



T
672.83
MOS
p.2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Diseño de Tanque Criogénico para Almacenamiento de
Nitrógeno Líquido con Capacidad de 12 metros cúbicos”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO



CIB-ESPOL

Presentada por:

BENEDICTO FERNANDO MOSQUERA UNDA



CIB-ESPOL

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2004



CIB-ESPOL

DEDICATORIA



CIB-ESPOL

A mis padres

A Dios.

AGRADECIMIENTO

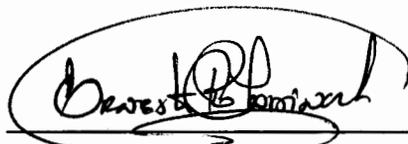


CIB-ESPOL

A quienes colaboraron en la realización de esta tesis, hago un agradecimiento especial al Ingeniero Ernesto Martínez por la dedicación prestada como Director de Tesis y a cada uno de los vocales.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Riyadeneria P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS



CIB-ESPOL



Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



CIB-ESPOL

Benedicto Fernando Mosquera Unda
Octubre de 2004

RESUMEN



CIB-ESPOL

La presente tesis de grado ha sido desarrollada partiendo del estudio de una empresa agroindustrial dedicada al procesamiento de concentrado, zumos y pulpa de frutas. Actualmente dentro del sistema de homogeneizado de producto, se inyecta ácido ascórbico para evitar la oxidación inmediata, luego de este proceso, el producto es envasado inyectándole nitrógeno, con el fin de inertizar su atmósfera y preservar el producto en percha por mayor tiempo. Finalmente es llevado a cámaras frigoríficas, las mismas que operan con un sistema de refrigeración mecánica; es decir, sistemas que cuentan con condensadores, evaporadores y compresores.

La empresa en la actualidad posee una limitada capacidad de producción, con un requerimiento mensual de nitrógeno de 1.25 m^3 aproximadamente, por lo que su necesidad es incrementar, tecnificar y mejorar sus procesos.

Dentro de los avances tecnológicos alimenticios y luego de estudiar las bondades que presenta el nitrógeno dentro de este campo, se haya la necesidad de incorporar en la mayor parte de los procesos a este gas inerte, puesto que presenta beneficios que incrementa el valor agregado del

producto final como presentación, durabilidad, frescura, eliminación de malos olores y ácido ascórbico. Analizando los diferentes procesos en los que intervendrá el nitrógeno, a continuación se exponen:

Fase de homogeneización.- se inyectará nitrógeno a través de una tobera para el desplazamiento inmediato del oxígeno, principal causante de la oxidación, degradación y de cultivo bacteriano en la sustancia.

Empaquetado.- para mantener la atmósfera inerte del producto dentro del empaque, desalojando de esta forma el aire que pueda mantenerse en el enfundado.

Criogenización.- en el cual la pulpa pasará por un túnel de congelamiento, donde la caída de temperatura interna es inmediata, favoreciendo de esta manera la formación de microcristales de hielo aislando el agua y dificultando su participación en reacciones químicas y bioquímicas, inhibiendo la actividad de microorganismos patógenos y pérdida de peso.

Partiendo del volumen requerido de nitrógeno de 12 m³ mensuales, especificado en estudios previos al dimensionamiento del sistema, esta tesis se orienta específicamente al diseño del tanque criogénico, y la selección de



CIB-ESPOL

sus accesorios. El país cuenta con la infraestructura suficiente para fabricar este tipo de tanques, por lo que la empresa ha decidido construirlo.

El tanque criogénico estará formado por tres elementos principales:

Un tanque interno cuyo material es de acero inoxidable;

El tanque externo al que se denomina coraza, formado por acero al carbono

Y el aislamiento térmico dado por un material aislante y vacío.

Adicionalmente se realizará la selección de los accesorios respectivos.

El diseño del tanque estará en función de la presión de trabajo que es 17.6 Kgf/cm², además se contemplará los problemas generados por la presión externa dado los efectos de vacío entre el tanque interno y su coraza, valor que contempla 0.01033 Kgf / cm². Debido a esto se utilizarán normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), sección VIII, para recipientes sometidos tanto a presión externa como interna, normando esta misma sección la soldadura. La aplicación del sistema de pintura estará normada de acuerdo al Consejo para Pintar Estructuras de Acero (SSPC).

Finalmente se presentará los planos de diseño del tanque, contando con el volumen necesario y óptimo que cubra los requerimientos periódicos de la planta y que este de acuerdo a normas internacionales, para que este pueda ser implementado; mejorando en sí procesos tecnológicos e incrementando

la producción, además de reducir costos con respecto a la adquisición de un tanque importado.



CIB-ESPOL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	X
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGIA	XIV
INDICE DE FIGURAS	XV
INDICE DE TABLAS	XVI
INDICE DE PLANOS	XVII
INTRODUCCION.....	1



CIB-ESPOL

CAPÍTULO 1.

1. ASPECTOS GENERALES DEL NITRÓGENO.....	4
1.1 Propiedades y características del nitrógeno.....	4
1.2 Aplicaciones industriales del nitrógeno líquido en el área alimenticia.....	6

CAPÍTULO 2.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO	12
2.1 Descripción del proceso.....	12

2.2 Análisis y especificación del problema 18

CAPÍTULO 3.

3. DISEÑO DE TANQUE CRIOGÉNICO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS 21

3.1 Diseño de forma y cálculo de volumen requerido 21

3.2 Diseño de tanque interno 26

3.3 Diseño de coraza 30

3.4 Diseño térmico 37

3.5 Selección de accesorios 39

CAPÍTULO 4.

4. NORMAS APLICATIVAS EN FASE CONSTRUCTIVA 41

4.1 Normas de soldadura 41

4.2 Preparación de superficie y pintura 48

4.3 Prueba de presión 49

4.4 Cronograma de trabajo 49



CIB-ESPOL

CAPÍTULO 5.

5. ANALISIS DE COSTOS 54

CAPÍTULO 6.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 53

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

°C	=	Grados centígrados
cm ²	=	centímetro cuadrado
°F	=	Grados Fahrenheit
HP	=	Horse Power (caballos de fuerza)
°K	=	Grados Kelvin
Kcal	=	Kilocalorías
Kg	=	Kilogramo
Kgm	=	Kilogramo-masa
L	=	Litros
Lbs	=	Libras
m	=	metros
m ³	=	metros cúbicos
mils	=	milésimas de pulgada
ml	=	mililitro
mm	=	milímetro
N	=	Nitrógeno
PH	=	potencial de hidrógeno
ppm	=	partes por millón
pulg	=	pulgadas
pulg ²	=	pulgadas cuadradas
SCFH	=	pie cúbico por hora estándares
Seg	=	segundos
W	=	watios



CIB-ESPOL

SIMBOLOGÍA

A	=	factor adimensional
B	=	factor adimensional
D	=	diámetro externo del domo
D₀	=	diámetro externo del manto
E	=	eficiencia de junta soldada
h	=	altura de domo, coeficiente de convección térmico
K	=	factor de radio esférico
k	=	Coeficiente de conducción térmica
L, L_c	=	Longitud de manto
P	=	presión de diseño
P_a	=	presión máxima admitida
Q	=	Calor por unidad de tiempo
R	=	radio exterior del manto
R₀	=	radio equivalente esférico
R'_{tot}	=	resistencia total
R1_{int}	=	radio interno de tanque interno
R1_{ext}	=	radio externo de tanque interno
R2_{int}	=	radio interno de coraza
R2_{ext}	=	radio externo de coraza
S	=	esfuerzo de trabajo permisible
t	=	espesor de manto
T_{amb}	=	temperatura ambiente
T_{nitro}	=	temperatura del nitrógeno
π	=	3.14159265...
%	=	porcentaje



CIB-ESPOL

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura	1.1	Esquema de Blanketing 7
Figura	1.2	Esquema en la recuperación de solventes..... 11
Figura	1.3	Esquema para la criomolienda..... 11
Figura	2.1	Diagrama de flujo del proceso para obtención de puré y extractos de frutas 13
Figura	2.2	Tobera para la remoción de oxígeno 19
Figura	2.3	Criogenización 20
Figura	3.1	Diseño de forma de tanque..... 24
Figura	3.2	Tanque TL 3000 instalado en planta..... 25
Figura	3.3	Diseño de tanque interno..... 28
Figura	3.4	Diseño de tanque externo..... 28
Figura	3.5	Procedimiento para la selección de espesor de manto bajo presión externa 33
Figura	3.6	Procedimiento para la selección de espesor de domo bajo presión externa 36
Figura	3.7	Resistividad térmica en paredes de tanque 38
Figura	3.8	Detalle de soldadura para aceros al carbono..... 43
Figura	3.9	Detalle de soldadura para aceros inoxidables..... 43



CIB-ESPOL

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1	Propiedades físicas del nitrógeno 5
Tabla 3.1	Características de tanque de almacenamiento 23
Tabla 5.1	Costo para la construcción de tanque criogénico..... 52



CIB-ESPOL

INDICE DE PLANOS

Plano	1	Esquema para Componentes en Tanque Criogénico
Plano	2	Diseño de Tanque Criogénico: Vista General
Plano	3A	Diseño de Tanque Criogénico: Diseño de tanque Interno
Plano	3B	Diseño de Tanque Criogénico: Diseño de tanque Interno
Plano	4A	Diseño de Tanque Criogénico: Diseño de tanque Externo
Plano	4B	Diseño de Tanque Criogénico: Diseño de tanque Externo
Plano	5	Alternativas para la Aplicación de Soldadura en Arco Eléctrico o Tipo MIG/MAG

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolla partiendo del estudio de una empresa agroindustrial la cual se dedica al procesamiento de concentrado, zumos y pulpa de frutas. En la actualidad tiene un requerimiento aproximado mensual de nitrógeno líquido de 1.25 m^3 .

A través de estudios previos en el área de conservación de alimentos y por decisión de los directivos, se necesita incrementar el uso del gas nitrógeno para incorporarlo en la mayor parte de los procesos, puesto que presenta beneficios que incrementa el valor agregado del producto final como presentación, durabilidad, frescura, eliminación de malos olores y ácido ascórbico, mejorando así los procesos.

La necesidad de la empresa es de inyectar ahora gas nitrógeno en el producto a través de una tobera para el desplazamiento inmediato del oxígeno en la fase previa a la homogenización; adicionalmente se inyectará nitrógeno en el empaquetado para mantener la atmósfera inerte del producto y por último en el suministro de este gas en el túnel de congelamiento por donde la pulpa pasaría, en que la caída de temperatura interna es inmediata. Luego de la implementación del nuevo sistema de producción, el volumen requerido de nitrógeno líquido será de 12 m^3 mensuales, según datos dados por el cuerpo de ingenieros en alimentos de la empresa; por lo que esta tesis



se orienta específicamente al diseño del tanque criogénico, y la selección de sus accesorios.

Esta tesis cubre el dimensionamiento y el diseño de los tres elementos constituyentes de lo que es un tanque criogénico como:

- Un tanque interno cuyo material es de acero inoxidable y el que está diseñado bajo la fórmula planteada en la norma ASME SECCIÓN VIII, división 1, UG-27 para el diseño del manto y la norma UG-32 en el diseño del domo. Este tanque se encontrará sometido a presión interna dado el vacío existente entre los tanques, generando una mayor presión el efecto del gas nitrógeno comprimido.
- El tanque externo al que se denomina coraza, formado por acero al carbono, diseñado bajo la fórmula planteada en la norma ASME SECCIÓN VIII, división 1, UG-28 para el diseño del manto y la norma UG-33 en el diseño del domo. Este tanque estará diseñado bajo efectos de presión externa, puesto que esta última será la atmosférica y la interna lo dará la presión de vacío.
- El aislamiento térmico, cuya resistividad térmica lo formará el material aislante como la perlita expandida y la presión de vacío que genera unos de los mejores aislantes; aquí se determinará la cantidad de calor transmitida bajo el diseño de forma planteado a partir de los datos dados



por casas comerciales dedicadas a la venta de estos equipos y en cuyo anexo dentro de esta tesis se los especifica.

- Adicionalmente se realizará la selección de los accesorios respectivos.

Como resultado de esta tesis, se presentarán los planos de diseño del tanque, en el que se especificará las medidas necesarias y los detalles constructivos, involucrando así estándares internacionales con el fin de que estos puedan ser ampliamente implementados aquí en el país, de igual forma se realizarán consideraciones de seguridad en el manejo de las presiones en el sistema, esto detallado a partir de fichas técnicas de seguridad extendida por casas comerciales las cuales se adjuntan en Anexo; todo esto con el fin de contar con sistemas seguros y confiables.



CIB-ESPOL

Capítulo 1

1. ASPECTOS GENERALES DEL NITRÓGENO.

1.1 Propiedades y características del nitrógeno.

El nitrógeno no tiene olor, color, sabor; no es tóxico, corrosivo ni inflamable, es considerado un gas inerte, sin embargo bajo la influencia de ciertos químicos, temperatura o electricidad, es reactivo, ya que forma compuestos. Al ser un gas no corrosivo, no se requieren materiales especiales para la construcción de sus contenedores. El nitrógeno comercial es el producto de la separación del aire por medio de la licuefacción y destilación de éste.

A presión atmosférica posee una temperatura de -196°C (1), y calor latente de vaporización de 198 KJ. /Kg (Ver apéndice A.1)

Estas dos características dan al nitrógeno la capacidad de eliminar calor y bajar la temperatura en el proceso donde se requiere tener un control de la temperatura. (Ver tabla 1.1).

Propiedades	Unidades métricas	Unidades U.S.
Punto de ebullición a 101.3 Kpa	-195.8 °C	-320.4 °F
Factor Crítico de compresibilidad	0.289	0.289
Densidad crítica	314 Kg/m ³	19.60 Lb/pie ³
Presión crítica	3400 KPa	493 psia
Temperatura crítica	-146.85 °C	-232.29 °F
Calor Latente en el punto triple	25.6 KJ/Kg.	11.0 Btu/Lb
Peso molecular	28.0134	28.0134
Densidad relativa del gas a 20°C y 1 atm.	0.9670	0.9670

TABLA 1.1.- Propiedades físicas del nitrógeno



Puede ser comprimido dentro de cilindros, por medio de sistemas de compresión lubricados por agua, aceite ó secos. La cantidad de nitrógeno en un cilindro es determinada por las tablas de llenado en función de presión y temperatura para un tamaño específico de cilindros. Entre mayor sea la presión, mayor es la cantidad de nitrógeno contenida en el cilindro. El símbolo químico de nitrógeno es N₂.

El nitrógeno puede producir sofocación diluyendo la concentración de oxígeno en el aire a niveles inferiores del necesario para soportar la vida.

1.2 Aplicaciones industriales del nitrógeno líquido en el área alimenticia.

En la industria alimenticia, química y petrolera, el nitrógeno tiene una amplia aplicación dentro de los procesos de obtención y preservación de productos. Entre sus aplicaciones se presentan (2):

- Blanketing
- Inertización y purgas de tuberías y/o recipientes a presión
- Recuperación de solventes
- Enfriamiento de equipos y/o reactores
- Otras aplicaciones



CIB-ESPOL

Blanketing

Consiste en mantener una atmósfera inerte por encima de un producto almacenado con el fin de protegerlo de oxidaciones, combustiones y/o explosiones. Esto se logra con inyección continua de nitrógeno (Ver figura 1.1). Dependiendo del tipo de producto almacenado, capacidad de almacenamiento, temperatura de evaporación, límites de inflamabilidad, se puede realizar el cálculo de los equipos necesarios y los consumos de nitrógenos requeridos para el blanketing.

Inertización y purgas.

Consiste en la inyección de nitrógeno hasta lograr bajar el límite peligroso o no deseado de una atmósfera contaminante para el producto. Esto con el fin de poder realizar cualquier operación al equipo o tubería. Ej. pruebas de hermeticidad, empaques alimenticios, etc.



CIB-ESPOL

Recuperación de solventes.

Los principales problemas en la recuperación de sustancias orgánicas volátiles son:

- Temperaturas de condensación muy bajas
- Variaciones de las temperaturas por cambios de procesos .

