\Delta T_m$$

Con U, coeficiente global de transferencia de calor:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{0d}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i}$$

[#5] Caída de presión en filtros de mangas limpios, Denny & Klemm [Biblio. #6]

$$\begin{aligned} (Pe_{\Delta W}) &= 1045 V_f P_f^{-0.65} \\ \Delta P_f &= (Pe_{\Delta W}) + K_2 W_0 V_f \\ W_0 &= C_t V_f t \end{aligned}$$

[#6] Espesor de tuberías [Biblio. #5]

$$\frac{2SE}{M} \cdot t - 2Pt = PD_i + 2SEC$$

[#7] Ec. de Von Karman

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log(\varepsilon/3.71D)$$

[#8] Caída de presión en conducciones

$$\frac{-\Delta P}{L} = f_{SF} \cdot f \cdot \frac{u^2}{2gD}$$

[#9] Factor de fricción según expresión de Chen

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7065} - \frac{5,042}{Re} \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{1,1098}}{2,8257} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right) \right]$$

[#10] Ley de Bond



Borja Hernández García

BIBLIOGRAFÍA Y FORMULARIO



Octubre 2012

$$P = \dot{m} \cdot K \cdot Wt \left(\frac{1}{\sqrt{D_{final}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{inic}}} \right)$$

[#11] Velocidad crítica de un molino de bolas

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R-r}}$$

[#12] Caracterización de tornillos sin fin

$$\text{Área de relleno } S = \lambda \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\text{Velocidad del transportador } v = \frac{tn}{60}$$