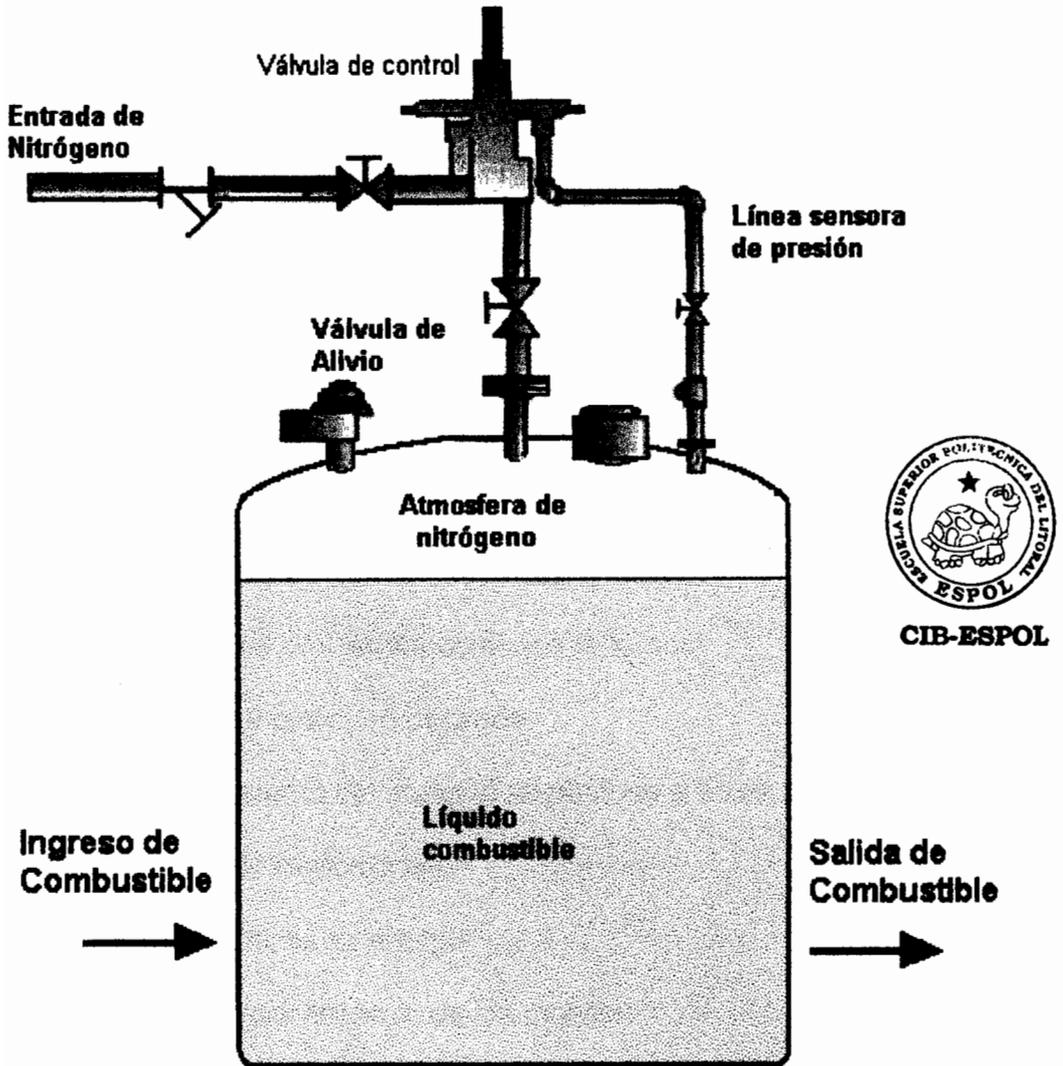


FIGURA 1.1.- Blanketing: Mantenimiento de atmósfera inerte por encima de un producto almacenado con el fin de protegerlo de oxidaciones, combustiones y/o explosiones

Actualmente se ha desarrollado tecnología para la recuperación de solventes y/o condensación de los compuestos orgánicos con nitrógeno líquido. Esta tecnología garantiza una recuperación de hasta 99%, podemos mencionar el isobutano, vapores de gasolina, acetona, cloruro de metileno, etc. Se puede utilizar el nitrógeno líquido inclusive para el transporte de solventes peligrosos con riesgo de explosión. (Ver figura 1.2)

Criopulverización o Criomolineda.

Existen muchos problemas con la molienda tradicional de productos químicos tales como resina, azufre, gomas, alimentos etc. (Ver figura 1.3). Entre los problemas comunes tenemos:

- Finura del grano no deseada
- Calentamiento del material llegándose a licuar
- Peligro de explosiones
- Alto consumo de energía
- Paradas por limpieza de los molinos



CIB-ESPOL

Estos problemas se eliminan con la utilización de nitrógeno líquido.

Entre sus ventajas se encuentra:

- Aumento de la producción
- Reducción del consumo de energía

- Evita explosiones
- Mayor calidad de producto
- Eliminación de desechos por oxidación y sobrecalentamiento
- Enfriamiento de reactores.

Otras aplicaciones

- Transgregar líquidos de un recipiente a otro
- Recuperación de pozos con inyección de Nitrógeno
- Producción de azufre con oxígeno
- Calcinación de coque
- Purga de embarcaciones
- Pruebas de hermeticidad



CIB-ESPOL

En la Industria de Alimentos, específicamente el nitrógeno se aplica en la producción de aceites vegetales y de pescados, grasas animales, carnes, productos lácteos. En granos como el café, maní, almendras, nueces, pastelerías y alimentos preparados. En jugos y pulpas de frutas y vegetales, conservación de vinos, entre otros.

Los procesos utilizados en esta industria permiten preservar las características de los alimentos por largos períodos, utilizando procedimientos tales con enfriamiento, congelación, pasteurización, secado, ahumado, conservación por productos químicos y otros.

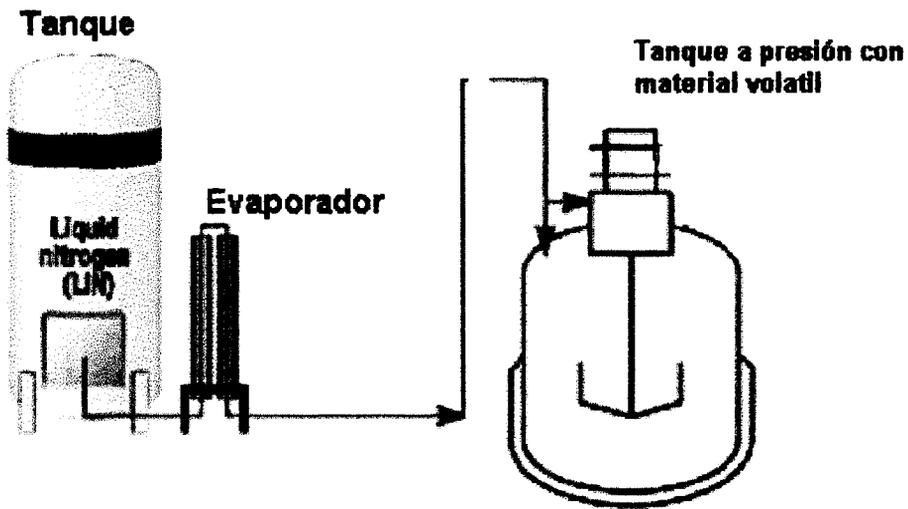


FIGURA 1.2.- Recuperación de solvente: Diagrama explicativo para la recuperación de gases volátiles y la inertización de su atmósfera

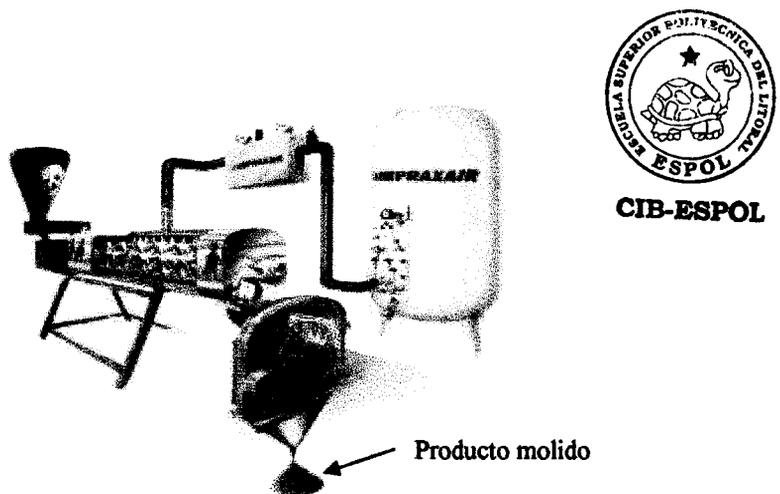


FIGURA 1.3.- Criomolienda: Proceso que permite bajar la temperatura, fragilizando el material permitiendo así facilidades en la molienda.

Capítulo 2

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO.

2.1 Descripción del proceso.

Entre los productos que presenta la empresa, se tienen productos semi-elaborados y elaborados los que se detallan a continuación:

- **Semi-elaborados.-** Puré, pastas y pulpa de guayaba, maracuyá, melón, guanábana, mango etc.
- **Elaborados.-** jugos y zumos de frutas.

Dentro del proceso para obtener elaborados y semi-elaborados se encuentran (Ver figura 2.1):

RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO.- La persona encargada de la inspección debe considerar las siguientes características:

Fruta sana.

Ausencia de ataques de insectos.

Estado de madurez fisiológica.

Deformaciones del fruto.



CIB-ESPOL

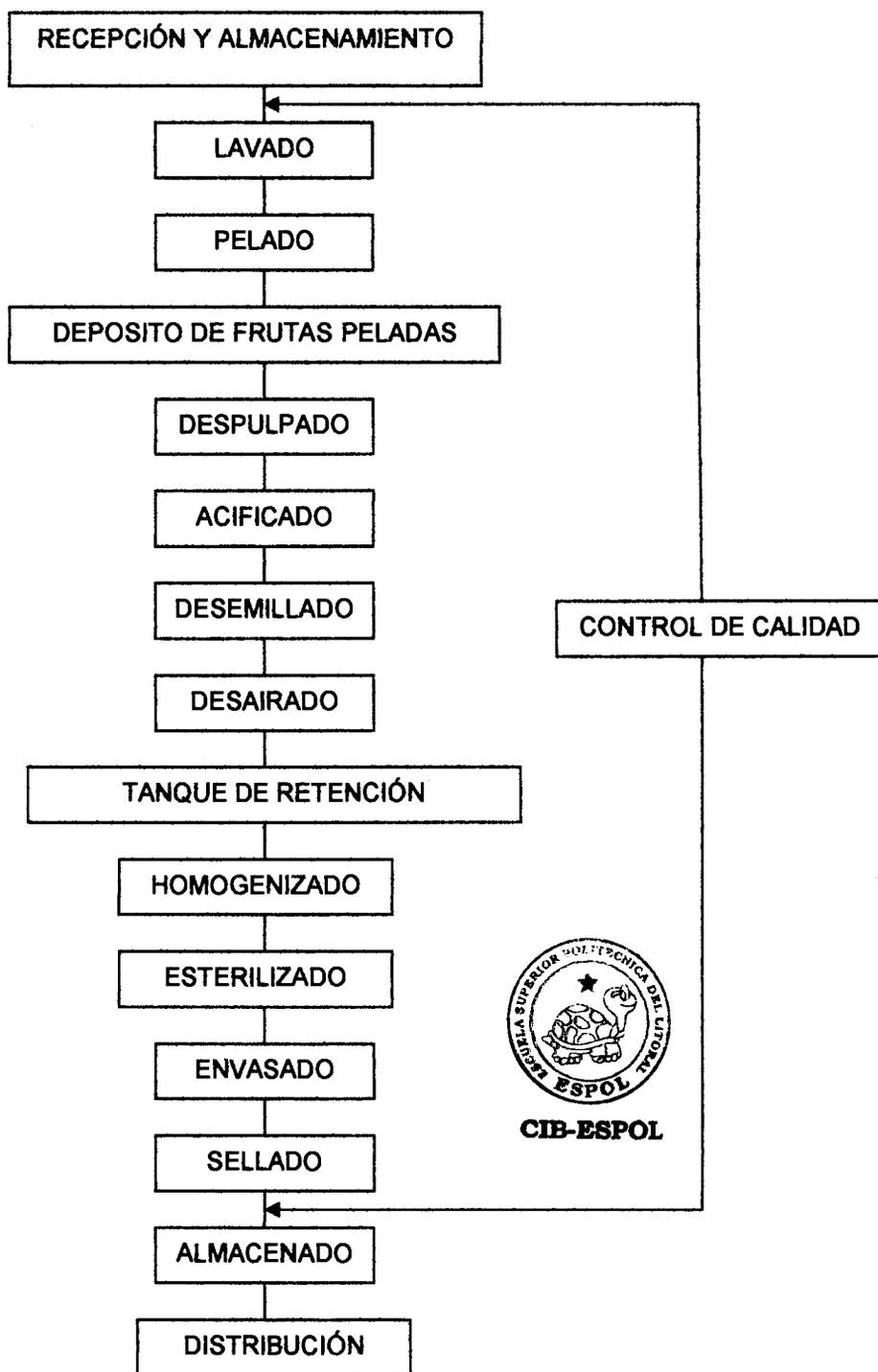


FIGURA 2.1.- Diagramas de Flujo del Proceso para Obtención de Puré y Extractos de Frutas.

Valor mínimo de sólidos solubles de 13 grados Brix (medida de la concentración de sólidos en el líquido).

Valor de pH (potencial de hidrógeno) entre 3,5 y 4,0.

El lugar donde se recibe en la planta debe ser limpio, ventilado, libre de insectos, animales, roedores o cualquier otro que pueda producir daño. No es recomendable dejar por mucho tiempo la fruta en la planta antes de procesarla, porque esto puede causar su deterioro.

LAVADO.- la pila de lavado debe contener agua clorada a un nivel de 15 ppm (43 ml de solución de hipoclorito de sodio al 3.5% - cloro líquido comercial- por cada 100 litros de agua), esto con el fin de reducir la carga microbiana, y de eliminar impurezas y suciedades del fruto. Después del lavado con agua clorada se procede a lavar con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro que pudiera haber quedado.

PELADO.- en la cual se encuentra implícito el proceso de escaldado que tiene el propósito de producir los siguientes efectos: inactivar enzimas (compuestos químicos), sacar el aire ocluido en el interior de la fruta, reducir el número de microorganismos, remover aromas y sabores indeseables, ablandar la fruta para facilitar el despulpado y fijar el color.

Existen dos formas principales de efectuar el escaldado: inmersión en agua hirviendo, y aplicación de vapor de agua sobre la fruta. El escaldado se aplica al producto por un tiempo tal que la fruta alcance en su interior una temperatura mínima de 75 °C; en términos generales, el tiempo es de 10 minutos para el caso del uso de agua en ebullición. Con el uso de vapor el producto se expone por 6 minutos.

La fruta debe prepararse para el escaldado. Así, el mango se escalda entero, sin ser pelado.

Luego del escaldado se procede a pelar la fruta en donde se separa la pulpa de la semilla. Se realiza en forma manual utilizando cuchillos con filo de acero inoxidable, sobre una mesa de trabajo de acero inoxidable también. Los trozos de frutas ya listos se colocan en pequeñas tolvas, para luego ser depositados en el despulpador.

DESPULPADO Y ACIFICADO.- Para obtener un puré fino, se aconseja refinar el puré pasándolo a través de un despulpador con una malla bien fina, que asegure la remoción de partes indeseables. En el despulpado la fruta se somete a un proceso de reducción de tamaño, por lo que se obtiene una especie de puré. El tamaño de malla recomendado es de 0.5 mm. La materia que se separa de la pulpa mediante este proceso se recibe en baldes plásticos y se



separa del proceso. La adición de aditivos es recomendable para prolongar su vida útil y se conoce como acificado. Uno de estos aditivos es el ácido cítrico al 0.3% como acidulante para bajar el pH y evitar así el crecimiento de microorganismos. Además estas condiciones permiten la acción del preservante utilizado, que en la mayoría de los casos es el benzoato de sodio al 0.1%. También se recomienda la adición de ácido ascórbico al 0.1%, para que actúe como antioxidante y evite así el cambio de color del producto final (oscurecimiento). También ayuda a combatir los hongos y levaduras. Estos aditivos se adicionan un poco antes de que termine el tratamiento térmico, pueden ser cinco minutos. Se disuelven en un poco de agua o pulpa caliente y se da una buena agitación para asegurar una distribución homogénea.

El producto final debe tener 13° Brix (medida de la concentración de sólidos en el líquido) y un pH (potencial de hidrógeno) de 3,4 a 3,5.

DESAIRADO Y RETENCIÓN.- proceso en el cual se elimina el aire del producto con el fin de inertizar este, para que no reaccione con el oxígeno. Además evita las implosiones en el proceso de homogeneizado. Este sistema genera la retención del flujo másico del producto con el fin de dosificar el suministro al homogeneizado.

HOMOGENEIZADO.- consiste en pasar al producto por cilindros en cuyo interior existen pistones, los cuales se mueven a frecuencia relativamente altas, produciendo dos efectos, el primero el de pulverizar, atomizar y homogeneizar la pasta dada en el flujo, el segundo efecto el de generar un sistema de bombeo el cual expulsará al producto fuera de los cilindros y encausándolo por las tuberías correspondientes.

ENVASADO, SELLADO Y ALMACENADO.- para el embalaje se utilizan fundas asépticas metalizadas de doble capa, dentro de cajas de cartón de 6 y 15 galones o en tanques de metal de 55 galones.

Para el caso de jugos y zumos, los envases serán de vidrio y tetrapack los cuales deberán ser refrigerados. La refrigeración inmediata de la materia prima conserva todo el sabor y las propiedades naturales de la fruta. Los néctares que son los zumos diluidos a base de concentrado con el 50% de fruta natural, también se realizarán en envases de vidrio y tetrapack. Posteriormente se almacena en cajas de cartón para su distribución final.

2.2 Análisis y especificación del problema.

Debido a la limitada capacidad de producción que tiene la empresa de acuerdo a sus requerimientos, se ha visto la necesidad de incrementar, tecnificar y mejorar sus procesos para aumentar la productividad. Por lo tanto, es imprescindible mejorar los procesos de flujo continuo mediante la innovación tecnológica. Con esta finalidad se analizó la posibilidad de incorporar un gas inerte que permita remover la mayor parte del oxígeno en el producto, gas que sería el nitrógeno, puesto que presenta beneficios que incrementa el valor agregado del producto final como presentación, durabilidad, frescura, eliminación de malos olores y ácido ascórbico. Analizando los diferentes procesos en los que intervendrá el nitrógeno, a continuación se exponen:

Fase de acificado.- aunque en esta fase no interviene el nitrógeno, cabe señalar que se reducirá en gran proporción el ácido cítrico y se eliminará completamente el ácido ascórbico.

Fase de homogeneización.- se inyectará nitrógeno a través de una tobera para el desplazamiento inmediato del oxígeno, principal causante de la oxidación, degradación y de cultivo bacteriano en la sustancia (Ver figura 2.2).



CIB-ESPOL

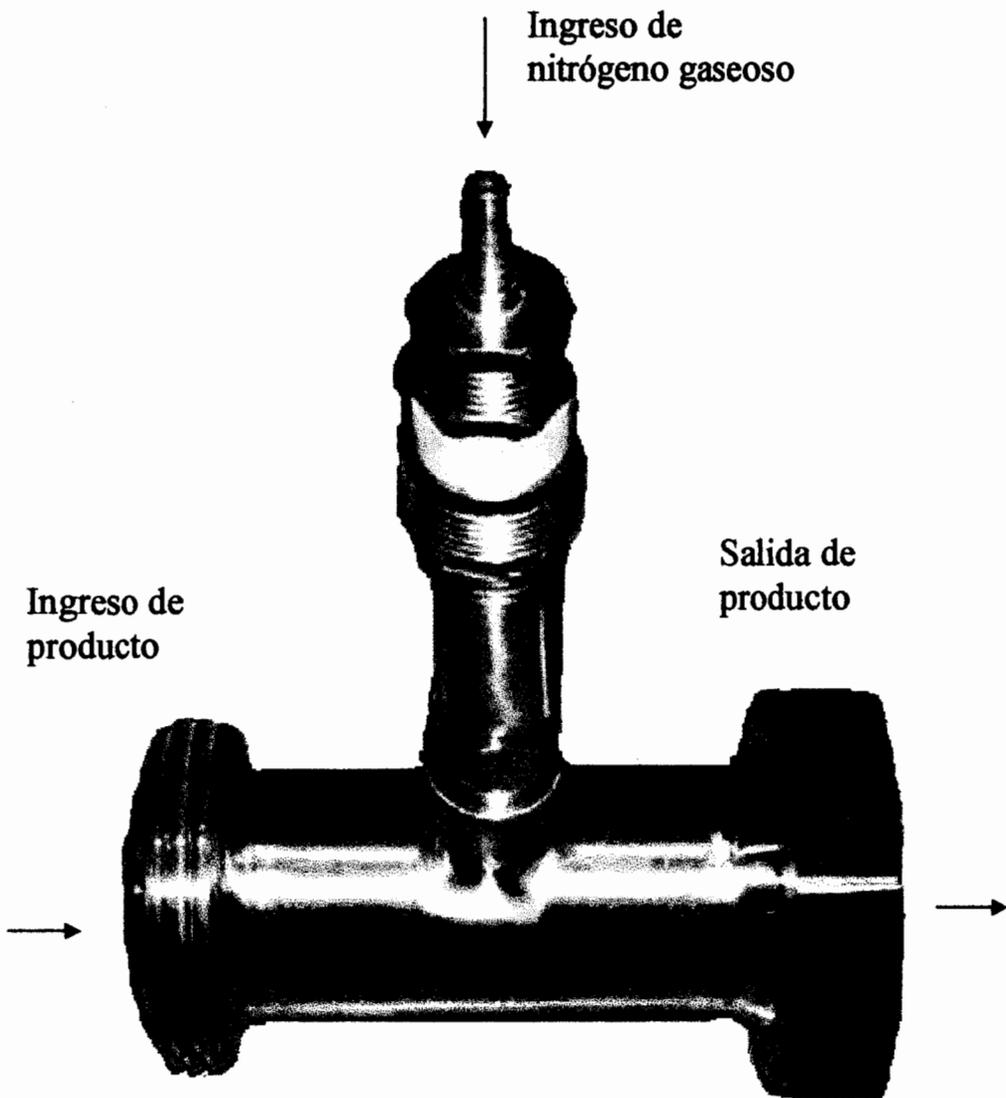


FIGURA 2.2.- Tobera para remoción de oxígeno: A través de este tipo de dispositivos se inyectará nitrógeno hacia el proceso. Es también conocido como sparging system

Empaquetado.- para mantener la atmósfera inerte del producto dentro del empaque, desalojando de esta forma el aire que pueda mantenerse en el enfundado.

Criogenización.- en la cual la pulpa pasará por un túnel de congelamiento, donde la caída de temperatura interna es inmediata, favoreciendo de esta manera la formación de microcristales de hielo aislando el agua y dificultando su participación en reacciones químicas y bioquímicas, inhibiendo la actividad de microorganismos patógenos y pérdida de peso. Ver figura 2.3

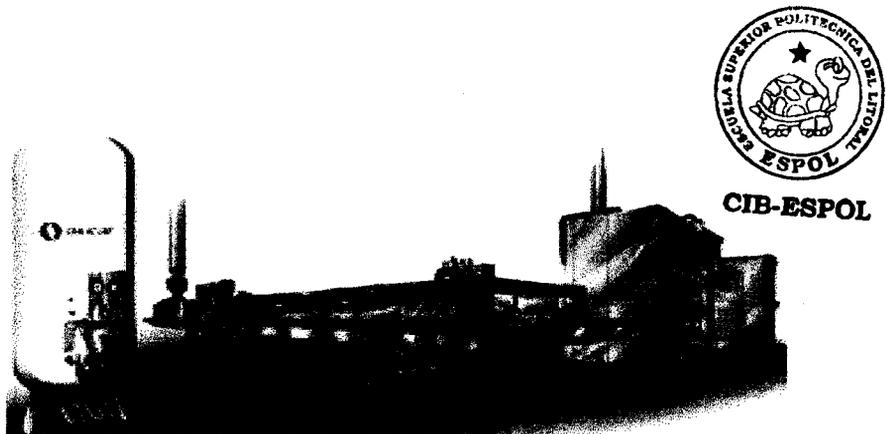


FIGURA 2.3.- Criogenización: A través de un túnel de congelamiento inmediato, dado la baja temperatura del nitrógeno, este es rociado al producto.

Capítulo 3

3. DISEÑO DE TANQUE CRIOGÉNICO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS.

3.1 Diseño de forma y cálculo de volumen requerido.

En la actualidad el mercado de gases criogénicos es muy desarrollado en el mundo, sin embargo el país recién se está haciendo partícipe de las inmensas aplicaciones que tienen. Los líquidos criogénicos son suministrados de dos formas:

- a) Por termos, cuando el requerimiento mensual es menor que 1.15 metros cúbicos de nitrógeno líquido por mes. Estos recipientes son suministrados a préstamo por empresas dedicadas a la comercialización de estos productos.
- b) La otra forma es el suministro del producto en forma a granel, cuando el requerimiento excede un número considerable de termos, se requiere de tanques de almacenamiento junto a un conjunto de accesorios, cuidados y mantenimiento. Aunque estos tanques de gran almacenamiento son suministrados por el

mercado exterior, se ha visto la posibilidad de construirlo en el país, puesto que se garantiza menores costos en su adquisición (bajo la consideración que la manufactura es más barata aquí en el país); sin embargo los parámetros usados en el diseño de este tanque se ha hecho base de la enorme experiencia e información otorgada por las grandes empresas de gases en el mundo y en cuyo anexo de esta tesis se plantea.

Se conoce que existen dos tipos de tanque de almacenamiento los que operan a baja presión con rangos entre 4.5 – 5.8 bares (65.27-84.12 psi), llamados tanques TL y los que operan a presión media con una presión de 17.5 bares (253.8 psi) y se denominan TM (ver apéndice A.2).

Dentro de los parámetros que se parten en esta fase, se conoce (a través de estudios preliminares por ingenieros en alimentos) que el volumen requerido para periodos mensuales es de 10 metros cúbicos de Nitrógeno líquido con una presión de trabajo en promedio de 5.91 Kg/cm² (5.79 bar - 80.85 psi), es decir se diseñará tanque TL 3000.

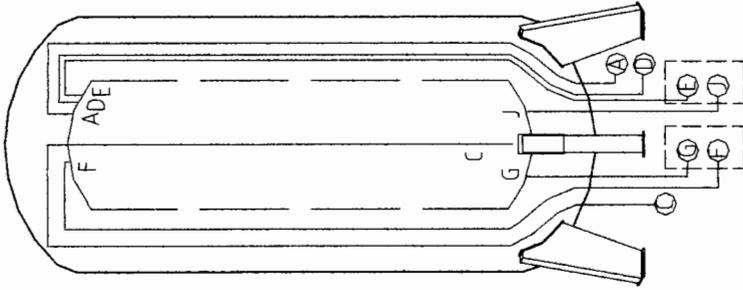
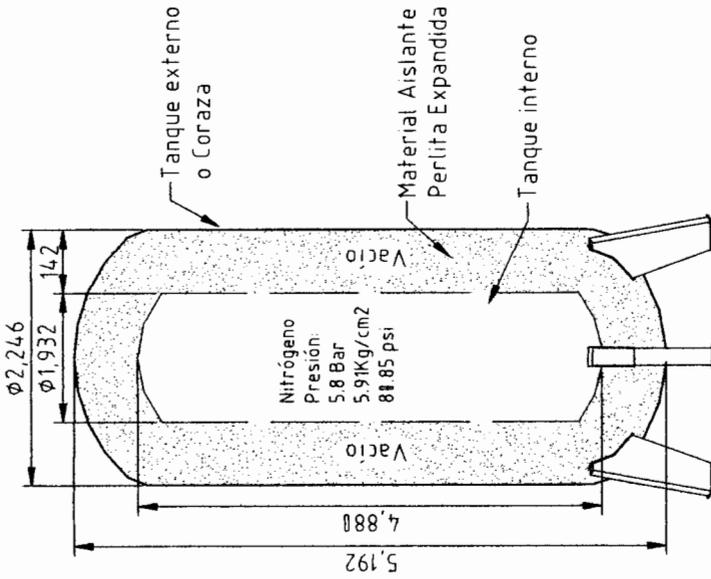
Con estos datos de entrada y observando la tabla 3.1 que presenta una gran empresa mundial obtenemos el diseño de forma (ver figura 2.2). Cabe señalar que dentro de esta tabla se especifica el espesor



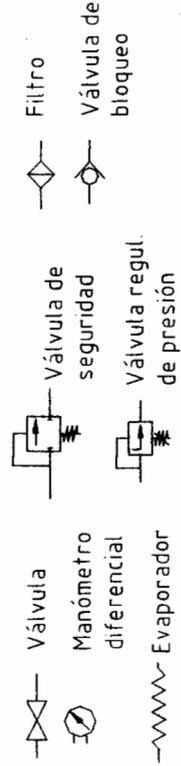
de el aislamiento térmico, dato tomado de tanques de la marca White Martins (ver apéndice A.3).

ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS TL 3000
Altura tanque externo (m)	4.8
Diámetro tanque externo (m)	2.44
Capacidad nominal (l)	11850
Capacidad criogénica (l)	11355
Peso metálico(Kg.)	5170
Presión de trabajo (Kg. / cm ²)	5.8
Volumen de gas (m ³)	7914
Peso lleno (Kg.)	14348
Peso de material aislante	683
Perlita expandida (Kg.)	
Espesor de aislante (mm)	142

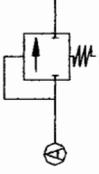
TABLA 3.1.- Características de tanque de almacenamiento



SIMBOLOGÍA



Válvula de seguridad



Retirada de líquido



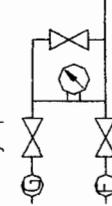
Aereador



Tomas Alternas

G: Alta presión

F: Baja presión



Tomas Alternas

E: Baja presión

J: Alta presión

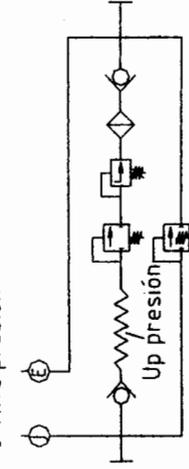


FIGURA 3.1.- Diseño de forma de tanque de nitrógeno

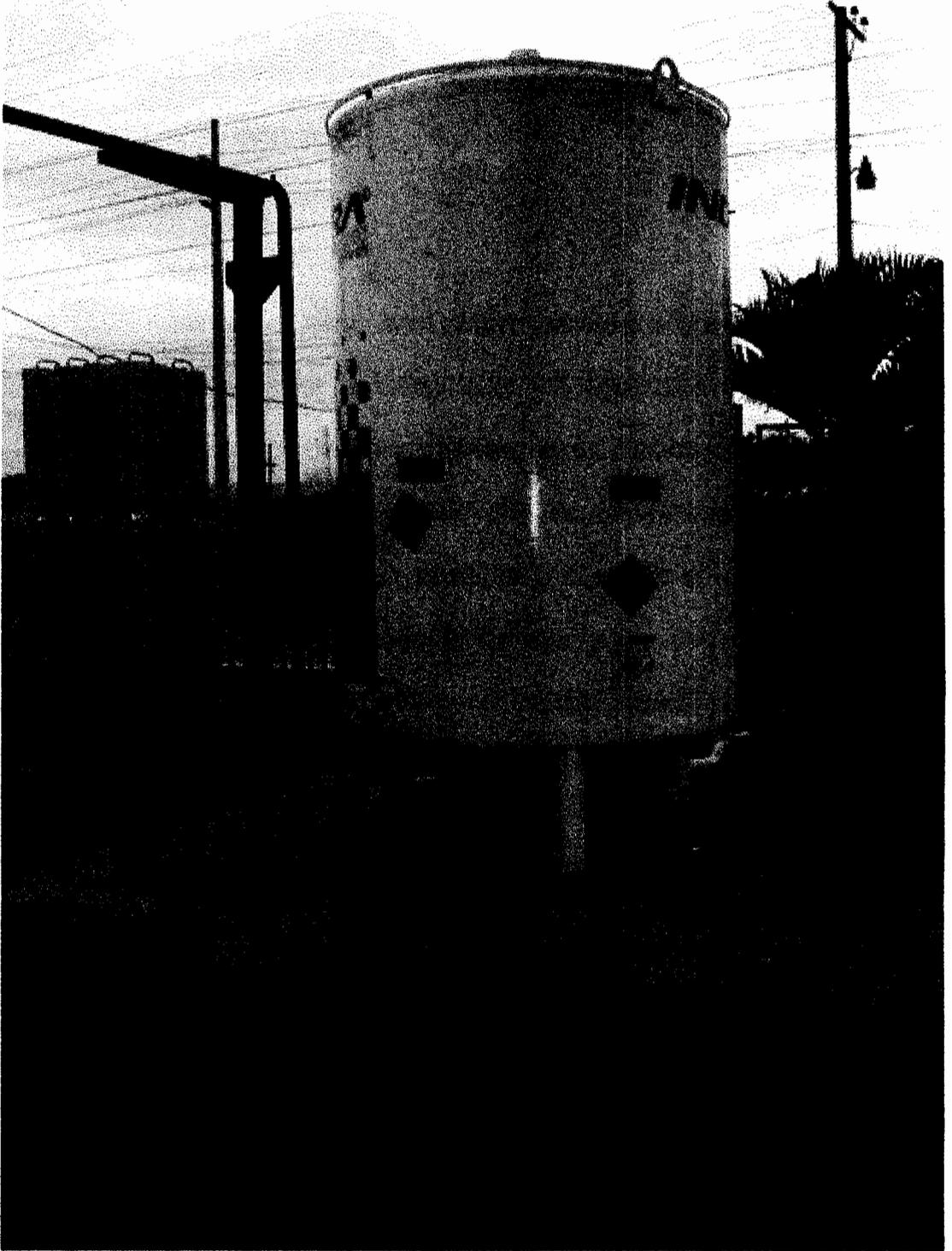


FIGURA 3.2.- Tanque TL 3000: Instalado en planta.

3.2. Diseño de tanque interno.

Para el diseño del tanque interno se considerará dos partes.