$$\text{Flujo del material } Q = 3600sv\gamma k$$

$$\text{Potencia } P = P_H + P_N + P_{st}$$

$$P_H = c_0 \frac{QL}{367}$$

$$P_N = \frac{DL}{20}$$

$$P_{st} = \frac{QH}{367}$$



Borja Hernández García

BIBLIOGRAFÍA Y FORMULARIO



Octubre 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial

Borja Hernández



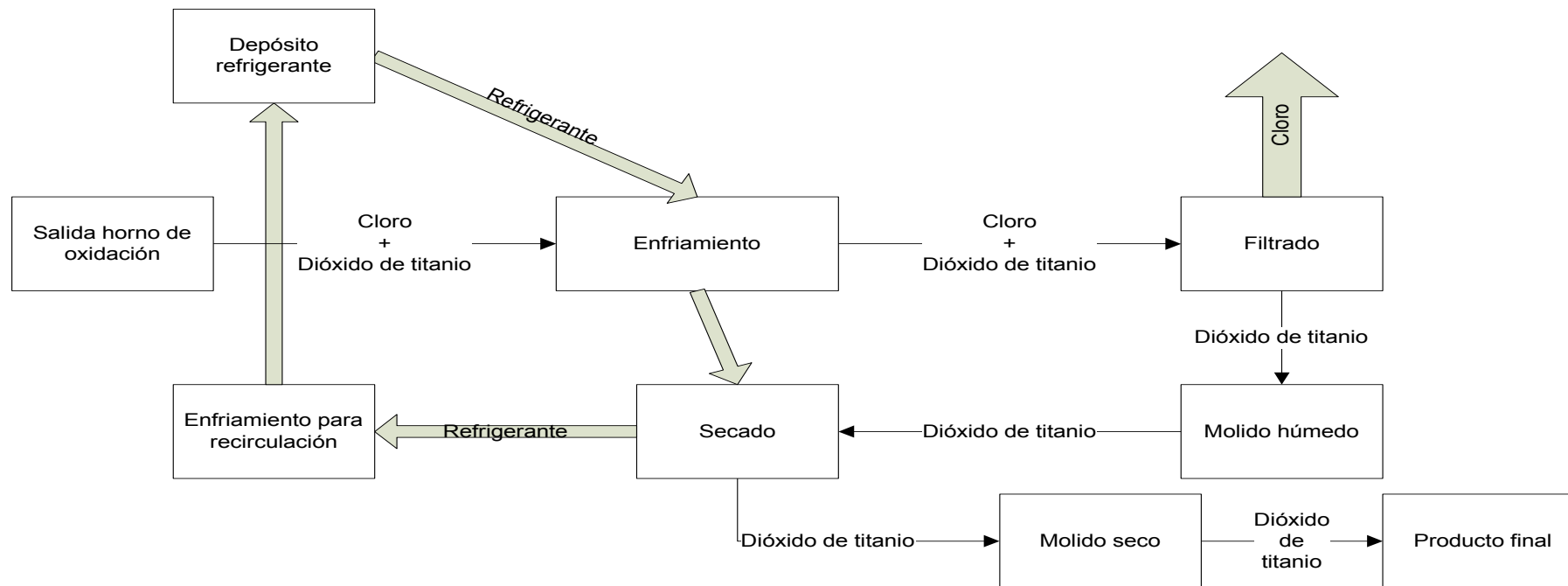
Borja Hernández García


PLANOS

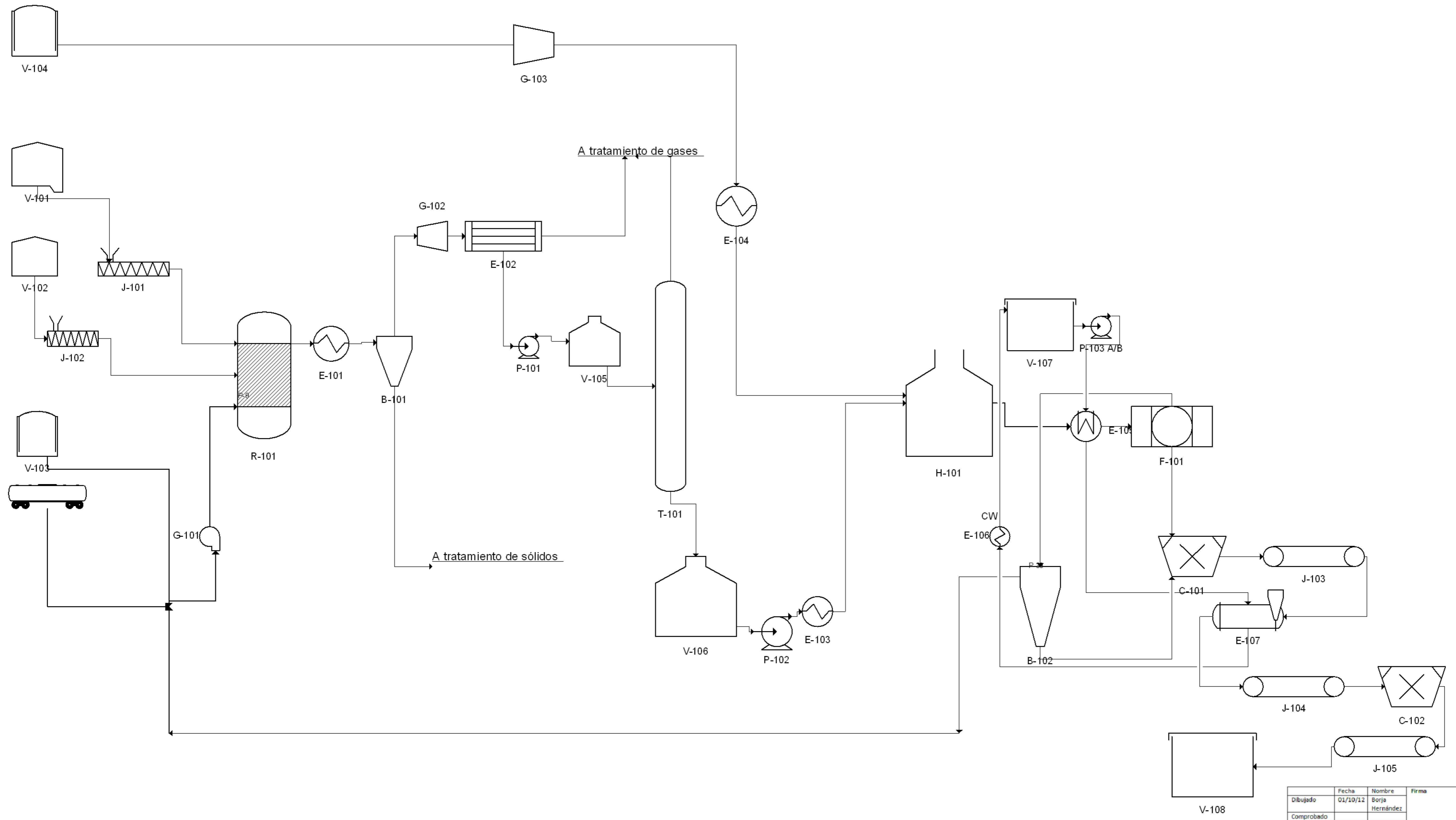


Octubre 2012

11. PLANOS



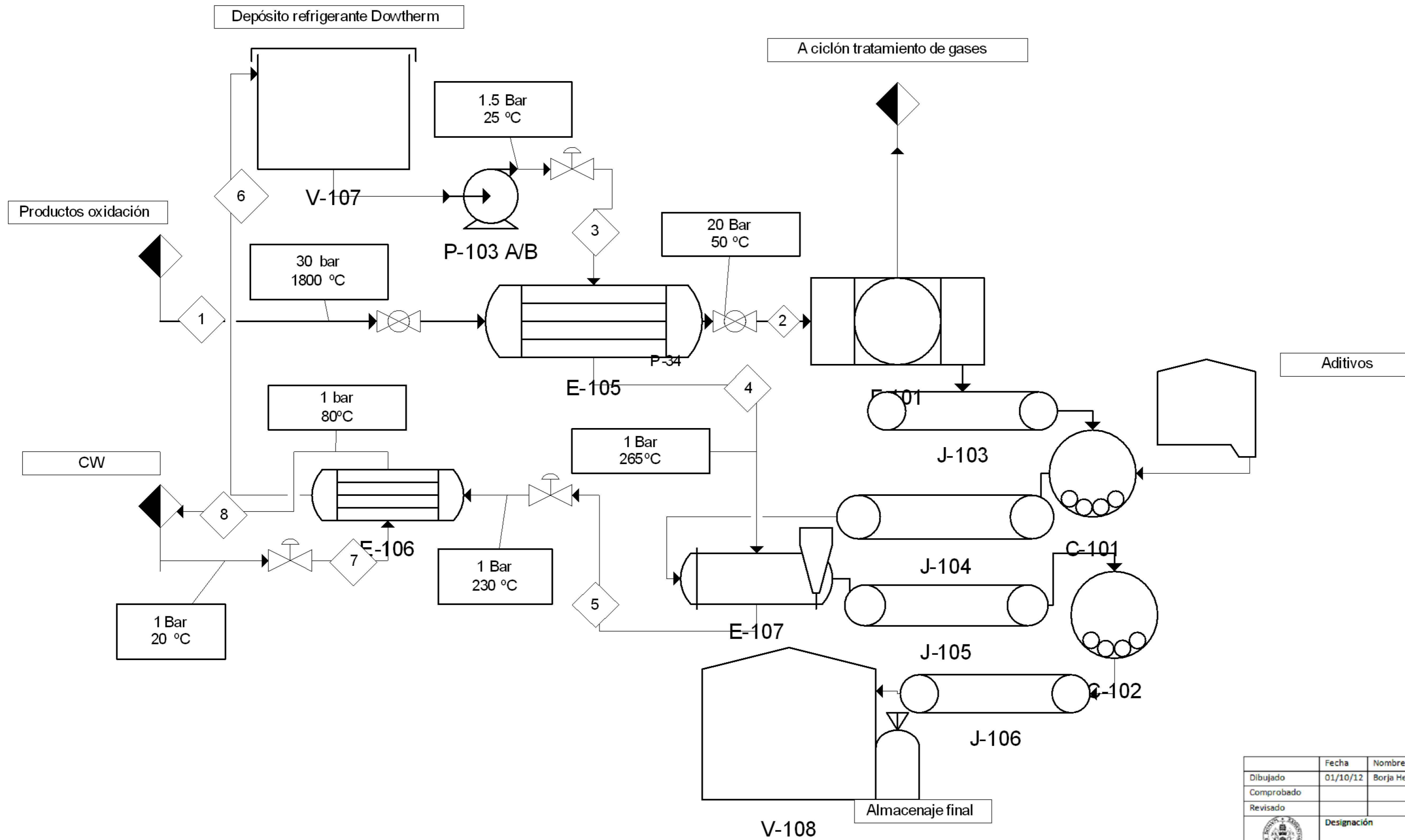
	Fecha	Nombre	Firma	Razón Planta de producción de TiO₂
Dibujado	01/10/12	Borja Hernández		
Comprobado				
Revisado				
	Designación			Número de plano NN/AA
	DIAGRAMA DE BLOQUES, PARTE FINAL DEL PROCESO			Sustituye
				Sustituido
Escala				Página 1/1



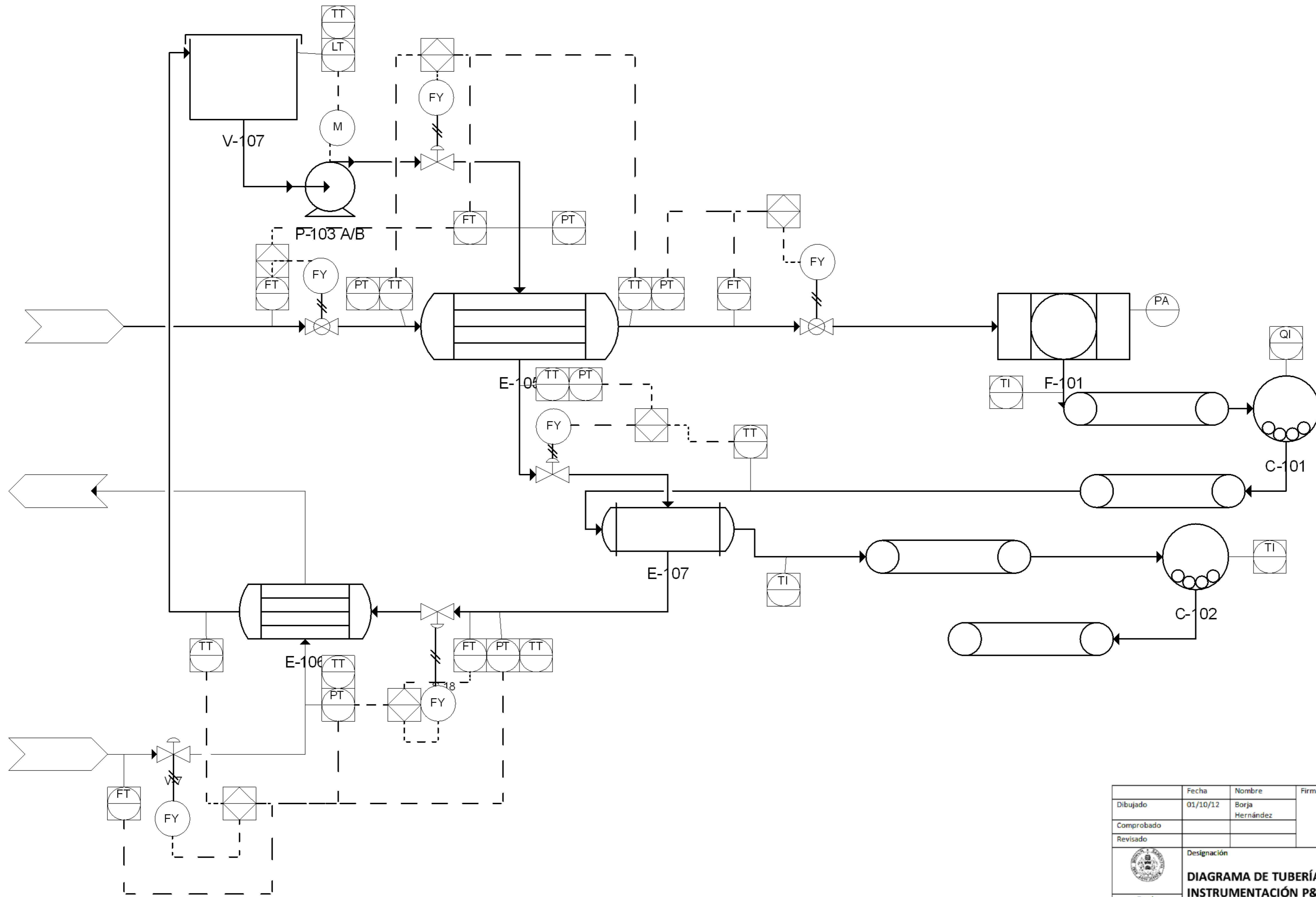
Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	Razón
Comprobado	01/10/12	Borja Hernández		Planta de producción de TiO ₂
Revisado				
Escala	Designación			Número de plano
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (PFD) GLOBAL			1
				Sustituye Sustituido
				Página
				1/1

E-105 Intercambiador de calor	F-101 Filtro de mangas	C-101 Molino de bolas	E-107 Secadero rotatorio
E-106 Intercambiador de calor	C-102 Molino de bolas	P-103 A/B Bomba centrífuga	V-107 Depósito
J-103 Sinfin	J-104 Sinfin	J-105 Sinfin	J-106 Sinfin

Lista de corrientes										
Nº	Flujo (kmol/h)				Presión (bar)	Temperatura (°C)	Composición (Molar)			
	TiO2	Cl2	Dowtherm A	CW			TiO2	Cl2	Dowtherm A	CW
1	3754	7588	0	0	30	1800	0.33	0.66	0	0
2	3754	7588	0	0	20	50	0.33	0.66	0	0
3	0	0	162	0	1.5	25	0	0	1	0
4	0	0	162	0	1	265	0	0	1	0
5	0	0	162	0	0.9	230	0	0	1	0
6	0	0	162	0	0.5	25	0	0	1	0
7	0	0	0	2388	1	20	0	0	0	1
8	0	0	0	2388	1	80	0	0	0	1



	Fecha	Nombre	Firma	Razón
Dibujado	01/10/12	Borja Hernández		Planta de producción de TiO2
Comprobado				
Revisado				
Escala	Designación			Número de plano
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (PFD), PARTE FINAL			2
				Sustituye Sustituido
				Página 1/1



	Fecha	Nombre	Firma	Razón
Dibujado	01/10/12	Borja Hernández	•	Planta de producción de TiO ₂
Comprobado				
Revisado				
Escala	Designación			Número de plano
	DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN P&I			3
				Sustituye
				Página
				1/1

13. ANEXOS

[#1] Especificaciones de refrigerante Dowtherm A

Product Information



DOWTHERM A

Synthetic Organic Heat Transfer Fluid—Liquid and Vapor Phase Data

DOWTHERM[®] A heat transfer fluid is a eutectic mixture of two very stable compounds, biphenyl (C₁₂H₁₀) and diphenyl oxide (C₁₂H₁₀O). These compounds have practically the same vapor pressures, so the mixture can be handled as if it were a single compound. DOWTHERM A fluid may be used in systems employing either liquid phase or vapor phase heating.

Recommended use temperature range:

Liquid phase: 15°C (60°F) to 400°C (750°F)

Vapor phase: 257°C (495°F) to 400°C (750°F)

Suitable applications: Indirect heat transfer

For health and safety information for this product, contact your Dow sales representative or call the number for your area on the second page of this sheet for a Material Safety Data Sheet (MSDS).

Typical Properties of DOWTHERM A Fluid¹

Composition: Diphenyl Oxide/Biphenyl Blend

Color: Clear to Light Yellow

Property	SI Units	English Units
Freeze Point	12.0°C	53.6°F
Atmospheric Boiling Point	257.1°C	494.8°F
Flash Point ¹	113°C	236°F
Fire Point ²	118°C	245°F
Autoignition Temperature ³	599°C	1110°F
Density @ 25°C (75°F)	1056 kg/m ³	66.0 lb/ft ³
Surface Tension in Air @		
20°C (68°F)	40.1 Dynes/cm	40.1 Dynes/cm
40°C (104°F)	37.6 Dynes/cm	37.6 Dynes/cm
60°C (140°F)	35.7 Dynes/cm	35.7 Dynes/cm
Estimated Critical Temperature	497°C	927°F
Estimated Critical Pressure	31.34 bar	30.93 atm
Estimated Critical Volume	3.17 l/kg	0.0508 ft ³ /lb
Average Molecular Weight		166.0
Heat of Combustion	36,053 kJ/kg	15,500 Btu/lb

¹ Not to be construed as specifications

² BETA

³ C.O.C.

⁴ ASTM E859-76

Saturated Liquid Properties of DOWTHERM A Fluid (SI units)

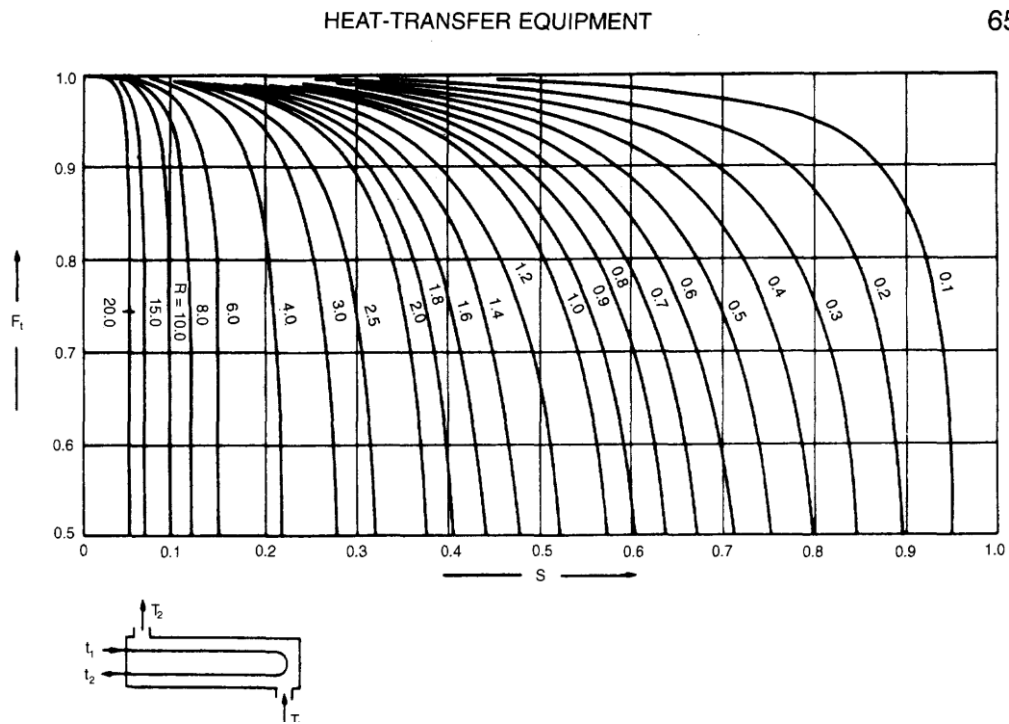
Temp. °C	Vapor Pressure bar	Viscosity mPa sec	Specific Heat kJ/kg K	Thermal Cond. W/mK	Density kg/m ³
15	0.00	5.00	1.558	0.1395	1063.5
65	0.00	1.58	1.701	0.1315	1023.7
105	0.01	0.91	1.814	0.1251	990.7
155	0.06	0.56	1.954	0.1171	947.8
205	0.28	0.38	2.093	0.1091	902.5
255	0.97	0.27	2.231	0.1011	854.0
305	2.80	0.20	2.373	0.0931	801.3
355	5.80	0.16	2.527	0.0851	742.3
405	11.32	0.12	2.725	0.0771	672.5

Saturated Liquid Properties of DOWTHERM A Fluid (English units)

Temp. °F	Vapor Pressure psia	Viscosity cP	Specific Heat Btu/lb °F	Thermal Cond. Btu/hr ft ² (°F/ft)	Density lb/ft ³
60	0.000	4.91	0.373	0.0805	66.37
120	0.003	2.12	0.396	0.0775	64.72
180	0.028	1.22	0.418	0.0744	63.03
240	0.16	0.81	0.441	0.0713	61.30
300	0.64	0.59	0.463	0.0682	59.51
360	2.03	0.45	0.485	0.0651	57.65
420	5.38	0.35	0.507	0.0620	55.72
480	12.25	0.28	0.529	0.0590	53.70
540	24.72	0.23	0.552	0.0559	51.57
600	45.31	0.19	0.575	0.0528	49.29
660	76.89	0.16	0.599	0.0497	46.82
720	122.7	0.14	0.627	0.0466	44.08
780	186.4	0.12	0.665	0.0436	40.93

[®]Trademark of The Dow Chemical Company

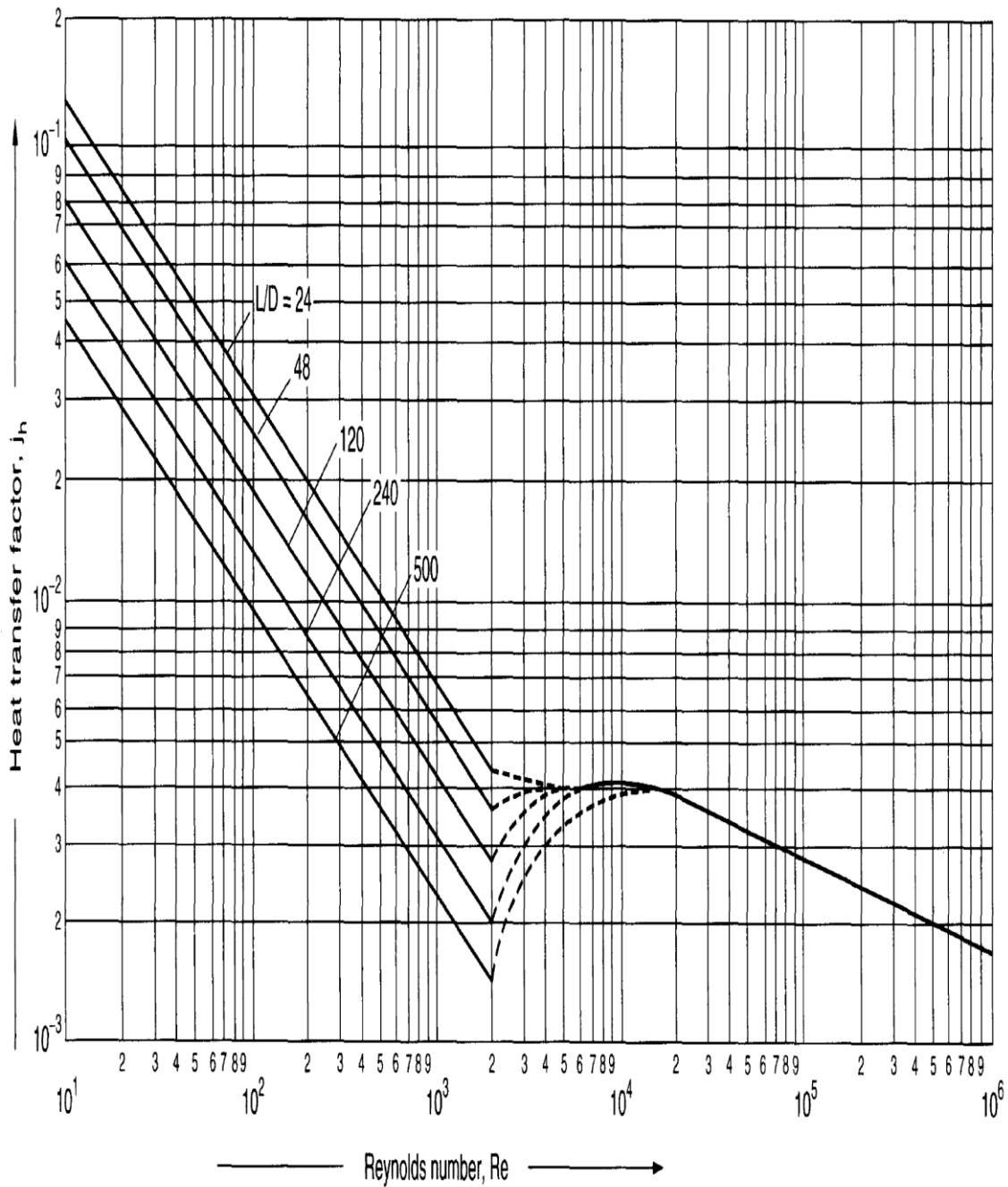
[#2] Factor de corrección de la temperatura media logarítmica para un paso en tubos [Bibliog. #4]