- Diseño de manto
- Diseño de domo



CIB-ESPOL

El material a usar será acero inoxidable del tipo AISI 304, recomendado por la COMISIÓN DE ENERGÍA ATÓMICA de los Estados Unidos de Norteamérica, en su catálogo 68-60897 pág. 35 (3). El acero inoxidable AISI 304 es un material austenítico con presencia de níquel que estabiliza a la austenita, que incrementa el tamaño del campo de austenita eliminando casi a la ferrita de la aleación hierro-cromo-carbono. Este acero tiene excelentes propiedades al impacto a bajas temperaturas.

Dentro de los cálculos a considerar para el diseño del tanque interno se usarán las fórmulas dadas por ASME Sección 8, norma UG-27 para el manto y norma UG-32 para el domo (4), en las que se contempla el diseño de reservorios sometidos a presión interna, puesto que el nitrógeno se encontrará a una presión promedio de 5.8 bares (80.84 psi - 5.91 Kg./cm²), y la presión externa la asumiremos como nula en el caso más crítico, siendo este vacío el generado entre la coraza y el tanque interno.

DISEÑO DEL MANTO

Para el diseño del espesor del manto (t) se aplica la fórmula (ver apéndice B.1):

$$t = P R / (S.E - 0.6 P) \quad (1)$$

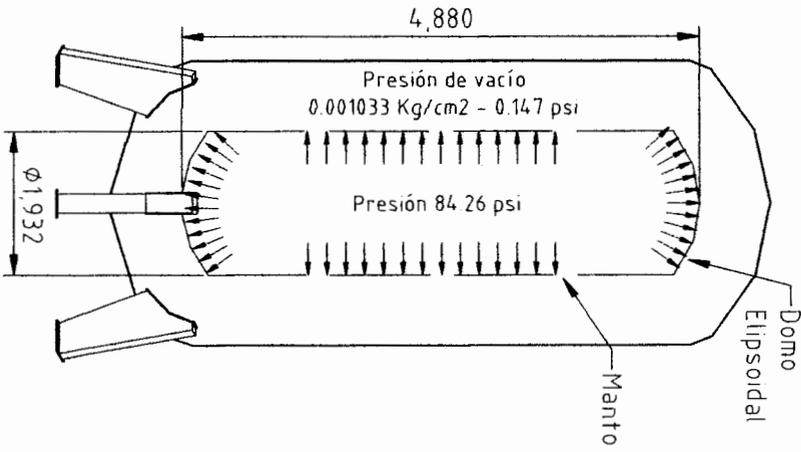
Donde:

- P: Presión de diseño, en este caso es igual a 84.26 lbs/pulg²
- R: Radio externo del manto igual a 38.03 pulg (965.962mm).
- S: Esfuerzo de trabajo permisible para el acero inoxidable AISI 304 en función de la temperatura es igual en este caso a 18800 lbs/pulg², este valor lo da la norma UCS-23, y hace referencia además a la tabla 3 en la sección 2, parte D (ver apéndice B.2).
- E: Valor de eficiencia de la junta soldada en función de las inspecciones realizadas, en este caso igual a 0.85 adimensional (ver apéndice B.3).

$$t = \frac{(84.26 \text{ lbs/pulg}^2 \times 38.0314 \text{ pulg})}{(18800 \text{ lbs/pulg}^2 \times 0.85) - (0.6 \times 84.26 \text{ lbs/pulg}^2)} = 0.2012 \text{ pulg} (5.12 \text{ mm})$$

Dado que el resultado es igual a 5.12mm seleccionaremos el espesor de plancha inmediato superior al valor dado y este será 6mm. Ver figura 3.3

DISEÑO DE TANQUE INTERNO
Diseño a presión interna



CIB-ESPOL



DISEÑO DE TANQUE EXTERNO
Diseño a presión externa

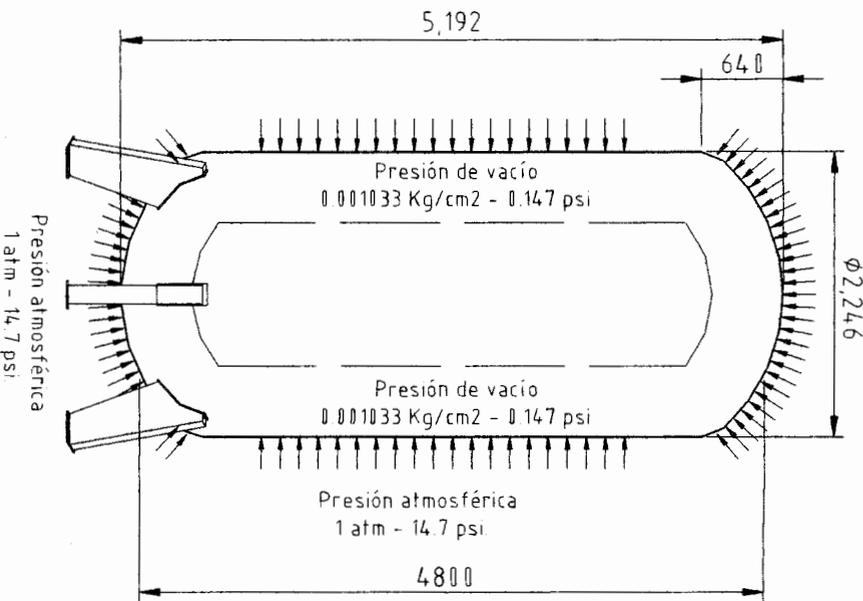


FIGURA 3.4

DISEÑO DEL DOMO

Para el diseño del espesor del domo (t) aplicamos la fórmula para cabezas elipsoidales (ver apéndice B.4):

$$t = P D / (2SE - 0.2 P) \quad (2)$$



CIB-ESPOL

Donde:

- P: Presión de diseño, en este caso es igual a 84.26 lbs/pulg²
- D: Diámetro externo del domo igual a 76.063 pulg.
- S: Esfuerzo de trabajo permisible para el acero inoxidable AISI 304 en función de la temperatura es igual en este caso a 18800 lbs/pulg², este valor lo da la norma UCS-23, y hace referencia además a la tabla 3 en la sección 2, parte D (ver apéndice B.2)
- E: Valor de eficiencia de la junta soldada en función de las inspecciones realizadas, en este caso igual a 0.85 adimensional (ver apéndice B.3).

$$t = \frac{(84.26 \text{ lbs/pulg}^2 \times 76.063 \text{ pulg})}{(2 \times 18800 \text{ lbs/pulg}^2 \times 0.85) - (0.2 \times 84.26 \text{ lbs/pulg}^2)} = 0.2006 \text{ pulg (5.1mm)}$$

Dado que el resultado es igual a 5.1mm seleccionaremos el espesor de inmediato superior al valor dado y este será 6mm. (Fig. 3.3)

3.3. Diseño de coraza.

Para el diseño del tanque externo se considerará dos partes.

- Diseño de manto
- Diseño de domo

El material a usar será acero al carbono ASTM A-36, permitido por el código ASME (4), y de fácil disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

Dentro de los cálculos a considerar para el diseño del tanque externo se usarán las fórmulas dadas por ASME Sección 8, norma UG-28 para el manto y norma UG-33 para el domo (ver apéndice B.5 y B.6), en las que se contempla el diseño de reservorios sometidos a presión externa, puesto que al generarse vacío entre los dos tanques (disminuyendo la presión a 100 veces menos que la atmosférica, es decir $0.001033 \text{ Kg./cm}^2$ (1) – 0.00147 psi), la presión que prevalecerá en la coraza será la atmosférica, la cual tenderá a pandear el manto de la coraza, siendo este el estado crítico. (Ver figura 3.4)

DISEÑO DE MANTO

Para el diseño del manto aplicamos la fórmula (UG-28):

$$P_a = 4 B / (3 (D_o/t)) \quad (3)$$

Donde:

P_a: Presión máxima admitida por la coraza y se compara con la presión externa a la cual esta se encuentra sometida.

B: Cuyo valor es 4000 adimensional hallado de la siguiente manera:

1) Se halla la relación $L/D_0 = 2.137$, donde L es la longitud del tanque y D_0 el diámetro exterior de este, siendo $L = 4800$ mm (188.976 pulg) y $D_0 = 2246$ mm (88.43 pulg.).

2) Se halla la relación $D_0/t = (88.43 \text{ pulg.}/0.4724 \text{ pulg.}) = 187.19$, donde D_0 está previamente definido en el paso 1 y t que es un espesor asumido para el manto, el que será probado con diferentes medidas hasta encontrar el valor admisible sin que resulte pandeo por presión externa, asumiremos de entrada que tendrá un valor de $t = 12$ mm (0.4724 pulg.)

3) Se ingresa a la figura dada en la norma UGO-28 (ver apéndice B.7) con el valor $L/D_0 = 2.137$ en el eje de la Y, para luego extenderse hasta la curva $D_0/t = 187.19$, con esta intersección se define el factor A, especificado en el eje de las X y se halla el valor de $A = 0.000125$.



CIB-ESPOL

4) Con el valor de $A = 0.000125$ en el eje de las X, se ingresa a la figura dada en la norma UCS-28.2 (ver apéndice B.8), y

en función de la curva de temperatura de trabajo (300 °F) se halla $B=3625$ en el eje de las Y.

D_0 : Diámetro exterior del tanque 2246 mm (88.43 pulg.).

t : Valor que deberá ser probado para diferentes espesores, hasta encontrar el valor admisible sin que resulte pandeo por presión externa, asumiremos el valor de $t=12$ mm (0.4724 pulg.)

Resolviendo la ecuación 3, tenemos:

$$P_a = 4 B / (3 (D_0/t))$$

$$P_a = (4 \times 3625) / (3 \times 88.4252 \text{ pulg} / 0.4724 \text{ pulg})$$

$$P_a = 25.8 \text{ lbs/pulg}^2 (1.75 \text{ atm} - 1.81 \text{ Kg./cm}^2)$$



CIB-ESPOL

Dado que el valor de la presión admisible que soporta la coraza es 25.8 lbs/pulg^2 ($1.75 \text{ atm.} - 1.81 \text{ Kg/cm}^2$) y esta es mayor que la presión externa a la cual se encuentra sometida 14.7 lbs/pulg^2 (1.033 Kg/cm^2), el cuerpo se construirá con los 12 mm seleccionados para el espesor.

Cabe señalar que al realizar los mismos cálculos con un espesor de 10 mm que es el espesor de chapa inmediato inferior, el cual se encuentra en el mercado, el valor igual a la presión admisible es 14.8 lbs/pulg^2 (1.0001 Kg/cm^2), valor que está cerca de la presión

atmosférica por lo que con cierta sobre presión podría pandearse. Dado esto, entonces seleccionamos el espesor inmediato superior, que es un $t = 12\text{mm}$.

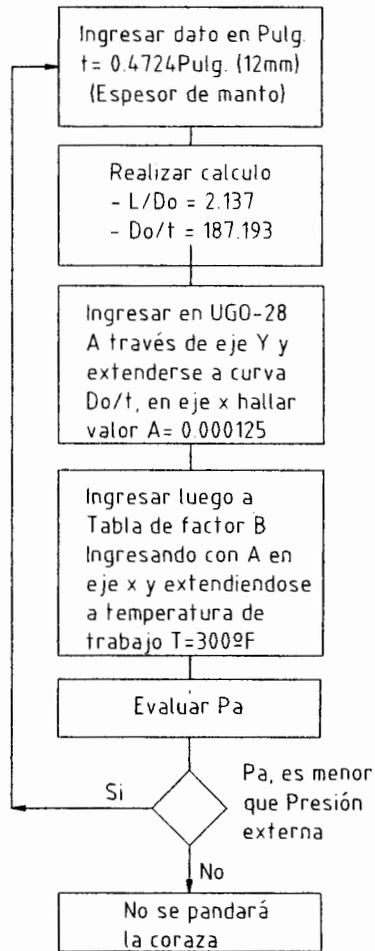


FIGURA 3.5: Procedimiento para selección de espesor de manto bajo presión externa

DISEÑO DEL DOMO

Para el diseño del domo con cabeza elipsoidal de diámetro 2246 mm (88.43 pulg) y altura 640mm (25.197 pulg) (Ver figura 3.4), aplicamos la fórmula (UG-33):

$$P_a = B / (R_0/t) \quad (4)$$

Donde:

P_a : Presión máxima admitida por el domo de la coraza y se compara con la presión externa a la cual esta se encuentra sometida.

B : Cuyo valor es 6000 adimensional hallado de la siguiente manera:

1) Se halla la relación $R_0/t = (1796.8/6) = 300$

Donde R_0 es el radio equivalente esférico, y se halla de la siguiente manera:

- Se halla la relación $D/2h = 2246/(2 \times 640) = 1.75$
- Con esta relación se ingresa a la tabla UG-37 (ver apéndice B.9) y con el valor de $D/2h = 1.75$, se obtiene el valor del factor de radio esférico $K = 0.8$ adimensional.
- El radio equivalente esférico será $R_0 = K \times D_0 = 0.8 \times 2246$, la operación da como resultado $R_0 = 1796.8$ mm., en el que D_0 es igual al diámetro externo del domo.



Donde t resulta ser un espesor asumido para el domo, el que será probado con diferentes medidas hasta encontrar el valor admisible sin que resulte pandeo por presión externa, asumiremos el valor de $t=6\text{mm}$ (0.2362 pulg).

- 2) Se halla el valor de A (ver apéndice B.6). Norma UG 33, literal d, página 36:

$$A=0.125/(R_0/t)=0.125/(1796.8/6)=0.0004174.$$

- 3) Con el valor de $A=0.0004174$ en el eje de las X , se ingresa a la figura dada en la norma UCS-28.2 (ver apéndice B.8), y en función de la curva de temperatura de trabajo (300 °F) se halla $B=6000$ en el eje de las Y .

Evaluando la fórmula (4), tenemos el siguiente resultado

$$P_a = B / ((R_0/t))$$

$$P_a = 6000 / (1796.8\text{mm} / 6\text{mm})$$

$$= 6000 / (70.74\text{pulg.} / 0.236\text{pulg.}) \dots\dots(\text{Equivalente en pulgadas})$$

$$P_a = 20.03 \text{ lbs/pulg}^2 (1.363 \text{ atm} - 1.41 \text{ Kg./cm}^2)$$

Dado que el valor de la presión admisible que soporta el domo es 20.03 lbs/pulg^2 (1.363 atm - 1.41 Kg/cm²) y esta es mayor que la presión externa a la cual se encuentra sometida 14.7 lbs/pulg^2 (1.033



CIB-ESPOL

Kg/cm^2), los domos se construirán con los 6 mm seleccionados para el espesor.

Cabe señalar que al realizar los mismos cálculos con un espesor de 4mm que es el espesor de chapa inmediato inferior, el cual se encuentra en el mercado, el valor igual a la presión admisible es 9.68 lbs/pulg² (0.658 atm. - 0.6806 Kg/cm^2), valor que está por debajo de la presión atmosférica por lo que se pandearía. Dado todo esto se asegura un espesor óptimo de $t= 6\text{mm}$.

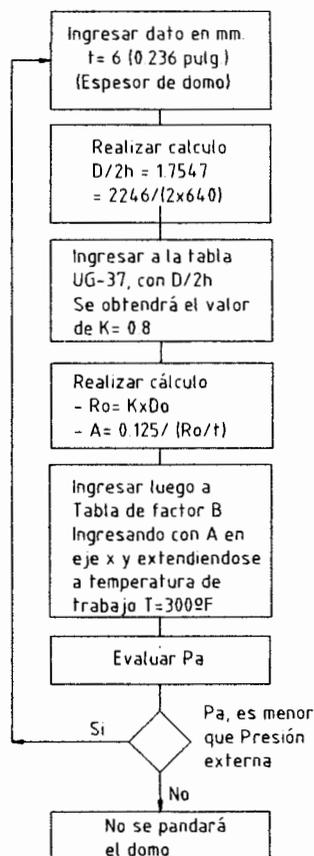


FIGURA 3.6: Procedimiento para selección de espesor de domo bajo presión externa

3.4. Diseño térmico.

Con el fin de obtener un óptimo aislamiento térmico y haciendo uso de la información existente, se usará perlita expandida con un espesor promedio de 142 mm como se expresa en el apéndice A.3.