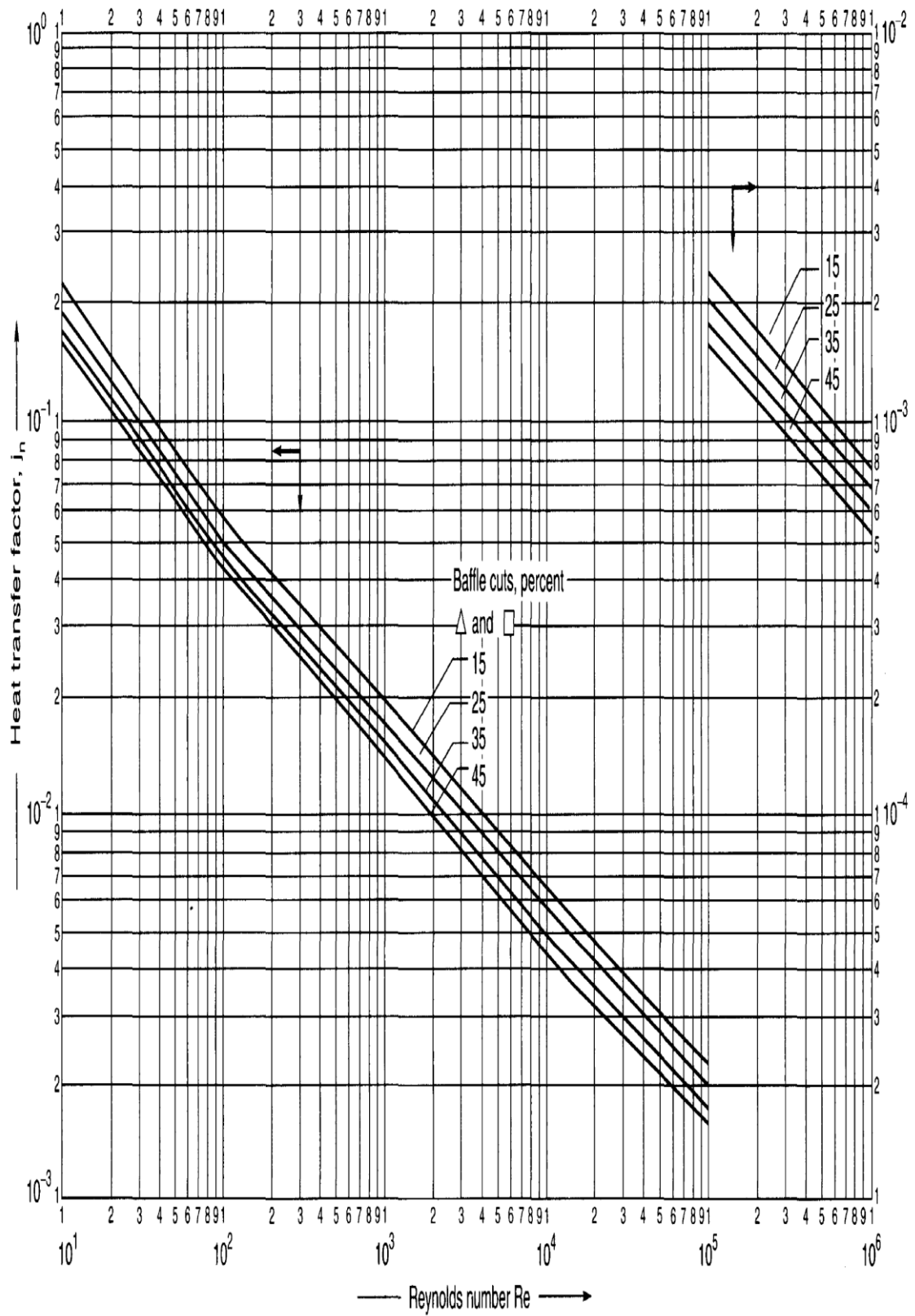
[#3] Valores típicos de K y n para alineamiento de los tubos [Bibliog. #4]

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

[#4] Factor de transferencia de calor en tubos j_H [Bibliog. #4]



[#5]Factor de transferencia de calor en carcasa[Bibliog. #4]

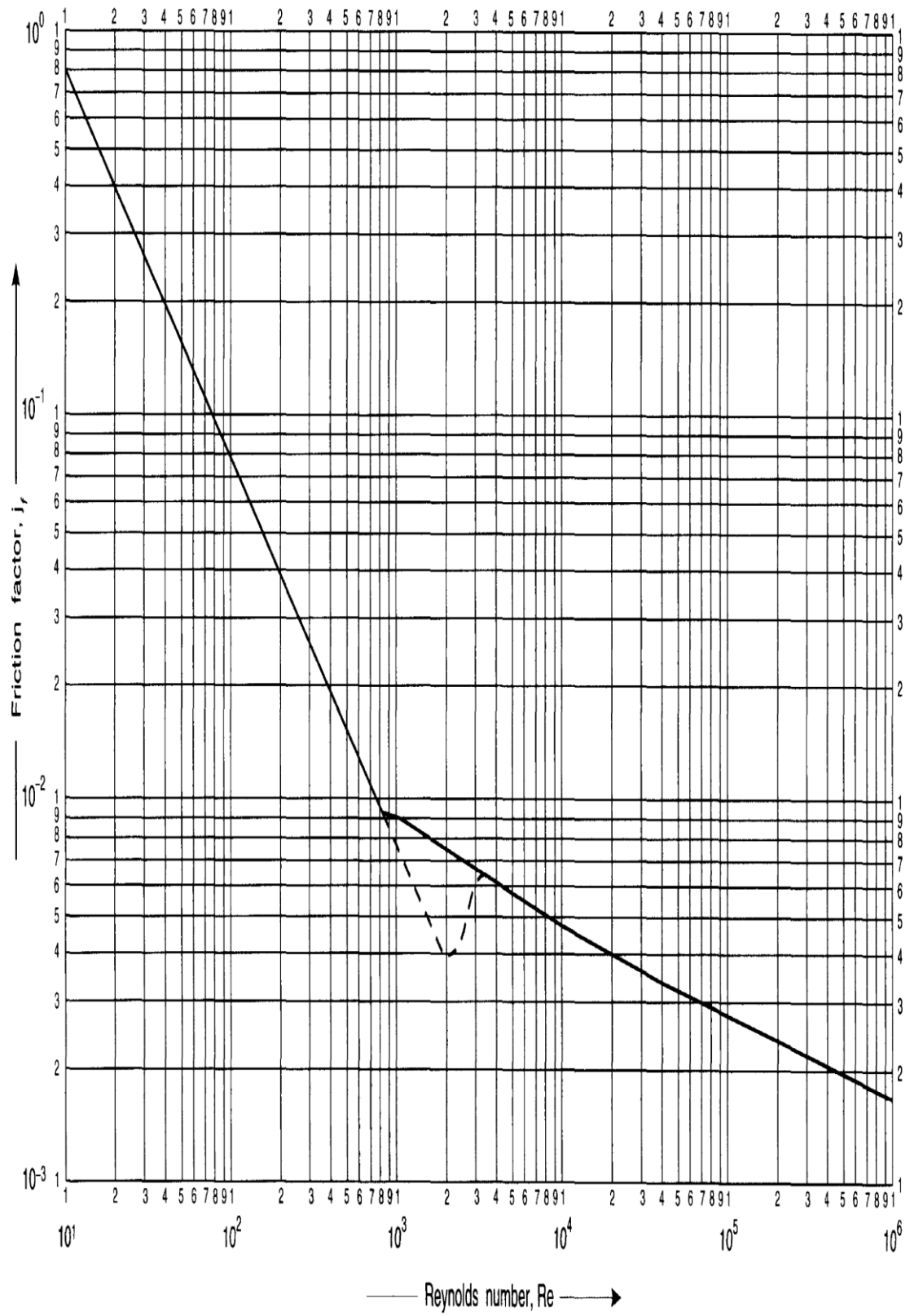


[#6] Coeficientes típicos de ensuciamiento [Bibliog. #4]

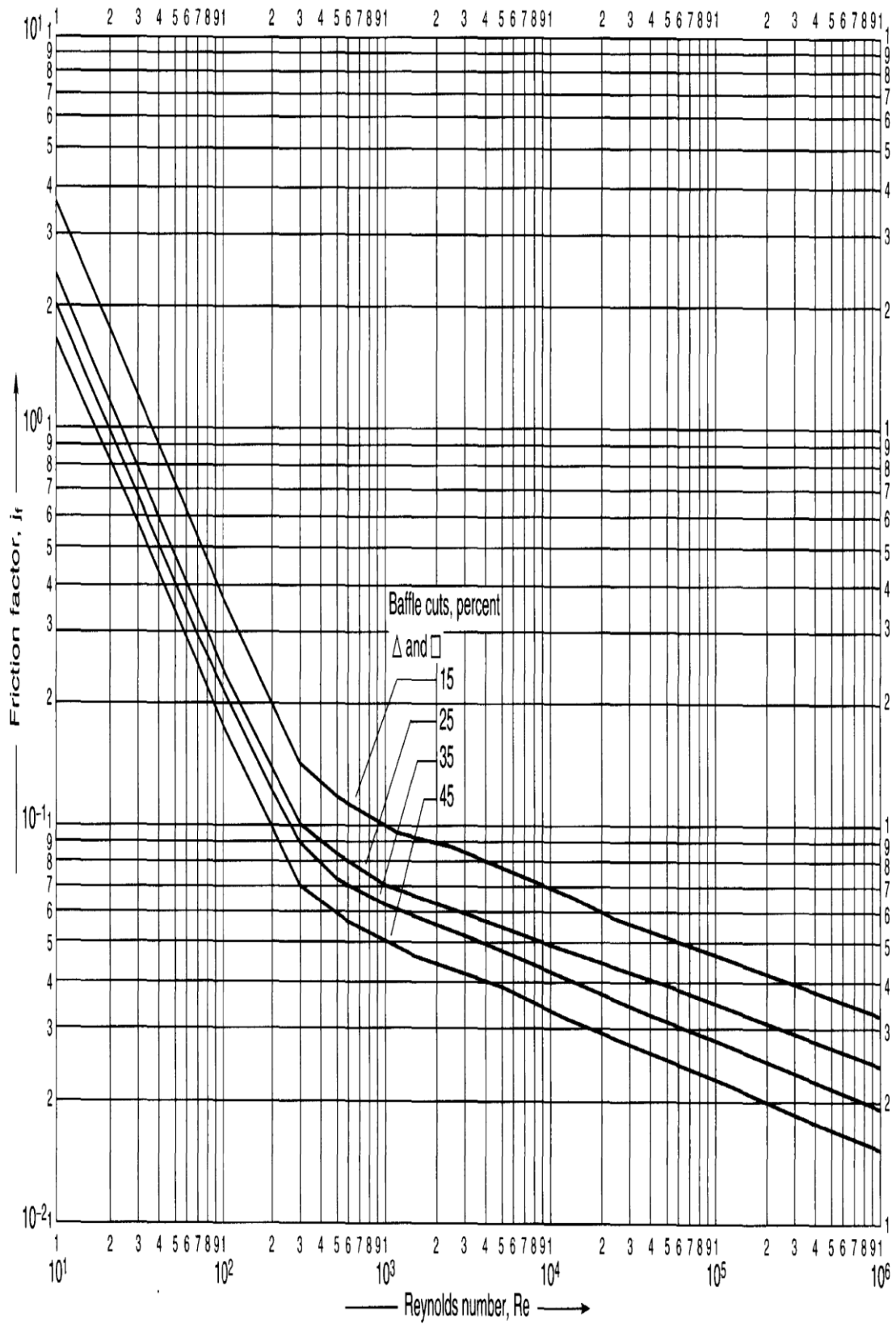
Table 12.2. Fouling factors (coefficients), typical values

Fluid	Coefficient ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)	Factor (resistance) ($m^2 C/W$)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

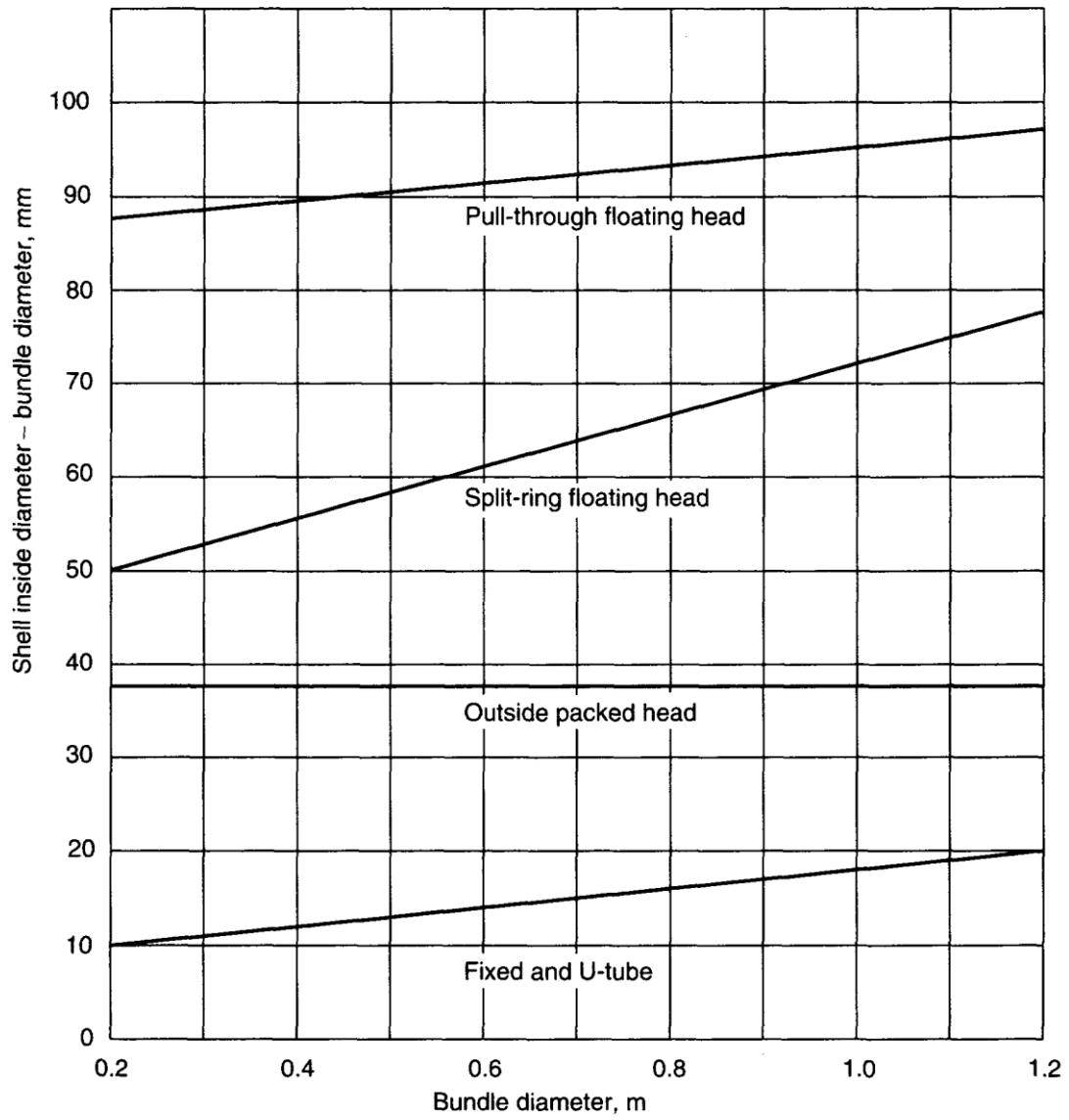
[#7]Factor de fricción en tubos [Bibliog. #4]



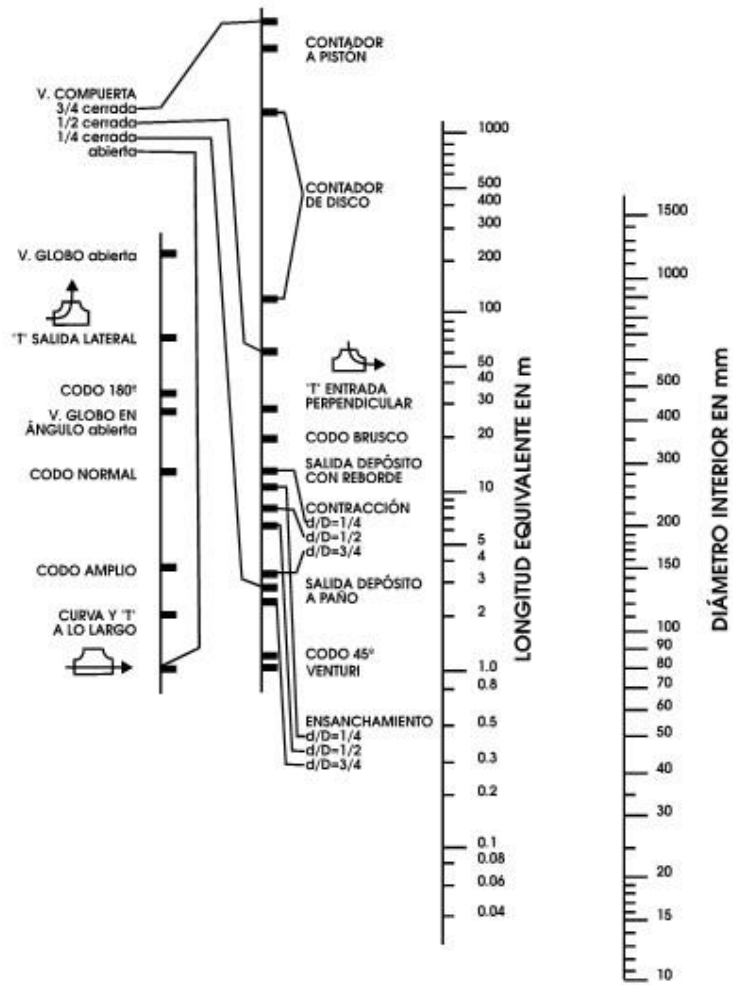
[#8] Factor de fricción en carcasa[Bibliog. #4]



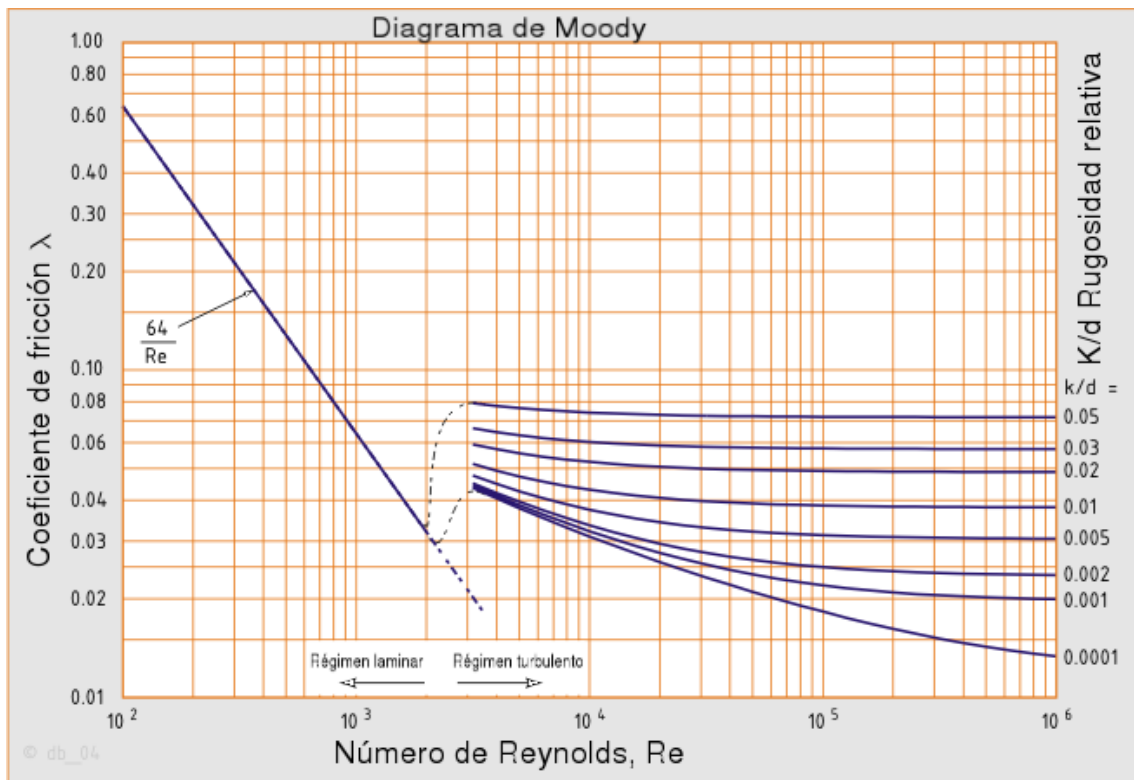
[#9] Diámetro de carcasa [Bibliog. #4]