Haciendo uso de la fórmula para estimar la transferencia de calor radial, se tiene (6):

$$q' = \frac{T_{\text{amb}} - T_{\text{Nitro}}}{R'_{\text{tot}}} \cdot L_c \quad (5)$$

Donde:

T_{amb} Es la temperatura ambiente, que en caso crítico asumimos 35°C

T_{Nitro} Es la temperatura del Nitrógeno y corresponde a -196°C

R'_{tot} Está definida por la suma de las resistencias convectivas del nitrógeno y del ambiente, así como de las resistencias conductivas del tanque interno, del aislamiento térmico y de la coraza. Se expresa entonces la resistencia total:

$$R'_{\text{tot}} = \frac{\ln(R1_{\text{ex}} / R1_{\text{int}})}{2\pi k_1} + \frac{\ln(R2_{\text{int}} / R1_{\text{ex}})}{2\pi k_A} + \frac{\ln(R2_{\text{ex}} / R2_{\text{int}})}{2\pi k_2} + \frac{1}{2\pi h_{\text{amb}} R2_{\text{ex}}} \quad (6)$$

Donde:

$R1_{\text{int}}$ = Radio interno de tanque interno

$R1_{\text{ex}}$ = Radio externo de tanque interno

R_{2int} = Radio interno de coraza

R_{2ex} = Radio externo de coraza

Del apéndice C:

$k_1 = 9.2 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$

(Correspondiente al acero AISI 304 a 100°K)

$k_2 = 60.5 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$

(Correspondiente al acero ASTM A-36 a 300°K)

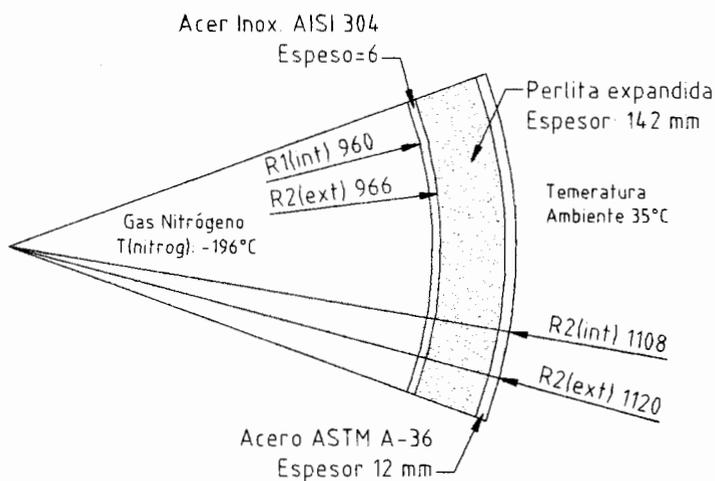
$k_{\text{Aislante}} = 0.016 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$

(Correspondiente perlita expandida a 100°K)



CIB-ESPOL

$$q' = \frac{35^\circ\text{C} - (-196^\circ\text{C}) \times 4.55 \text{ m}}{1.3928 \text{ m}^2\text{K/W}} = 754.63 \text{ W (42.9 BTU/min)}$$



RESISTIVIDAD TÉRMICA DE PAREDES

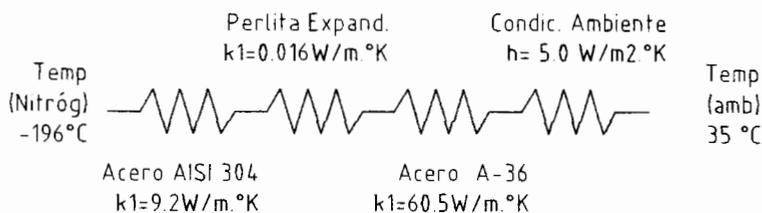


FIGURA 3.7: Resistividad térmica en paredes de tanque.

3.5. Selección de accesorios.

En este subcapítulo se plantea el tipo de material de las tuberías que intervendrán en el proceso de construcción del tanque. Los accesorios adicionales como medidores de nivel de líquido, dispositivos de seguridad, medidores de presión, válvulas de escape, válvulas de retirada de gas se los especifica en los planos correspondientes dados en el apéndice.

Respecto a las tuberías.- la tubería que sale del tanque interno hacia el externo serán de acero inoxidable AISI 304, y las tuberías externas de cobre (7); dato obtenido a través de manuales de operación y mantenimiento para tanques criogénicos estacionarios y carros tanques.

Cabe señalar que el tipo de material del tanque externo es del tipo ASTM A-36; el material que intervendrán en las patas de sujeción, al igual que todo cuerpo construido y que se encuentra en contacto directo con este, también mantendrá la misma característica. El tipo de material a usarse en el tanque interno será de AISI 304, que es un material inoxidable austenítico, de igual forma todo cuerpo construido y que se encuentre en contacto con este. Los demás tipos de accesorios tendrán materiales especificados por las casas

comerciales respectivas, que deberán poseer características técnicas como rangos de presión indicado, temperaturas, etc.

Capítulo 4



4. NORMAS APLICATIVAS EN FASE CONSTRUCTIVA

4.1 Normas de soldadura.

La información aquí presentada es extraída de la norma ASME SECCIÓN VIII, división 1, Subsección B, parte UW que corresponde a Requerimientos para Fabricación de recipientes a presión por Soldadura, así como la información presentada por AGA e Indura en manuales informativos en la aplicación de soldadura sustentados bajo la norma AWS. En caso de requerir información para calificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores, se deberá consultar la norma ASME, SECCIÓN IX, Calificación de soldadura y de soldadores.

RESPECTO AL ACERO DE BAJO CARBONO

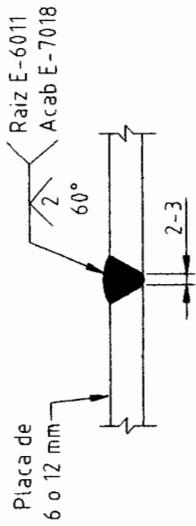
Generalmente los esfuerzos residuales no son de consideración en los aceros de bajo carbono, siempre que los procesos de soldadura aplicados al material sean satisfactorios y utilicen un procedimiento

adecuado, para ello se usarán las especificaciones técnicas dadas por el código ASME normas UW para recipientes sometidos a presión (4).

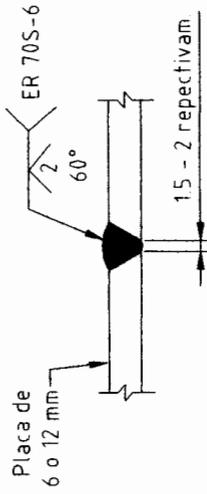
Planteamos las dos posibilidades más comunes para aplicación de soldadura que son:

Proceso MIG/MAG.- Se aplicará alambre ER 70S-6, cuyo contenido de Mn-Si es alto, para soldar con CO₂ o mezclas de Ar en acero desoxidado o parcialmente desoxidado, con cantidades moderadas de escamas superficiales. Se usará un procedimiento con Arco Corto para raíz en las planchas de 6 y 12 mm con gas Ar+CO₂ o CO₂ y de Spray para las planchas de 12 mm. Tendrán las placas un espaciamiento de 1.5 y 2 mm respectivamente con un chaflán de 60°. Se señala que la soldadura de arco corto se emplea para soldar material delgado, cordones de raíz y en caso que no se requiera pasar más de una vez la aplicación en el cordón. De esta forma se aporta con menos calor a la pieza de trabajo y se produce un baño de fusión pequeño, fácil de controlar.

Entre los gases recomendados se encuentra AGA MIX 28, AGA MIX 20 y AGA MIX T-55, aunque sólo se usa a veces CO₂ puro para soldadura de arco corto.



a) Aplicación de arco eléctrico

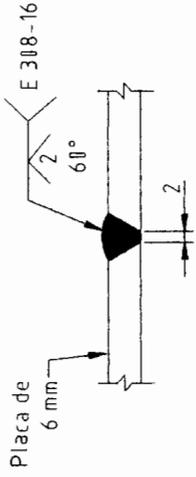


b) Aplicación Mig/Mag

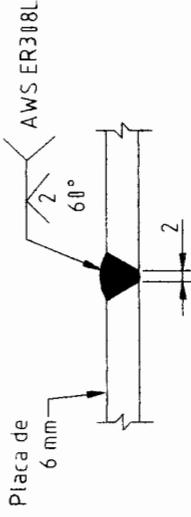
Detalle de soldadura para acero la carbono (sin Esc.)



CIB-ESPOL



a) Aplicación de arco eléctrico



b) Aplicación Mig/Mag

Detalle de soldadura para acero inoxidable (sin Esc.)

FIGURA 3.8

FIGURA 3.9

Proceso de Arco Eléctrico.- Se usarán electrodos revestidos E-6011 para raíz y E 7018 para acabado, siempre que sea acero al carbono dado por UW-27 del código ASME (ver apéndice B.3).

La soldadura será a tope, biselada a un ángulo de 60 grados entre las planchas de acero tanto para las planchas de 6 y 12 mm con separación de placas de 2 a 3 mm para ambas. En este caso el tratamiento térmico no será necesario debido a que el espesor de la junta es menor a 16 mm.

RESPECTO AL ACERO INOXIDABLE AISI 304

De igual forma planteamos las dos posibilidades más comunes para aplicación de soldadura que son:

Proceso MIG/MAG.- Para el caso de aceros inoxidable se usarán mezclas de argón con bajo porcentaje de CO₂ o de Oxígeno como AGA MIX 22 o AGA MIX 12. Se usará un alambre AWS ER 308L cuyo bajo contenido de carbono impide la precipitación intergranular de carburo. Este tipo de alambre se usa para los tipos de acero AISI 304 y 304L.

Las placas tendrán un chafán de 60°, con un espaciado de 0mm para las placas de 6 mm.



CIB-ESPOL

Proceso de Arco Eléctrico.- Se usará un electrodo tipo AWS-ASTM E308-16, INDURA sugiere un tipo INDURA-AIRCO 19-9, que es un electrodo formulado para soldar aceros como AISI 301, 302, 302B, 303, 304, 305 y 308 que se caracterizan por su gran resistencia a la corrosión. El material depositado es austenítico.

Tendrán las placas un espaciamiento de 2 mm con un chaflán de 60°.

RESPECTO AL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Aceros de bajo carbono.- Los mejores resultados se los obtiene manteniendo un arco mediano, con ello se asegura una fusión adecuada permitiendo el escape de gases, además de controlar la forma y apariencia del cordón.

Para filetes planos y horizontales conviene mantener un ángulo de 45° respecto a la plancha y efectuar un pequeño avance y retroceso del electrodo en el sentido del avance.

Para filetes verticales ascendentes se mantienen el electrodo perpendicular a la plancha moviéndolo en el sentido del avance, este deberá ser rápido y la corriente adecuada para permitir alargar el arco y no depositar cuando se va hacia arriba, para luego bajar al



cráter y depositar el metal fundido. Controlando la socavación y ancho del cordón.

Cuando se suelda vertical descendente, el cordón de raíz se hace con un avance continuo, sin oscilar y la fuerza del arco se dirige de tal manera que sujeta el baño de fusión. Para los pases sucesivos se puede usar una oscilación lateral.

Aceros inoxidables.- Se recomienda un arco corto. La corriente debe ser ligeramente superior cuando se suelda con CA que con CC, polaridad invertida.

Debido a que el acero inoxidable se expande un 50% más que los aceros dulces y siendo su disipación de calor por conducción 50% más lenta, tiende a pandearse y torcerse al ser soldados. Para evitar esto debe usarse la corriente más baja posible o soldar con máxima velocidad. La resistencia del núcleo es de 6 a 9 veces mayor y la temperatura de fusión 100 °C menor que los núcleos de acero dulce.

Cuando la soldadura es **en posición plana**, se debe mantener un arco relativamente más corto y limitar las oscilaciones 2 ½ veces el diámetro del electrodo, prefiriendo hacer un mayor número de pases

con cordones pequeños para evitar deformaciones producidas por exceso de temperatura en donde la oscilación deberá ser en U.

Cuando la soldadura es *en posición vertical*, no se recomienda oscilar el electrodo sino con un movimiento en forma de V cuyo vértice estará en la raíz de la unión. El arco se lo llevará entonces a 1/8" hacia un lado y hacia el otro, deteniéndose momentáneamente en el centro.

Cuando la soldadura es *en filete horizontal*, requiere un amperaje lo suficientemente alto para asegurar una buena penetración, cuando se sueldan placas de igual espesor el electrodo deberá apuntar hacia el avance, en caso en que una pieza sea mayor deberá el electrodo apuntar hacia este.

RESPECTO AL TIPO DE INSPECCIÓN A REALIZAR

El método a usar para inspección de la soldadura será radiográfico al 100% de los cordones, tanto en el tanque interno como en la coraza, esto especificado de acuerdo a las normas UW-11 y UW-12 (ver apéndice B.3).



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

4.2 Preparación de superficie y pintura.

Para la preparación de superficie y pintura se hará referencia a las normas SSPC, para la coraza, previa la observación de que esta es de acero al carbono y necesita tratamiento superficial, mientras que el tanque interno por ser de acero inoxidable AISI 304 no necesita tratamiento alguno.

Para la coraza la preparación será del tipo SSPC-SP-10, que contempla la eliminación hasta que por lo menos el 95% de la superficie este libre de óxido, escama de laminación (calamina), pintura y demás residuos visibles, para ambientes húmedos, marinos o corrosivos (8).

La coraza, por encontrarse sometida a gradientes térmicos dada la transferencia de calor entre el nitrógeno y el medio ambiente (aunque poco significativa), se encontrará con cierto grado de humedad, por lo que el sistema de pintura a utilizarse será de acuerdo a la norma SSPC-PS 11 que sugiere una pintura epóxica poliamídica de alquitrán de carbón.

Esta norma recomienda 2 manos de pintura cada una de 8 mils (8), sin embargo el nombre comercial de este tipo de pintura lo dará el respectivo proveedor.



CIB-ESPOL

4.3 Prueba de presión.

Una vez realizada la construcción tanto del tanque interno como de la coraza y luego de haber realizado las pruebas radiográficas es importante realizar las pruebas correspondientes para establecer la presión máxima de trabajo permitida de los recipientes. Aunque la norma UG-100 establece la disponibilidad del inspector para seleccionar esta presión nos acogeremos al literal b de dicha norma seleccionando 1.25 veces la presión de diseño. Para tal procedimiento la prueba será neumática (ver apéndice B.1).

4.4 Cronograma de trabajo.

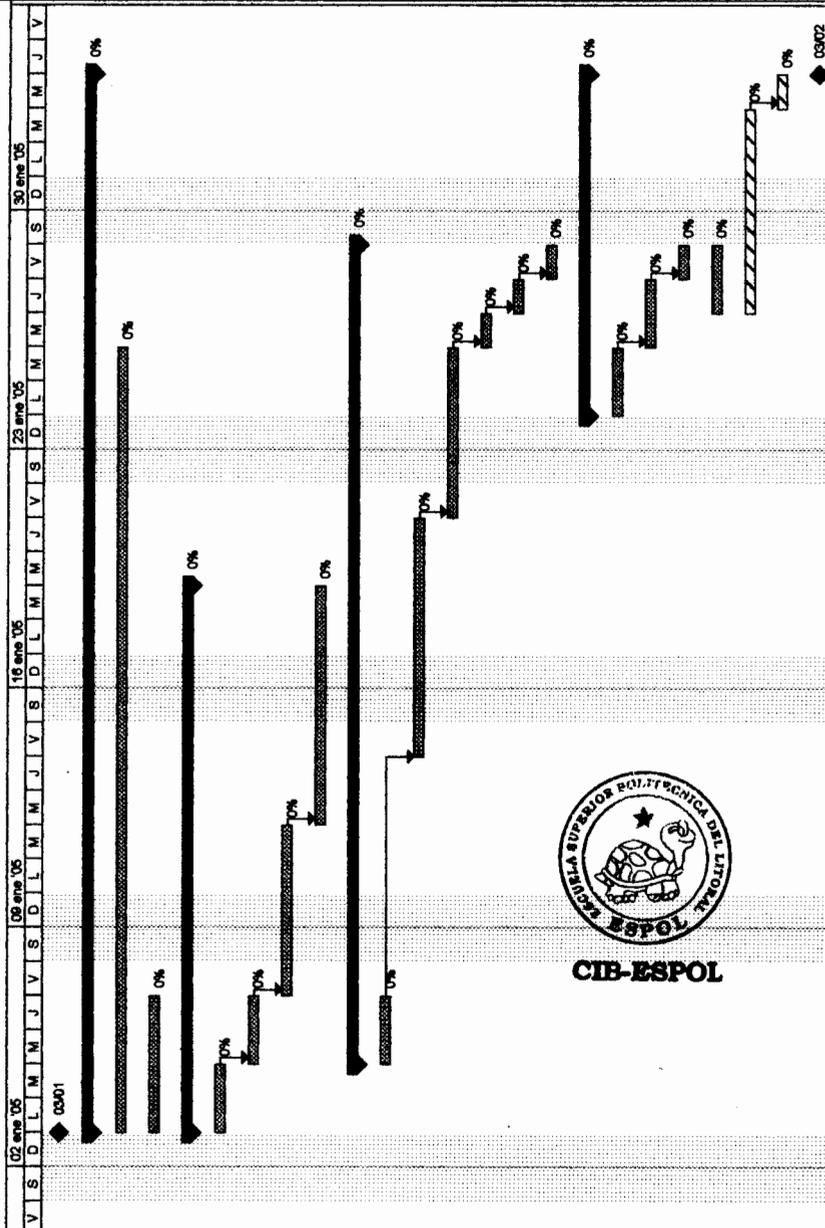
La construcción del tanque se deberá ajustar al siguiente cronograma de trabajo el cual contempla la adquisición de los materiales, construcción del tanque interno, coraza e instalación de los respectivos accesorios, tuberías y bomba.