[#10] Longitud equivalente en tuberías



[#11] Ábaco de Moody



[#12] Tuberías comerciales de acero (las marcadas no corresponden con las elegidas)

B-13a. Tuberías comerciales de acero. Con base en ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970									
Espesor de la tubería según número de cédula									
Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior	Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior		
pulgadas	mm	mm	mm	pulgadas	mm	mm	mm		
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 88 (continuación)	3½	101.6	8.08	85.4
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.56	97.2
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3
	20	508.0	6.35	495.3		6	168.3	10.97	146.4
	24	609.6	6.35	596.9		8	219.1	12.70	193.7
	30	762.0	7.92	746.2		10	273.0	15.09	242.8
Cédula 20	8	219.1	6.35	206.4	12	323.9	17.47	289.0	
	10	273.0	6.35	260.3	14	355.6	19.05	317.5	
	12	323.9	6.35	311.2	16	406.4	21.44	363.5	
	14	355.6	7.92	339.8	18	457.2	23.82	409.6	
	16	406.4	7.92	390.6	20	508.0	26.19	455.6	
	18	457.2	7.92	441.4	24	609.6	30.96	547.7	
Cédula 30	20	508.0	9.52	489.0	Cédula 100	8	219.1	15.09	188.9
	24	609.6	9.52	590.6		10	273.0	18.26	236.5
	30	762.0	12.70	736.6		12	323.9	21.44	281.0
	8	219.1	7.04	205.0		14	355.6	23.82	308.0
	10	273.0	7.80	257.4		16	406.4	26.19	354.0
	12	323.9	8.38	307.1		18	457.2	29.36	398.5
Cédula 40	14	355.6	9.52	336.6	20	508.0	32.54	442.9	
	16	406.4	9.52	387.4	24	609.6	38.89	531.8	
	18	457.2	11.13	434.9	Cédula 120	4	114.3	11.13	92.0
	20	508.0	12.70	482.6		5	141.3	12.70	115.9
	24	609.6	14.27	581.1		6	168.3	14.27	139.8
	30	762.0	15.88	730.2		8	219.1	18.26	182.6
1/8	10.3	1.73	6.8	10		273.0	21.44	230.1	
3/8	13.7	2.24	9.2	12		323.9	25.40	273.1	
Cédula 60	1/2	17.1	2.31	12.5	14	355.6	27.79	300.0	
	5/8	21.3	2.77	15.8	16	406.4	30.96	344.5	
	3/4	26.7	2.87	21.0	18	457.2	34.92	387.4	
	1	33.4	3.38	26.6	20	508.0	38.10	431.8	
	1 1/4	42.2	3.56	35.1	24	609.6	46.02	517.6	
	1 1/2	48.3	3.68	40.9	Cédula 140	8	219.1	20.62	177.9
	2	60.3	3.91	51.5		10	273.0	25.40	222.2
	2 1/2	73.0	5.16	62.7		12	323.9	28.58	266.7
	3	88.9	5.49	77.9		14	355.6	31.75	292.1
	3 1/2	101.6	5.74	90.1		16	406.4	36.52	333.4
	4	114.3	6.02	102.3		18	457.2	39.69	377.8
	Cédula 80	5	141.3	6.55	128.2	20	508.0	44.45	419.1
6		168.3	7.11	154.1	24	609.6	52.39	504.8	
8		219.1	8.18	202.7	Cédula 160	1/2	21.3	4.78	11.7
10		273.0	9.27	254.5		3/4	26.7	5.56	15.6
12		323.9	10.31	303.3		1	33.4	6.35	20.7
14		355.6	11.13	333.3		1 1/4	42.2	6.35	29.5
16		406.4	12.70	381.0		1 1/2	48.3	7.14	34.0
18		457.2	14.27	428.7		2	60.3	8.74	42.8
20		508.0	15.09	477.8		2 1/2	73.0	9.52	54.0
24		609.6	17.48	574.6		3	88.9	11.13	66.6
8		219.1	10.31	198.5		4	114.3	13.49	87.3
10		273.0	12.70	247.6		5	141.3	15.88	109.5
12	323.9	14.27	295.4	6		168.3	18.26	131.8	
14	355.6	15.09	325.4	8		219.1	23.01	173.1	
16	406.4	16.64	373.1	10	273.0	28.58	215.8		
18	457.2	19.05	419.1	12	323.9	33.34	257.2		
20	508.0	20.62	466.8	14	355.6	35.71	284.2		
24	609.6	24.61	560.4	16	406.4	40.49	325.4		
Cédula 88	1/8	10.3	2.41	5.5	18	457.2	45.24	366.7	
	3/8	13.7	3.02	7.7	20	508.0	50.01	408.0	
	1/2	17.1	3.20	10.7	24	609.6	59.54	490.5	
	5/8	21.3	3.73	13.8					
	3/4	26.7	3.91	18.9					
	1	33.4	4.55	24.3					
1 1/4	42.2	4.85	32.5						
1 1/2	48.3	5.08	38.1						
2	60.3	5.54	49.2						
2 1/2	73.0	7.01	59.0						
3	88.9	7.62	73.7						

[#13] Catálogo de bolas en molino de bolas UNIONPROCESS



The image is a catalog for grinding media from Union Process. At the top, there is a red banner with the Union Process logo and the text "Grinding Media" and "All media shown actual size". Below this, the catalog is organized into a grid of 16 panels, each showing a different type of grinding media. The panels are arranged in four rows and four columns. The first row contains: Steel Shot, Through-Hardened (.25 mm); Zirconium Silicate; Zirconium Oxide (Y₂O₃ stabilized) .8mm; and Nylon Pellets. The second row contains: Alumina; Silicon Nitride; Mullite; and Rare Earth Stabilized Zirconium Oxide Beads. The third row contains: Tungsten Carbide; 1/4" Ceramic Steelite; Chrome Steel (SAE 52100); and Zirconium Oxide (Y₂O₃ stabilized). The fourth row contains: Glass Beads; Silicon Carbide Balls; 1/2" Through-hardened Carbon Steel Balls; and the Union Process logo. At the bottom of the catalog, the website address "www.unionprocess.com" is displayed.

Union Process
Grinding Media
All media shown actual size

Steel Shot, Through-Hardened (.25 mm)	Zirconium Silicate	Zirconium Oxide (Y ₂ O ₃ stabilized) .8mm	Nylon Pellets
Alumina	Silicon Nitride	Mullite	Rare Earth Stabilized Zirconium Oxide Beads
Tungsten Carbide	1/4" Ceramic Steelite	Chrome Steel (SAE 52100)	Zirconium Oxide (Y ₂ O ₃ stabilized)
Glass Beads	Silicon Carbide Balls	1/2" Through-hardened Carbon Steel Balls	

www.unionprocess.com

Grinding Media Specifications *SIZES SHOWN IN RED INDICATE MEDIA AVAILABLE THAT IS RECOMMENDED FOR USE IN SMALL MEDIA MILLS*

DESCRIPTION	SPECIFIC GRAVITY	HARDNESS	RELATIVE COST	SIZES AVAILABLE
Carbon Steel Balls (SAE 1013—case-hardened, SAE 1065—through-hardened)	7.8	ROCKWELL C 60 - 62	Low	1/8", 3/16", 1/4", 5/16", 3/8", 1/2"
Chrome Steel Balls (SAE 52100)	7.8	ROCKWELL C 62 - 66	Low to Moderate	1mm, 1.59mm, 2mm, 1/8", 5/32", 3/16", 7/32", 1/4", 5/16", 3/8", 1/2"
Stainless Steel Balls (ANSI 440-C)	7.7	ROCKWELL C 55 - 64	Moderate	1/8", 5/32", 3/16", 7/32", 1/4", 5/16", 3/8", 1/2", 3/4"
Steel Shot, Through-Hardened	7.8	ROCKWELL C 55 - 60	Low	25mm, 40mm, 50mm, 60mm, 71mm, 1.18mm, 1.40mm, 1.70mm, 2mm, 2.36mm, 2.80mm
Alumina 99.9% — Balls	3.9	Hv 1750 kg/mm ²	High	1mm, 2mm, 3mm, 5mm, 10mm
99.5% — Balls	3.4 - 3.7	Hv 1350 kg/mm ²	Moderate	0.2mm, 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 5mm, 8mm, 10mm, 15mm, 20mm
99.8% — Satellites	3.4 - 3.7	ROCKWELL 45N 78-79	Moderate	3/16", 1/4"
96% — Satellites	3.4 - 3.7	Hv 1400 kg/mm ²	Low to Moderate	1/4", 1/2"
94% — Satellites	3.4 - 3.7	Hv 1200 kg/mm ²	Low to Moderate	0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 8mm, 10mm, 13mm, 15mm, 20mm
90% — Satellites	3.4 - 3.7	ROCKWELL 45N 75	Low	3mm, 7/32", 1/4", 3/8", 1/2"
Ceramic (Steellite) Satellites	2.6 - 2.7	ROCKWELL 45N 60 - 65	Low to Moderate	1/4", 5/16", 3/8", 1/2"
Glass Beads (Lead Free)	2.5	KNOOP 515 kg/mm ²	Low	0.4-0.6mm, 0.5-0.75mm, 0.6-0.8mm, 0.8-1.0mm, 1.0-1.2mm, 1.0-1.25mm, 1.1-1.3mm, 1.2-1.4mm, 1.25-1.55mm, 1.4-1.6mm, 1.55-1.85mm, 1.6-1.8mm, 1.7-2.0mm, 1.8-2.0mm, 2.0-2.3mm, 2.0-2.4mm, 2.3-2.6mm, 2.3-2.7mm, 2.5-2.85mm, 2.8-3.2mm, 2.85-3.3mm, 3.2-3.8mm, 3.3-3.6mm, 3.6-4.1mm, 3.7-4.3mm, 4.2-4.8mm, 4.7-5.3mm, 5.0mm, 5.7-6.3mm, 6.0mm, 6.7-7.3mm, 7.0mm, 7.6-8.4mm, 8.0mm, 8.6-9.4mm, 9.0mm, 9.5-10.5mm, 10mm, 10.5-11.5mm, 12mm, 14mm, 15mm, 16mm
Mullite Beads	2.8	ROCKWELL 45N 70	Low	.42-.85mm, .85-1.18mm, 1.0-1.70mm, 1.4-2.36mm
Nylon Pellets	0.7 - 1.2		Low to Moderate	1/8"
Silicon Carbide Balls	3.1	KNOOP 2800 kg/mm ²	Very High	5mm, 10mm, 15mm, 20mm
Silicon Nitride Balls	3.2	Hv 1400 - 1500 kg/mm ²	Very High	5mm, 10mm, 15mm, 20mm
Tungsten Carbide Satellites	14.4 - 14.8	88 - 89HRA	Moderate to High	3/32", 1/8", 5/32", 3/16", 7/32", 1/4", 9/32", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2"
Zirconium Oxide, High-Purity (Y ₂ O ₃ stabilized) 95% — Balls	6.0	Hv 1290 kg/mm ²	High	0.2mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.65mm, 0.8mm, 1mm, 1.25mm, 1.5mm, 1.75mm, 2mm, 3mm, 5mm, 6mm, 8mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm
93% — Beads	6.0	Hv 1280 kg/mm ²	Moderate	0.5-0.7mm, 0.7-0.9mm, 0.9-1.1mm, 1.1-1.4mm, 1.3-1.6mm, 1.5-1.9mm
Zirconium Oxide (CeO ₂ rare earth-stabilized) Sizes up to 3/16" are beads; 3/16" or larger are satellites.	6.0	Hv 1150 kg/mm ²	Moderate	0.4-0.6mm, 0.6-0.8mm, 0.8-1.0mm, 0.7-1.2mm, 1.0-1.2mm, 1.2-1.4mm, 1.4-1.6mm, 1.7-2.4mm, 2.4-2.8mm, 2.8-3.3mm, 3/16", 1/4", 5/16", 6mm, 8mm, 10mm, 12.5mm, 16mm, 21mm, 26mm, 31mm
Zirconium Silicate Beads (58% Z ₂ O ₃ , 37% SiO ₂)	4.0	800 HV	Moderate	0.8-1.0mm, 1.0-1.2mm, 1.2-1.4mm, 1.4-1.6mm, 1.6-1.8mm, 1.8-2.0mm, 2.0-2.2mm, 2.2-2.4mm, 2.4-2.6mm, 2.5-2.8mm
Zirconium Silicate Beads (68% Z ₂ O ₃ , 30% SiO ₂)	3.8	700 HV	Moderate	0.1-0.2mm, 0.2-0.3mm, 0.3-0.4mm, 0.4-0.6mm, 0.6-0.8mm, 0.8-1.0mm, 1.0-1.25mm, 1.25-1.6mm, 1.6-2.0mm, 2.0-2.5mm

Notes: Satellites have a band around the middle. Beads may not be 100% spherical. Balls are 100% spherical.

Please contact us for more information on our complete range of laboratory and production model Attritors and small media mills.

Information contained herein is accurate and reliable to the best of our knowledge, but our suggestions and recommendations cannot be guaranteed because the conditions of use are beyond our control.

© 2012 Union Process, Inc. All rights reserved.
 ® Registered trademark of Union Process, Inc. • Printed in U.S.A.



UNION PROCESS®
 1925 Akron-Peninsula Rd., Akron, OH 44313-4896
 Phone: 330-929-3333 • Fax: 330-929-3034
 unionprocess@unionprocess.com • www.unionprocess.com

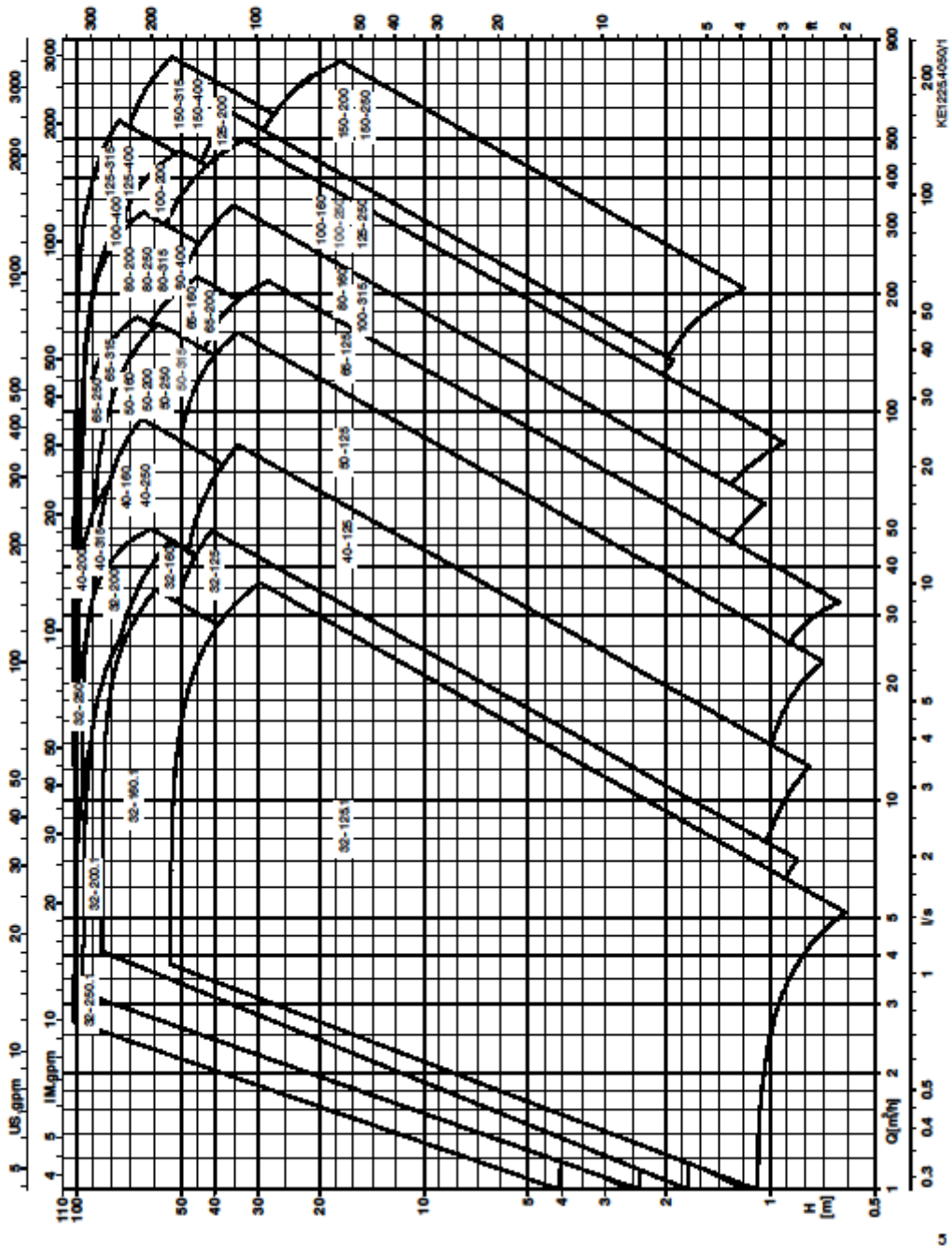
[#14] Selección de bomba P-103 A/B. Catálogo KSB y curvas características