A continuación se detalla el cronograma de trabajo.



CIB-ESPOL

Diseño de tanque para reservorio de agua con capacidad de 320 mc debidamente normado



Tarea crítica	Lineas de base	Tareas críticas resumida	Lineas de base resumida
División crítica	División crítica resumida
Progreso de tarea crítica	█	Progreso crítico resumido	█
Tarea	█	Tarea resumida	█
División	█	División resumida	█
Progreso de tarea	█	Progreso de tarea resumido	█
	Lineas de base		Lineas de base resumida
	División prevista		Hito de línea de base resumida
	Hito de línea de base		Hito resumido
	Hito		Tareas externas
	Progreso del resumen		Resumen del proyecto
	Resumen		

Proyecto: DiagramaDeTrabajo
Fecha: ma 09/04/04

Capítulo 5



CIB-ESPOL

5. ANALISIS DE COSTOS

El análisis de costos se realiza a partir de los precios de mercado para su construcción y del costo de accesorios importados puestos en el país.

En la tabla 5.1 se presentan los costos, tales como precio de tanque interno, coraza, accesorios ya sea vacuómetros, medidores de temperatura, válvulas de seguridad, codos, T. Este rubro se encuentra a precios de Setiembre de 2004, en donde el kilogramo de acero ASTM A-36, se encuentra a un precio relativo de 0.90 USD, y el precio del acero AISI 3204, se encuentra en casi el doble.

Este listado de precio podría cambiar de acuerdo a la fluctuación en el precio del acero a nivel mundial.

Al comparar este precio con un tanque comprado en el exterior e importado cuyo costo es de aproximadamente 24500 USD, y que al importarlo, por tasa arancelaria se encontraría aproximadamente a 42500 USD. Por tanto se observa una reducción de costo en 32.8%

Luego de observar esta reducción en costo, y el amplio factor de ganancia por parte de la empresa, se entiende por que otros países cercanos al nuestro se han involucrado ampliamente en la fabricación de estos tanques.

TABLA DE COSTOS EN MANUFACTURA NACIONAL					
Item	Descripción	Cantidad		Precio/Cant USD	Monto USD
A	Tanque interno				3787,80
	Acero AISI 304 (1220x2440x6)	15	u	225,00	3375
	Soldadura AWS ER 308	60	Kg	6,00	360
	Pernos Ac. Inox 9/16x4"	24	u	2,20	52,8
B	Tanque externo				4708,00
	Acero ASTM A-36 (1220x2440x12)	15	u	252,00	3780
	Acero ASTM A-36 (1220x2440x6)	4	u	112,00	448
	Soldadura E 6011	80	Kg	3,00	240
	Soldadura E 7018	50	Kg	3,00	150
Pintura epóxica	6	gl	15,00	90	
C	Accesorios				2059,25
	Tubería de acero inoxidable. Dia. 3/4	35	m	10,00	350
	Tubería de acero inoxidable. Dia. 1/2	30	m	6,00	180
	Tubería de acero cobre. Dia. 3/4	5	m	3,00	15
	Tubería de acero cobre. Dia. 1/2	9,5	m	1,50	14,25
Accesorios (Medidores Presión, Temp, Vacío)				1500	
D	Mano de obra				3452,25
	Ingeniero (1)	200	horas	4,50	900
	Soldadores (3)	600	horas	3,75	2250
	Ayudantes (3)	300	horas	0,93	279
Arenadores (2)	25	horas	0,93	23,25	
E	Beneficio de la empresa				4247,9
Total (A+B+C+D+E)					18255,20

Tabla 5.1.- Costo para la construcción de tanque criogénico



CIB-ESPOL

Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CIB-ESPOL

CONCLUSIONES

1. La empresa agroindustrial aumenta el consumo de nitrógeno líquido de 1.25 a 12 metros cúbicos, generando una mayor aplicación en las diferentes fases como homogenizado, empaquetado y criogenización, dado su condición de aumentar la durabilidad del proceso puesto que tiene la función de desplazar al oxígeno e inertizar la atmósfera.
2. Este trabajo cubre el diseño de los tres elementos constitutivos del tanque criogénico con capacidad de almacenamiento de 12 metros cúbicos de nitrógeno líquido, como son tanque interno cuyo material está conformado por AISI 304 , el tanque externo conformado por Acero ASTM A-36 y el aislante térmico que lo constituye el vacío entre los tanques y el material perlita expandida
3. El tanque interno, así como la coraza fueron diseñados bajo las normas ASME, UG, UCS, UW, UGO, de la sección 8 división 1, 1995. Para la preparación superficial de la coraza se usaron las normas

SSPC, todas ellas códigos internacionales y aceptadas para la construcción de tanques ya sea sometidos a presión externa o interna, por lo que se asegura un diseño altamente eficiente.

4. Se utilizan parámetros para el diseño de forma dados por empresas vinculadas al almacenamiento de líquidos criogénicos, por lo que se permite tener un tanque de acuerdo a las exigencias del mercado global.
5. La reducción de costos en la fabricación nacional sería de un 32.8%, comparado con el producto importado, sin que aún intervenga el impuesto al valor agregado (IVA)



CIB-ESPOL



RECOMENDACIONES

1. Deberá ejecutarse un mantenimiento periódico de todas las líneas y equipos del sistema del tanque criogénico.
2. Deberá controlarse la presión de vacío la misma que debe ser mantenida con un promedio de 1/100 la presión atmosférica
3. El montaje del tanque en sitio deberá de efectuarse con las herramientas adecuadas para este tipo de reservorios, con el fin de no dañar el sistema de pintura.
4. El ensamble de todo el tanque deberá ser realizado por personal técnico con experiencia en el campo de reservorios de presión, manteniendo procedimientos que permita el desarrollo de las buenas prácticas de ingeniería.
5. En caso de dudas el constructor deberá remitirse a las normas ASME, sección VIII, o a su vez a cualquier código internacional cuyas exigencias no sean menores a la de ASME.
6. El cimiento del tanque deberá ser previamente calculado por un ingeniero civil, debido a la altura y al peso del mismo.
7. Como recomendación fuera del contexto de la tesis y de diseño de tanques criogénicos, este trabajo puede ser aplicado como texto guía para el diseño de tanques sometidos a presión externa y tanques sometidos a presión interna, bajo el código ASME, en su sección VIII.

APÉNDICES



CIB-ESPOL

APENDICE A

DATOS TÉCNICOS GENERALES DE TANQUE Y CONTENIDO



CIB-ESPOL

A-1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL NITRÓGENO



CIB-ESPOL

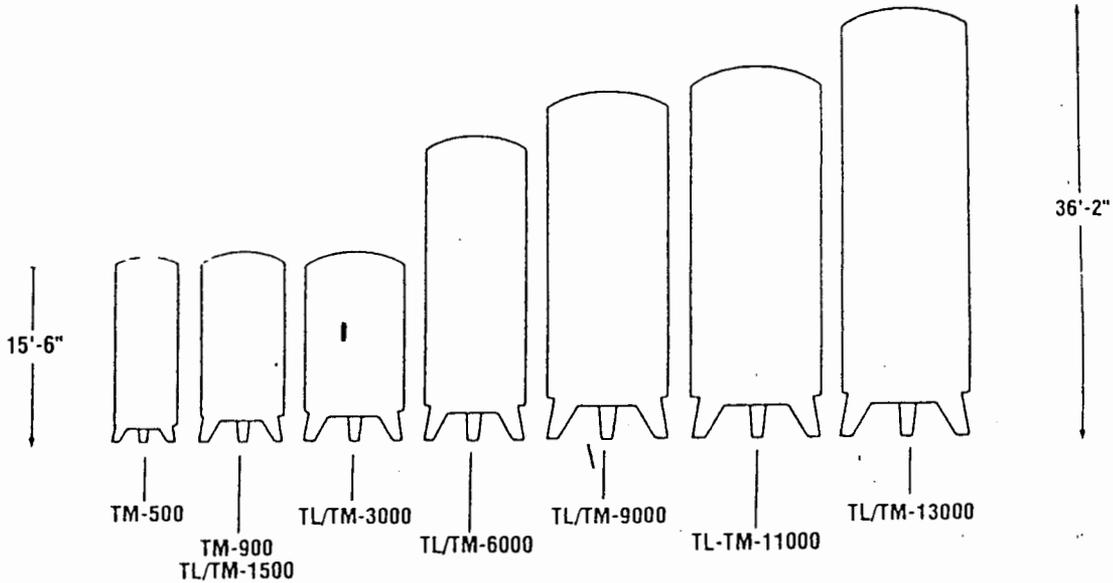
15.16.2 Physical properties

	<i>Metric Units</i>	<i>U.S. Units</i>
Autodiffusion		
at 0°C (32°F) and 101.3 kPa (1 atm)	$17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$183 \times 10^{-6} \text{ ft}^2/\text{s}$
at 15°C (59°F) and 101.3 kPa (1 atm)	$19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$205 \times 10^{-6} \text{ ft}^2/\text{s}$
Boiling point at 101.3 kPa (1 atm)	-195.8°C	-320.4°F
Critical compressibility factor	0.289	0.289
Critical density	314 kg/m ³	19.60 lb/ft ³
Critical pressure	3400 kPa, abs.	493 psia
Critical temperature	-146.85°C	-232.29°F
Critical volume	0.0891 m ³ /kmol	0.00315 ft ³ /mol
Density of the gas		
at 21.1°C (70°F) and 101.3 kPa (1 atm)	1.1605 kg/m ³	0.07245 lb/ft ³
Latent heat of fusion at triple point	25.6 kJ/kg	11.0 Btu/lb
Latent heat of vaporization		
at boiling point and 101.3 kPa (1 atm)	198.9 kJ/kg	85.5 Btu/lb
Melting point at 101.3 kPa (1 atm)	-209.8°C	-345.7°F
Molecular weight	28.0134	28.0134
Relative density of the gas (air=1)		
at 20°C (68°F) and 101.3 kPa (1 atm)	0.9670	0.9670
Solubility in water, vol./vol.		
at 0°C (32°F) and 101.3 kPa (1 atm)	0.023	0.023
Specific heat capacity of the gas		
at 21.1°C (70°F) and 101.3 kPa (1 atm)		
c_p	1.04 kJ/(kg·°C)	0.248 Btu/(lb·°F)
c_v	0.742 kJ/(kg·°C)	0.177 Btu/(lb·°F)
Triple point at 12.5 kPa, abs. (1.82 psia)	-210.0°C	-346.0°F

A-2. TANQUES ESTANDARIZADOS DE PRAXAIR

STANDARD TANKAGE

RELATIVE SIZES



CIB-ESPOL

GENERIC STORAGE TANK SPECIFICATIONS

OXYGEN, NITROGEN, ARGON

Characteristics	TM-500	TM-900	TM-1500	TL-1500	TM-3000	TL-3000
Volume (gals.)	568	956	1,611	1,615	3,117	3,133
Capacity (gals.)	530	904	1,517	1,523	3,000	3,016
Oxygen (cu. ft.)	61,000	104,000	174,600	175,300	345,200	347,100
Nitrogen (cu. ft.)	49,300	84,100	141,200	141,800	279,200	280,700
Argon (cu. ft.)	59,600	101,600	170,654	171,300	337,200	330,100
Maximum Working Pressure Container (psig)	250	250	250	125	250	83
Weight (lbs.)						
Empty	5,400	9,700	10,300	8,940	15,500	11,400
Oxygen	10,500	18,400	24,800	23,400	44,100	40,200
Nitrogen	9,100	15,800	20,600	19,200	35,800	31,900
Argon	11,700	20,300	28,000	28,600	50,400	46,500
Orientation	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Height (ft.-in.)	15-6	15-9	15-9	15-9	16-0	16-0

A-3. DATOS TÉCNICOS DE TANQUES CRIOGÉNICOS DE WHITE MARTINS

ESPECIFICACIONES SOBRE CONVERTIDORES ESTACIONARIOS

TIPO	PRESION (Kgf/cm ²)			PESO (Kg)				CAPAC. (LITROS)		CAPAC. EN GAS (m ³)			TEMP. TRAB. (°C)		VOL. CÁMARA VACUO (dm ³)	QUANT. DE ISOL. T ² (Kg)	ESPESES DE ISOL. T ² (mm)	TIPO DE ISOL. T ²	DENSIDADE COMPACTADA (Kg/L)	LEITURA DE VACUO (µHg)	AREA EXTER. CASCO (m ²)
	TRAB.	MIDRST.	TRAB.	WAC10	C/O ₂	C/N ₂	C/Ar	VOLUN.	CLORON.	V ₁	V ₂	Ar	MAX.	MIN.							
7T-20H	18.8	17.6	28.2	1353	2765	2285	3134	1215	1135	376	790	954	-196	-183	2425	228	273	PERLITA	0.89	100	13.98
7T-50H	19.1	17.6	28.5	2550	4788	4174	5258	2168	2010	1738	3488	1698	-196	-183	4675	421	275	PERLITA	0.89	100	22.81
7T-50H1	19.2	17.6	28.8	2488	4638	4024	5208	2148	2018	1738	3488	1698	-196	-183	4128	371	273	PERLITA	0.89	158	22.88
7T-90H	19.2	17.6	28.8	4388	8295	7855	9858	3638	3418	2948	2377	2868	-196	-183	7845	786	373	PERLITA	0.89	100	28.69
7T-150H	19.1	17.6	28.6	4888	11282	9422	12768	4888	5728	4938	3987	4818	-196	-183	1748	517	218	PERLITA	0.89	158	29.85
7T-150H1	19.2	17.6	28.6	5478	11872	10892	13428	4888	5728	4938	3987	4818	-196	-183	1442	582	195	PERLITA	0.89	158	29.78
7T-150H4L	19.1	17.6	28.6	2358	-	5988	18326	4888	5728	-	3987	4818	-196	-183	4978	448	281	PERLITA	0.89	158	31.27
7T-200H	19.2	17.6	28.6	7858	28823	16229	22874	11818	11268	9788	7914	9558	-196	-183	1873	619	253	PERLITA	0.89	158	39.61
7T-300H1	19.2	17.6	29.8	8738	21783	17989	24534	11818	11268	9788	7914	9558	-196	-183	9347	841	253	PERLITA	0.89	158	48.47
7T-300H4L	19.2	17.6	29.6	3788	-	12879	19524	11818	11268	-	7914	9558	-196	-183	7887	631	195	PERLITA	0.89	158	46.88
7T-620H	18.6	17.6	27.9	12588	27928	28486	43588	22798	22648	19166	15315	18728	-196	-183	9532	868	127	PERLITA	0.89	158	62.47
7T-600H4L	19.7	17.6	29.6	6588	-	24486	37588	22798	22648	-	15315	18728	-196	-183	15478	1392	192	PERLITA	0.89	158	78.32
7T-900H	19.6	17.6	29.5	16888	55274	44882	63738	34758	33698	29818	23482	28338	-196	-183	18978	1718	191	PERLITA	0.89	158	91.59
7T-1100H	18.6	17.6	27.9	21288	68852	54495	79385	42798	41648	35852	29823	35828	-196	-183	23512	2116	284	PERLITA	0.89	158	108.21
7T-1200H	18.6	17.6	27.9	22688	78878	62442	91238	38358	49218	42387	34313	41285	-196	-183	23823	2324	284	PERLITA	0.89	158	112.98
7L-200H	7.3	5.8	11.3	5178	18137	14345	20988	11858	11555	9788	7914	9558	-196	-183	1693	683	142	PERLITA	0.89	158	39.61
7L-600H	7.3	5.4	11.3	9398	34648	27225	48189	12758	22618	19848	15418	18595	-196	-183	8877	799	137	PERLITA	0.89	158	91.59
7L-1100H	6.8	4.3	10.1	13568	63112	49285	73564	42775	41648	35833	29823	35828	-196	-183	21842	1894	214	PERLITA	0.89	158	108.21
7L-1200H	6.8	4.3	10.1	17248	73468	57818	95817	58625	49238	42387	34313	41482	-196	-183	24569	2211	214	PERLITA	0.89	158	112.98



CIB-ESPOL

APENDICE B

EXTRACTO DE NORMAS ASME SECCIÓN 8, DIVISIÓN 1

I

B-1. NORMA UG-27

(6) The following additional requirements apply when castings (including those permitted in UG-11) are to be used in vessels to contain lethal substances (UW-2).

(a) Castings of cast iron (UCI-2) and cast ductile iron (UCD-2) are prohibited.

(b) Each casting of nonferrous material permitted by this Division shall be radiographed at all critical sections (see footnote 1, Appendix 7) without revealing any defects. The quality factor for nonferrous castings for lethal service shall not exceed 90%.

(c) Each casting of steel material permitted by this Division shall be examined per Appendix 7 for severe service applications [7-3(b)]. The quality factor for lethal service shall not exceed 100%.

(b) *Defects.* Imperfections defined as unacceptable by either the material specification or by Appendix 7, 7-3, whichever is more restrictive, are considered to be defects and shall be the basis for rejection of the casting. Where defects have been repaired by welding, the completed repair shall be subject to reexamination and, when required by either the rules of this Division or the requirements of the castings specification, the repaired casting shall be postweld heat treated and, to obtain a 90% or 100% quality factor, the repaired casting shall be stress relieved.

(c) *Identification and Marking.* Castings to which a quality factor of 90% or 100% is to be applied shall be marked with the manufacturer's and materials identification marking and, in addition, the quality factor shall be clearly stamped on the casting.

UG-25 CORROSION

(a) The user or his designated agent (see U-2) shall specify corrosion allowances other than those required by the rules of this Division. Where corrosion allowances are not provided, this fact shall be indicated on the Data Report.

(b) Vessels or parts of vessels subject to thinning by corrosion, erosion, or mechanical abrasion shall have provision made for the desired life of the vessel by a suitable increase in the thickness of the material over that determined by the design formulas, or by using some other suitable method of protection. (See Appendix E.)

NOTE: When using high alloys and nonferrous materials either for solid wall or clad or lined vessels, refer to UHA-6, UCL-3, and UNF-4, as appropriate.

(c) Material added for these purposes need not be of the same thickness for all parts of the vessel if different rates of attack are expected for the various parts.

(d) Except as required in UCS-25, no additional thickness need be provided when previous experience in like service has shown that corrosion does not occur or is of only a superficial nature.

(e) *Telltale Holes.* Telltale holes may be used to provide some positive indication when the thickness has been reduced to a dangerous degree. Telltale holes shall not be used in vessels which are to contain lethal substances [see UW-2(a)], except as permitted by ULW-76 for vent holes in layered construction. When telltale holes are provided, they shall have a diameter of $\frac{1}{16}$ in. to $\frac{3}{16}$ in. and have a depth not less than 80% of the thickness required for a seamless shell of like dimensions. These holes shall be provided in the opposite surface to that where deterioration is expected. [For telltale holes in clad or lined vessels, see UCL-25(b).]

(f) *Openings for Drain.* Vessels subject to corrosion shall be supplied with a suitable drain opening at the lowest point practicable in the vessel; or a pipe may be used extending inward from any other location to within $\frac{1}{4}$ in. of the lowest point.

UG-26 LININGS

Corrosion resistant or abrasion resistant linings, whether or not attached to the wall of a vessel, shall not be considered as contributing to the strength of the wall except as permitted in Part UCL (see Appendix F).

UG-27 THICKNESS OF SHELLS UNDER INTERNAL PRESSURE

(a) The thickness of shells under internal pressure shall be not less than that computed by the following formulas.¹⁴ In addition, provision shall be made for any of the other loadings listed in UG-22, when such loadings are expected. (See UG-16.)

(b) The symbols defined below are used in the formulas of this paragraph.

t = minimum required thickness of shell, in.

P = internal design pressure, psi (see UG-21) (or maximum allowable working pressure, see UG-98)

R = inside radius of the shell course under consideration,¹⁵ in.

¹⁴ Formulas in terms of the outside radius and for thicknesses and pressures beyond the limits fixed in this paragraph are given in 1-1 to 1-3.

¹⁵ For pipe, the inside radius R is determined by the nominal outside radius minus the nominal wall thickness.



B-2. NORMA UCS-23

given in Table 1A of Section II, Part stress values for pipe or tubes of welded manufacture are given in Table 1A of Section II, Part D.

UCS-10 BOLT MATERIALS

(a) Approved specifications for bolt materials of carbon steel and low alloy steel are given in Table UCS-23. A tabulation of allowable stress values at different temperatures (see UG-12) are given in Table 3 of Section II, Part D.

(b) Nonferrous and high alloy steel bolts, studs, and nuts may be used provided they are suitable for the application. They shall conform to the requirements of Part UNF or UHA, as applicable.

UCS-11 NUTS AND WASHERS

(a) Except as otherwise provided in (b)(4) below, materials for nuts shall conform to SA-194, SA-563, or to the requirements for nuts in the specification for the bolting material with which they are to be used. Nuts of special design, such as wing nuts, may be made of any suitable wrought material listed in Table UCS-23 or Table UHA-23 and shall be either: hot or cold forged; or machined from hot-forged, hot-rolled, or cold-drawn bars. Washers may be made from any suitable material listed in Table UCS-23 and Table UHA-23.

(b) Materials for nuts and washers shall be selected as follows.

- (1) Carbon steel nuts and carbon steel washers may be used with carbon steel bolts or studs.
- (2) Carbon or alloy steel nuts and carbon or alloy steel washers of approximately the same hardness as the nuts may be used with alloy steel bolts or studs for metal temperatures not exceeding 900°F.
- (3) Alloy steel nuts shall be used with alloy steel studs or bolts for metal temperatures exceeding 900°F. Washers, if used, shall be of alloy steel equivalent to the nut material.
- (4) Nonferrous nuts and washers may be used with ferrous bolts and studs provided they are suitable for the application. Consideration shall be given to the differences in thermal expansion and possible corrosion resulting from the combination of dissimilar metals. Nonferrous nuts and washers shall conform to the requirements of UNF-13.

(c) Nuts shall be semifinished, chamfered, and trimmed. Nuts shall be threaded to Class 2B or finer tolerances according to ANSI B1.1. For use with flanges conforming to the standards listed in UG-44, nuts shall

ie dimensions given in ANSI B18.2.2 for Heavy Series Nuts. For use with connections designed in accordance with the rules in Appendix 2, nuts may be of the ANSI Heavy Series, or they may be of other dimensions as permitted in (d) below.

(d) Nuts of special design or of dimensions other than ANSI Heavy Series may be used provided their strength is equal to that of the bolting, giving due consideration to bolt hole clearance, bearing area, thread form and class of fit, thread shear, and radial thrust from threads [see U-2(g)].

UCS-12 BARS AND SHAPES

(a) Approved specifications for bar and shape materials of carbon steel are given in Table UCS-23. A tabulation of allowable stress values at different temperatures are given in Table 1A of Section II, Part D.

(b) Bolt materials as described in UCS-10 may be used as bar materials.

(c) Parts made from bars, on which welding is done, shall be of material for which a P-Number for procedure qualification is given in Section IX, QW-422 (see UW-5).

DESIGN

UCS-16 GENERAL

The rules in the following paragraphs apply specifically to the design of pressure vessels and vessel parts that are constructed of carbon and low alloy steel and shall be used in conjunction with the general requirements for *Design* in Subsection A and with the specific requirements for *Design* in Subsection B that pertain to the method of fabrication used.

UCS-19 WELDED JOINTS

When radiographic examination is required for butt welded joints by UCS-57, joints of Categories A and B (see UW-3) shall be of Type No. (1) or No. (2) of Table UW-12.

UCS-23 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES

Tables 3 (for bolting) and 1A (other materials) in Section II, Part D give the maximum allowable stress values at the temperature indicated for materials con-



forming to the specifications listed therein.² Values may be interpolated for intermediate temperatures. (See UG-23.) For vessels designed to operate at a temperature below -20°F, the allowable stress values to be used in design shall not exceed those given in Table 3 or 1A in Section II, Part D for 100°F.

UCS-25 CORROSION ALLOWANCE

Vessels with a required minimum thickness of less than $\frac{1}{4}$ in. that are to be used in compressed air service,³ steam service, or water service shall be provided with a corrosion allowance on the metal surface in contact with such substance of not less than one-sixth of the required minimum thickness except that the sum of the required minimum thickness and corrosion allowance need not exceed $\frac{1}{4}$ in. This requirement does not apply to vessel parts containing a longitudinal joint designed in accordance with UW-12(c), or to seamless vessel parts designed with $E = 0.85$. Corrosion allowance does not apply to tubes in shell-and-tube heat exchangers. No applied linings except as provided by Part UCL shall be acceptable in lieu of the above requirement.

UCS-27 SHELLS MADE FROM PIPE

(a) Shells of pressure vessels may be made from seamless pipe or tubing listed in Table 1A of Section II, Part D provided the material of the pipe is manufactured by the open-hearth, basic oxygen, or electric-furnace process.

(b) Shells of pressure vessels may be made from electric resistance welded pipe or tubing listed in Table 1A of Section II, Part D in nominal diameters up to 30 in. provided the material is manufactured by the open-hearth, basic oxygen, or electric-furnace process [see UG-16(d)].

UCS-28 THICKNESS OF SHELLS UNDER EXTERNAL PRESSURE

(a) Cylindrical and spherical shells under external pressure shall be designed by the rules in UG-28, using the applicable figures in Subpart 3 of Section II, Part D and the temperature limits of UG-20(c).

²See Appendix 1 of Section II, Part D for the basis on which the allowable stress values have been established.

³Compressed air as used in this paragraph is not intended to include air which has had moisture removed to the degree that it has an atmospheric dew point of -50°F or less.

(b) Examples illustrating the use of the charts in the figures for the design of vessels under external pressure are given in Appendix L.

(c) Corrugated shells subject to external pressure may be used in pressure vessels in accordance with PFT-19 of Section I.

UCS-29 STIFFENING RINGS FOR SHELLS UNDER EXTERNAL PRESSURE

Rules covering the design of stiffening rings are given in UG-29. An example illustrating the use of these rules is given in Appendix L.

UCS-30 ATTACHMENT OF STIFFENING RINGS TO SHELL

Rules covering the attachment of stiffening rings are given in UG-30.

UCS-33 FORMED HEADS, PRESSURE ON CONVEX SIDE

Ellipsoidal, torispherical, hemispherical, and conical heads having pressure on the convex side (minus heads) shall be designed by the rules of UG-33, using Fig. CS-1 or Fig. CS-2 of Subpart 3 of Section II, Part D. Examples illustrating the application of this paragraph are given in Appendix L.

UCS-56 REQUIREMENTS FOR POSTWELD HEAT TREATMENT

(a) Before applying the detailed requirements and exemptions in these paragraphs, satisfactory weld procedure qualifications of the procedures to be used shall be performed in accordance with all the essential variables of Section IX including conditions of postweld heat treatment or lack of postweld heat treatment and including other restrictions listed below.

Except as otherwise specifically provided in the notes to Table UCS-56 and Table UCS-56.1, all welded pressure vessels or pressure vessel parts shall be given a postweld heat treatment at a temperature not less than specified in those Tables when the nominal thickness, as defined in UW-40(f), including corrosion allowance, of any welded joint in the vessel or vessel part exceeds the limits in those Tables. The exemptions provided in Table UCS-56 or Table UCS-56.1 are not permitted when postweld heat treatment is a service requirement as set forth in UCS-68, when welding ferritic materials



B-3. NORMAS UW- 11,12,27

graphs, fillet welds shall be added where necessary to reduce stress concentration. Corner joints, with fillet welds only, shall not be used unless the plates forming the corner are properly supported independently of such welds. (See UW-18.)

(g) *Minimum Weld Sizes.* Sizing of fillet and partial penetration welds shall take into consideration the loading conditions in UG-22 but shall not be less than the minimum sizes specified elsewhere in this Division.

UW-10 POSTWELD HEAT TREATMENT

Pressure vessels and pressure vessel parts shall be postweld heat treated as prescribed in UW-40 when postweld heat treatment is required in the applicable part of Subsection C.

UW-11 RADIOGRAPHIC AND ULTRASONIC EXAMINATION

(a) *Full Radiography.* The following welded joints shall be examined radiographically for their full length in the manner prescribed in UW-51:

(1) all butt welds in the shell and heads of vessels used to contain lethal substances [see UW-2(a)];

(2) all butt welds in vessels in which the least nominal thickness at the welded joint exceeds $1\frac{1}{2}$ in., or exceeds the lesser thicknesses prescribed in UCS-57, UNF-57, UHA-33, UCL-35, or UCL-36 for the materials covered therein, or as otherwise prescribed in UHT-57, ULW-51, ULW-52(d), ULW-54, or ULT-57; however, except as required by UHT-57(a), Categories B and C butt welds in nozzles and communicating chambers that neither exceed NPS 10 nor $1\frac{1}{8}$ in. wall thickness do not require any radiographic examination;

(3) all butt welds in the shell and heads of unfired steam boilers having design pressures exceeding 50 psi [see UW-2(c)];

(4) all butt welds in nozzles, communicating chambers, etc., attached to vessel sections or heads that are required to be fully radiographed under (1) or (3) above; however, except as required by UHT-57(a), Categories B and C butt welds in nozzles and communicating chambers that neither exceed NPS 10 nor $1\frac{1}{8}$ in. wall thickness do not require any radiographic examination;

(5) all Category A and D butt welds in vessel sections and heads where the design of the joint or part is based on a joint efficiency permitted by UW-12(a), in which case:

(a) Category A and B welds connecting the vessel sections or heads shall be of Type No. (1) or Type No. (2) of Table UW-12;

(b) Category B or C butt welds [but not including those in nozzles or communicating chambers except as required in (2) above] which intersect the Category A butt welds in vessel sections or heads or connect seamless vessel sections or heads shall, as a minimum, meet the requirements for spot radiography in accordance with UW-52. Spot radiographs required by this paragraph shall not be used to satisfy the spot radiography rules as applied to any other weld increment.

(6) all butt welds joined by electrogas welding with any single pass greater than $1\frac{1}{2}$ in. and all butt welds joined by electroslog welding;

(7) ultrasonic examination in accordance with UW-53 may be substituted for radiography for the final closure seam of a pressure vessel if the construction of the vessel does not permit interpretable radiographs in accordance with Code requirements. The absence of suitable radiographic equipment shall not be justification for such substitution.

(8) exemptions from radiographic examination for certain welds in nozzles and communicating chambers as described in (2), (4), and (5) above take precedence over the radiographic requirements of Subsection C of this Division.

(b) *Spot Radiography.* Except as required in (a)(5)(b) above, butt welded joints made in accordance with Type No. (1) or (2) of Table UW-12 which are not required to be fully radiographed by (a) above, may be examined by spot radiography. Spot radiography shall be in accordance with UW-52. If spot radiography is specified for the entire vessel, radiographic examination is not required of Category B and C butt welds in nozzles and communicating chambers that exceed neither NPS 10 nor $1\frac{1}{8}$ in. wall thickness.

NOTE: This requirement specifies spot radiography for butt welds of Type No. (1) or No. (2) that are used in a vessel, but does not preclude the use of fillet and/or corner welds permitted by other paragraphs, such as for nozzle and manhole attachments, welded stays, flat heads, etc., which need not be spot radiographed.

(c) *No Radiography.* Except as required in (a) above, no radiographic examination of welded joints is required when the vessel or vessel part is designed for external pressure only, or when the joint design complies with UW-12(c).

(d) Electro gas welds in ferritic materials with any single pass greater than $1\frac{1}{2}$ in. and electroslog welds in ferritic materials shall be ultrasonically examined throughout their entire length in accordance with the requirements of Appendix 12. This ultrasonic examina-



tion shall be done following the grain refining (austenitizing) heat treatment or postweld heat treatment.

(e) In addition to the requirements in (a) and (b) above, all welds made by the electron beam process shall be ultrasonically examined for their entire length in accordance with the requirements of Appendix 12.

(f) When radiography is required for a welded joint in accordance with (a) and (b) above, and the weld is made by the inertia and continuous drive friction welding processes, the welded joints shall also be ultrasonically examined for their entire length in accordance with Appendix 12.

UW-12 JOINT EFFICIENCIES

Table UW-12 gives the joint efficiencies E to be used in the formulas of this Division for joints completed by an arc or gas welding process. Except as required by UW-11(a)(5), a joint efficiency depends only on the type of joint and on the degree of examination of the joint and does not depend on the degree of examination of any other joint. The User or his designated agent [see U-2(a)] shall establish the type of joint and the degree of examination when the rules of this Division do not mandate specific requirements. Rules for determining the applicability of the efficiencies are found in the various paragraphs covering design formulas [for example, see UG-24(a) and UG-27]. For further guidance, see Appendix L.

(a) A value of E not greater than that given in column (a) of Table UW-12 shall be used in the design calculations for fully radiographed butt joints [see UW-11(a)], except that when the requirements of UW-11(a)(5) are not met, a value of E not greater than that given in column (b) of Table UW-12 shall be used.

(b) A value of E not greater than that given in column (b) of Table UW-12 shall be used in the design calculations for spot radiographed butt welded joints [see UW-11(b)].

(c) A value of E not greater than that given in column (c) of Table UW-12 shall be used in the design calculations for welded joints that are neither fully radiographed nor spot radiographed [see UW-11(c)].

(d) Seamless vessel sections or heads shall be considered equivalent to welded parts of the same geometry in which all Category A welds are Type No. 1. For calculations involving circumferential stress in seamless vessel sections or for thickness of seamless heads, $E = 1.0$ when the spot radiography requirements of UW-11(a)(5)(b) are met. $E = 0.85$ when the spot radiography requirements of UW-11(a)(5)(b) are not met, or when

the Category A or B welds connecting seamless vessel sections or heads are Type No. 3, 4, 5, or 6 of Table UW-12.