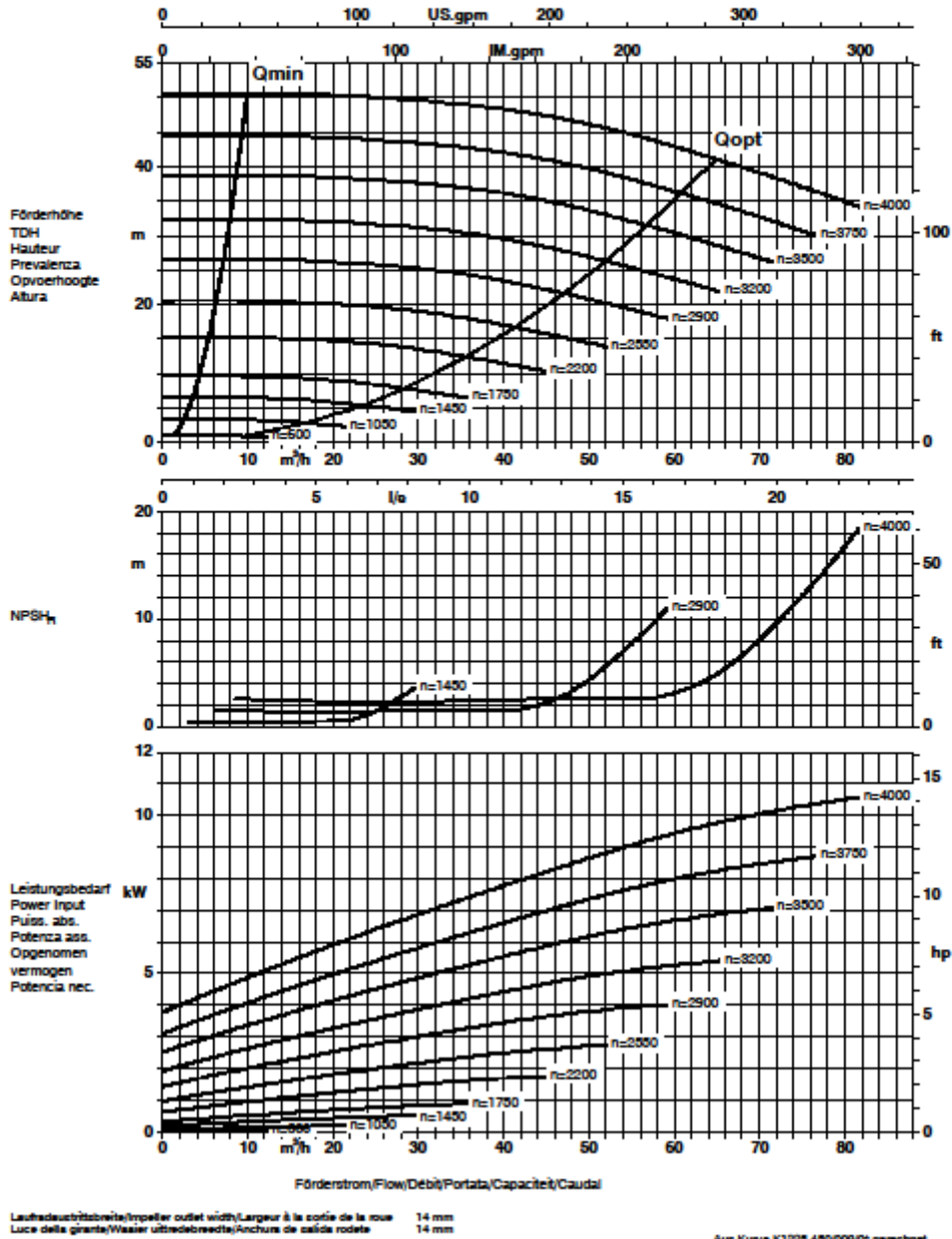
Etanorm/Etabloc drehzahlgergelt

Kennfeld / Selection Chart / Courbes caractéristiques / Campo caratteristico / Grafiek / Curvas características

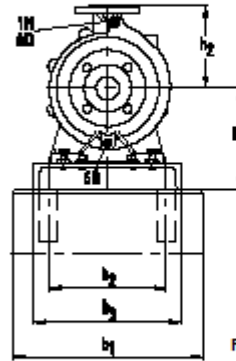
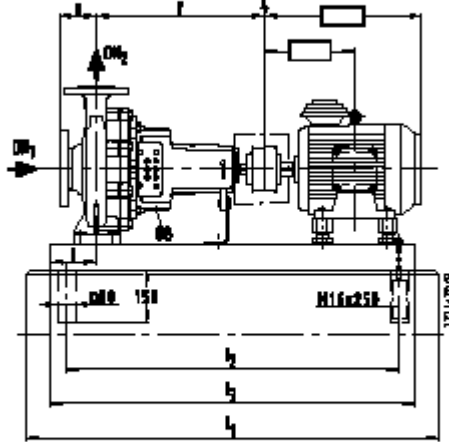
4/2-polig/ 4/2-pole/ 4/2-polaire/ 4/2-poli/ 4/2-polos



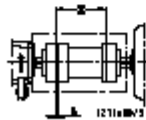
Bauweise-Größe Type-Size Modèle	Typ Serie Tipo	Nenn Drehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominal toarental Revoluciones nom.	Laufrad-ø Impeller Dia. Diamètre de roue	ø Grante ø Waizer ø Modèle	
Etanorm 40-125 Etabloc		variabel		139 mm		
Projekt Project Projet	Progetto Project Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerts-Nr. Offerants. Offerts-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positiens. Pos.-Nr.	KSB Abhängengesellschaft 67225 Frankenthal Johann-Klein-Str. 9 67227 Frankenthal



Etanorm 40-125 - 40-315



Figur A



Dimensions in mm

Etanorm	Motor rpm kW				pump size	Fig.	Dimensions in mm																	
	1400	1750	2900	3500			DN ₁	DN ₂	a	b ₁	b ₂	b ₃	f	h ₁	h ₂	i	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	x			
40-125	0.55	0.55	-	-	80	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	860	600	710	900	740	800	100	
	-	0.75	-	-	80	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	860	600	710	900	740	800	100	
	-	1.1	-	-	90S	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	860	600	710	900	740	800	100	
	-	-	1.5	-	90S	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	860	600	710	900	740	800	100	
	-	-	2.2	-	90L	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	950	740	800	1000	840	900	100	
	-	-	3.0	-	100L	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	1050	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	4.0	-	112M	A	65	40	80	450	240	300	360	212	140	100	1050	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	-	4.0	132S	A	65	40	80	450	240	300	360	232	140	100	1050	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	-	7.5	132S	A	65	40	80	450	240	300	360	232	140	100	1050	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	-	11.0	160M	A	65	40	80	500	280	350	360	260	140	100	1150	940	1000	1270	1060	1120	100	
	40-160	0.55	-	-	-	80	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	860	600	710	900	740	800	100
		0.75	0.75	-	-	80	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	860	600	710	900	740	800	100
1.1		1.1	-	-	90S	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	860	600	710	900	740	800	100	
-		1.5	-	-	90L	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	900	740	800	1000	840	900	100	
-		2.2	-	-	100L	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	3.0	-	100L	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	4.0	-	112M	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	5.5	5.5	132S	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	7.5	7.5	132S	A	65	40	80	450	240	300	360	232	160	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	-	11.0	160M	A	65	40	80	500	280	350	360	260	160	100	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
-		-	-	15.0	160M	A	65	40	80	500	280	350	360	260	160	100	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
40-200		0.75	-	-	-	80	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	860	600	710	900	740	800	100
	1.1	-	-	-	90S	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	860	600	710	900	740	800	100	
	1.5	1.5	-	-	90L	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	900	740	800	1000	840	900	100	
	-	2.2	-	-	100L	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
	-	3.0	-	-	100L	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	5.5	-	132S	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	7.5	-	132S	A	65	40	100	450	240	300	360	260	180	100	1000	840	900	1150	940	1000	100	
	-	-	11.0	11.0	160M	A	65	40	100	500	280	350	360	260	180	100	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
	-	-	15.0	15.0	160M	A	65	40	100	500	280	350	360	260	180	100	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
	-	-	18.5	18.5	160L	A	65	40	100	500	280	350	360	260	180	100	1270	1060	1120	1400	1190	1250	100	
	-	-	22.0	22.0	180M	A	65	40	100	550	320	400	360	290	180	100	1400	1190	1250	1400	1190	1250	100	
	40-250	1.1	-	-	-	90S	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1050	840	900	100
1.5		-	-	-	90L	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1050	840	900	100	
2.2		2.2	-	-	100L	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1050	840	900	100	
3.0		3.0	-	-	100L	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1050	840	900	100	
-		4.0	-	-	112M	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1050	840	900	100	
-		5.5	-	-	132S	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1050	840	900	1150	940	1000	100	
-		-	11.0	-	160M	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
-		-	15.0	-	160M	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	
-		-	18.5	-	160L	A	65	40	100	500	280	350	360	280	225	112	1270	1060	1120	1400	1190	1250	100	
-		-	22.0	-	180M	A	65	40	100	550	320	400	360	290	225	112	1400	1190	1250	1400	1190	1250	100	
-		-	30.0	-	200L	A	65	40	100	550	320	400	360	310	225	112	1400	1190	1250	1400	1190	1250	100	
40-315		2.2	-	-	-	100L	A	65	40	125	500	280	350	470	325	250	112	1050	840	900	1150	940	1000	100
	3.0	-	-	-	100L	A	65	40	125	500	280	350	470	325	250	112	1050	840	900	1150	940	1000	100	
	4.0	-	-	-	112M	A	65	40	125	500	280	350	470	325	250	112	1150	940	1000	1270	1060	1120	100	
	5.5	5.5	-	-	132S	A	65	40	125	500	280	350	470	325	250	112	1150	940	1000	1270	1060	1120	100	
	-	7.5	-	-	132M	A	65	40	125	500	280	350	470	325	250	112	1270	1060	1120	1270	1060	1120	100	

[#15] Coeficiente de relleno de la sección de un tornillo sin fin (λ)

Tipo de carga	λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

[#16] Coeficiente de disminución de flujo por inclinación (k)

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
k	1	0,9	0,8	0,7	0,6

[#17] Coeficiente de resistencia del material (c_0)

Material	c_0 Empírico
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4



Borja Hernández García



OCTUBRE 2012

En Valladolid, a 15 de Octubre de 2012

El ingeniero técnico industrial (química industrial)

Borja Hernández García