(e) Welded pipe or tubing shall be treated in the same manner as seamless, but with allowable tensile stress taken from the welded product values of the stress tables, and the requirements of UW-12(d) applied.

(f) A value of E not greater than 0.80 may be used in the formulas of this Division for joints completed by any of the pressure welding processes given in UW-27(b), except for electric resistance welding, provided the welding process used is permitted by the rules in the applicable parts of Subsection C for the material being welded. The quality of such welds used in vessels or parts of vessels shall be proved as follows: Test specimens shall be representative of the production welding on each vessel. They may be removed from the shell itself or from a prolongation of the shell including the longitudinal joint, or, in the case of vessels not containing a longitudinal joint, from a test plate of the same material and thickness as the vessel and welded in accordance with the same procedure. One reduced-section tension test and two side-bend tests shall be made in accordance with, and shall meet the requirements of QW-150 and QW-160, Section IX.

UW-13 ATTACHMENT DETAILS

(a) Definitions

t_h = nominal thickness of head, exclusive of corrosion allowance, in.

t_p = minimum distance from outside surface of flat head to edge of weld preparation measured as shown in Fig. UW-13.2, in.

t_s = nominal thickness of shell, exclusive of corrosion allowance, in.

(See UG-27, UG-28, UG-32, UG-34, and other paragraphs for additional definitions.)

(b)(1) Ellipsoidal, torispherical, and other types of formed heads, shall be attached to the shell as illustrated in the applicable Fig. UW-13.1 sketches (a), (b), (c), (d), (e), and (k). The construction shown in sketch (f) may also be used for end heads when the thickness of the shell section of the vessel does not exceed $\frac{5}{8}$ in. [see also (c) below]. Limitations relative to the use of these attachments shall be as given in the sketches and related notes and in Table UW-12. Figure UW-13.1 sketches (g), (h), and (j) are examples of attachment methods which are not permissible.

(2) Formed heads, concave or convex to the pressure, shall have a skirt length not less than that shown in Fig. UW-13.1, using the applicable sketch. Heads



S_t = allowable stress of the material to which the tube is welded, psi (see S , above)

S_w = allowable stress in weld, psi (lesser of S_a or S_t , above)

UW-20(c) The minimum weld leg size for strength welds shall be calculated as follows:

$$a_{fm} = \sqrt{0.56 d_o^2 + 3.06t(d_o - t)f_w(1 - f_{rk})} - 0.75d_o$$

$$a_{gm} = \sqrt{0.56 d_o^2 + 2.03t(d_o - t)f_w f_{rk}} - 0.75d_o$$

When $a_f = a_g$,

$$a_{fm} \approx a_{gm} = \sqrt{0.56 d_o^2 + 1.22t(d_o - t)f_w} - 0.75d_o$$

UW-20(c)(1) for Fig. UW-20 sketch (a), $f_{rk} = 0$;

UW-20(c)(2) for Fig. UW-20 sketch (b), $f_{rk} = 1$;

UW-20(c)(3) for Fig. UW-20 sketch (c), $a_f = a_g$;

UW-20(c)(4) for Fig. UW-20 sketch (d), where $a_f \neq a_g$, choose f_{rk} , calculate a_{fm} and a_{gm} .

FABRICATION

UW-26 GENERAL

(a) The rules in the following paragraphs apply specifically to the fabrication of pressure vessels and vessel parts that are fabricated by welding and shall be used in conjunction with the general requirements for *Fabrication* in Subsection A, and with the specific requirements for *Fabrication* in Subsection C that pertain to the class of material used.

(b) Each Manufacturer or parts Manufacturer shall be responsible for the quality of the welding done by his organization and shall conduct tests not only of the welding procedure to determine its suitability to ensure welds which will meet the required tests, but also of the welders and welding operators to determine their ability to apply the procedure properly.

(c) No production welding shall be undertaken until after the welding procedures which are to be used have been qualified. Only welders and welding operators who are qualified in accordance with Section IX shall be used in production.

(d) Welders⁵ not in the employ of the Manufacturer (Certificate of Authorization Holders) may be used to fabricate pressure vessels constructed in accordance with this Division, provided all the following conditions are met.

⁵Welder includes brazer, welding and brazing operator.

(1) All Code construction shall be the responsibility of the Manufacturer.

(2) All welding shall be performed in accordance with the Manufacturer's welding procedure specifications which have been qualified by the Manufacturer in accordance with the requirements of Section IX.

(3) All welders shall be qualified by the Manufacturer in accordance with the requirements of Section IX.

(4) The Manufacturer's Quality Control System shall include as a minimum:

(a) a requirement for complete and exclusive administrative and technical supervision of all welders by the Manufacturer;

(b) evidence of the Manufacturer's authority to assign and remove welders at his discretion without involvement of any other organization;

(c) a requirement for Assignment of Welder Identification symbols;

(d) evidence that this program has been accepted by the Manufacturer's Authorized Inspection Agency which provides the inspection service.

(5) The Manufacturer shall be responsible for Code compliance of the vessel or part, including Code Symbol stamping and providing Data Report Forms properly executed and countersigned by the Inspector.

UW-27 WELDING PROCESSES

The welding processes that may be used in the construction of vessels under this Part of this Division are restricted as follows.

(a) Arc or gas welding processes are restricted to shielded metal arc, submerged arc, gas metal arc, gas tungsten arc, plasma arc, atomic hydrogen metal arc, oxyfuel gas welding, electroslag, electrogas, electron beam, and laser beam. No mechanical pressure or blows shall be applied except as permitted for peening in UW-39.

(b) Pressure welding processes are restricted to flash, induction, resistance, pressure thermit, explosive,⁶ pressure gas, and inertia and continuous drive friction welding.

(c) Definitions are given in Section IX which include variations of these processes.

(d) Arc stud welding and resistance stud welding may be used only for non-pressure-bearing attachments, having a load or non-load-carrying function, except for material listed in Table UHT-23 provided that, in the

⁶explosive welding — a solid state welding process wherein coalescence is produced by the application of pressure by means of an explosion.



less than 2 in. and shall have a maximum clear spacing between toes of adjacent weld segments of $8t$ for external rings and $12t$ for internal rings where t is the shell thickness at the attachment. The total length of weld on each side of the stiffening ring shall be:

- (1) not less than one-half the outside circumference of the vessel for rings on the outside; and
- (2) not less than one-third the circumference of the vessel for rings on the inside.

(d) A continuous full penetration weld is permitted as shown in sketch (e) of Fig. UG-30. Continuous fillet welding or brazing on one side of the stiffener with intermittent welding or brazing on the other side is permitted for sketches (a), (b), (c), and (d) of Fig. UG-30 when the thickness t_w of the outstanding stiffener element [sketches (a) and (c)] or width w of the stiffener element mating to the shell [sketches (b) and (d)] is not more than 1 in. The weld segments shall be not less than 2 in. long and shall have a maximum clear spacing between toes of adjacent weld segments of $24t$.

(e) *Strength of Attachment Welds.* Stiffener ring attachment welds shall be sized to resist the full radial pressure load from the shell between stiffeners, and shear loads acting radially across the stiffener caused by external design loads carried by the stiffener (if any) and a computed radial shear equal to 2% of the stiffener ring's compressive load. See Example L-5 of Appendix L.

(1) The radial pressure load from shell, lb/in., is equal to PL_s .

(2) The radial shear load, lb, is equal to $0.01PL_sD_o$.

(3) P , L_s , and D_o are defined in UG-29.

(f) *Minimum Size of Attachment Welds.* The fillet weld leg size shall be not less than the smallest of the following:

- (1) $\frac{1}{4}$ in.;
- (2) vessel thickness at the weld location;
- (3) stiffener thickness at weld location.

UG-31 TUBES, AND PIPE WHEN USED AS TUBES OR SHELLS

(a) *Internal Pressure.* The required wall thickness for tubes and pipe under internal pressure shall be determined in accordance with the rules for shells in UG-27.

(b) *External Pressure.* The required wall thickness for tubes and pipe under external pressure shall be determined in accordance with the rules in UG-28.

(c) The thickness as determined under (a) or (b) above shall be increased when necessary to meet the following requirements.

(1) Additional wall thickness should be provided when corrosion, erosion, or wear due to cleaning operations is expected.

(2) Where tube ends are threaded, additional wall thickness is to be provided in the amount of $0.8/n$ in. (where n equals the number of threads per inch).

NOTE: The requirements for rolling, expanding, or otherwise seating tubes in tube plates may require additional wall thickness and careful choice of materials because of possible relaxation due to differential expansion stresses.

UG-32 FORMED HEADS, AND SECTIONS, PRESSURE ON CONCAVE SIDE

(a) The required thickness at the thinnest point after forming¹⁸ of ellipsoidal, torispherical, hemispherical, conical, and toriconical heads under pressure on the concave side (plus heads) shall be computed by the appropriate formulas in this paragraph¹⁹ (see UG-16). In addition, provision shall be made for any of the other loadings given in UG-22.

(b) The thickness of an unstayed ellipsoidal or torispherical head shall in no case be less than the required thickness of a seamless hemispherical head divided by the efficiency of the head-to-shell joint.

(c) The symbols defined below are used in the formulas of this paragraph:

t = minimum required thickness of head after forming, in.

P = internal design pressure, psi (see UG-21) (or maximum allowable working pressure for existing vessels, see UG-98)

D = inside diameter of the head skirt; or inside length of the major axis of an ellipsoidal head; or inside diameter of a conical head at the point under consideration, measured perpendicular to the longitudinal axis, in.

D_i = inside diameter of the conical portion of a toriconical head at its point of tangency to the

¹⁸ In order to ensure that a finished head is not less than the minimum thickness required, it is customary to use a thicker plate to take care of possible thinning during the process of forming. The neck of an opening in a head with an integrally flanged opening will thin out due to the fluing operation. This is permissible provided the neck thickness is not less than the thickness required for a cylindrical shell subject to internal and/or external pressure, as applicable, and having a diameter equal to the maximum diameter of the opening [see UG-38(a) and UG-46(j)].

¹⁹ Formulas in terms of outside dimensions and for heads of other proportions are given in I-4 together with illustrative examples.

knuckle, measured perpendicular to the axis of the cone, in.

$$= D - 2r(1 - \cos\alpha)$$

r = inside knuckle radius, in.

S = maximum allowable stress value in tension as given in the tables referenced in UG-23, psi, except as limited in UG-24 and (e) below.

E = lowest efficiency of any joint in the head; for hemispherical heads this includes head-to-shell joint; for welded vessels, use the efficiency specified in UW-12

L = inside spherical or crown radius, in.

α = one-half of the included (apex) angle of the cone at the center line of the head (see Fig. 1-4)

(d) *Ellipsoidal Heads*. The required thickness of a dished head of semiellipsoidal form, in which half the minor axis (inside depth of the head minus the skirt) equals one-fourth of the inside diameter of the head skirt, shall be determined by

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{D + 0.2t} \quad (1)$$

An acceptable approximation of a 2:1 ellipsoidal head is one with a knuckle radius of $0.17D$ and a spherical radius of $0.90D$.

(e) *Torispherical Heads*. The required thickness of a torispherical head for the case in which the knuckle radius is 6% of the inside crown radius and the inside crown radius equals the outside diameter of the skirt, [see (j) below], shall be determined by

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t} \quad (2)$$

Torispherical heads made of materials having a specified minimum tensile strength exceeding 80,000 psi shall be designed using a value of S equal to 20,000 psi at room temperature and reduced in proportion to the reduction in maximum allowable stress values at temperature for the material (see UG-23).

(f) *Hemispherical Heads*. When the thickness of a hemispherical head does not exceed $0.356L$, or P does not exceed $0.665SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{L + 0.2t} \quad (3)$$

(g) *Conical Heads and Sections (Without Transition Knuckle)*. The required thickness of conical heads or conical shell sections that have a half apex-angle α not greater than 30 deg. shall be determined by

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha} \quad (4)$$

A reinforcing ring shall be provided when required by the rule in 1-5(d) and (e).

Conical heads or sections having a half apex-angle α greater than 30 deg. without a transition knuckle shall comply with Formula (4) and 1-5(g).

(h) *Toriconical Heads and Sections*. The required thickness of the conical portion of a toriconical head or section, in which the knuckle radius is neither less than 6% of the outside diameter of the head skirt nor less than three times the knuckle thickness, shall be determined by Formula (4) in (g) above, using D_i in place of D .

The required thickness of the knuckle shall be determined by Formula (3) of 1-4(d) in which

$$L = \frac{D_i}{2 \cos \alpha}$$

Toriconical heads or sections may be used when the angle $\alpha \leq 30$ deg. and are mandatory for conical head designs when the angle α exceeds 30 deg., unless the design complies with 1-5(g).

(i) When an ellipsoidal, torispherical, hemispherical, conical, or toriconical head is of a lesser thickness than required by the rules of this paragraph, it shall be stayed as a flat surface according to the rules of UG-47 for braced and stayed flat plates.

(j) The inside crown radius to which an unstayed head is dished shall be not greater than the outside diameter of the skirt of the head. The inside knuckle radius of a torispherical head shall be not less than 6% of the outside diameter of the skirt of the head but in no case less than 3 times the head thickness.

(k) A dished head with a reversed skirt may be used in a pressure vessel provided the maximum allowable working pressure for the head is established in accordance with the requirements of UG-101.

(l) All formed heads, thicker than the shell and concave to pressure, intended for butt welded attachment, shall have a skirt length sufficient to meet the requirements of Fig. UW-13.1, when a tapered transition is required. All formed heads concave to pressure and intended for butt welded attachment need not have an integral skirt when the thickness of the head is equal to or less than the thickness of the shell. When a skirt is provided, its thickness shall be at least that required for a seamless shell of the same diameter.

(m) Heads concave to pressure, intended for attachment by brazing, shall have a skirt length sufficient



S = maximum allowable stress value, psi (see UG-23 and the stress limitations specified in UG-24)

E = joint efficiency for, or the efficiency of, appropriate joint in cylindrical or spherical shells, or the efficiency of ligaments between openings, whichever is less.

For welded vessels, use the efficiency specified in UW-12.

For ligaments between openings, use the efficiency calculated by the rules given in UG-53.

(c) *Cylindrical Shells.* The minimum thickness or maximum allowable working pressure of cylindrical shells shall be the greater thickness or lesser pressure as given by (1) or (2) below.

(1) *Circumferential Stress (Longitudinal Joints).* When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $0.385SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (1)$$

(2) *Longitudinal Stress (Circumferential Joints).*¹⁶ When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $1.25SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (2)$$

(d) *Spherical Shells.* When the thickness of the shell of a wholly spherical vessel does not exceed $0.356R$, or P does not exceed $0.665SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R + 0.2t} \quad (3)$$

(e) When necessary, vessels shall be provided with stiffeners or other additional means of support to prevent overstress or large distortions under the external loadings listed in UG-22 other than pressure and temperature.

¹⁶ These formulas will govern only when the circumferential joint efficiency is less than one-half the longitudinal joint efficiency, or when the effect of supplementary loadings (UG-22) causing longitudinal bending or tension in conjunction with internal pressure is being investigated. An example illustrating this investigation is given in L-2.1 and L-2.2.

(f) A stayed jacket shell that extends completely around a cylindrical or spherical vessel shall also meet the requirements of UG-47(c).

(g) Any reduction in thickness within a shell course or spherical shell shall be in accordance with UW-9.

UG-28 THICKNESS OF SHELLS AND TUBES UNDER EXTERNAL PRESSURE

(a) Rules for the design of shells and tubes under external pressure given in this Division are limited to cylindrical shells, with or without stiffening rings, tubes, and spherical shells. Three typical forms of cylindrical shells are shown in Fig. UG-28. Charts used in determining minimum required thicknesses of these components are given in Subpart 3 of Section II, Part D.

(b) The symbols defined below are used in the procedures of this paragraph:

A = factor determined from Fig. G in Subpart 3 of Section II, Part D and used to enter the applicable material chart in Subpart 3 of Section II, Part D. For the case of cylinders having D_o/t values less than 10, see UG-28(c)(2).

B = factor determined from the applicable material chart in Subpart 3 of Section II, Part D for maximum design metal temperature, psi [see UG-20(c)]

D_o = outside diameter of cylindrical shell course or tube, in.

E = modulus of elasticity of material at design temperature, psi. For external pressure design in accordance with this Section, the modulus of elasticity to be used shall be taken from the applicable materials chart in Subpart 3 of Section II, Part D.¹⁷ (Interpolation may be made between lines for intermediate temperatures.)

L = total length, in., of a tube between tubesheets, or design length of a vessel section between lines of support (see Fig. UG-28.1). A line of support is:

(1) a circumferential line on a head (excluding conical heads) at one-third the depth of the head from the head tangent line as shown on Fig. UG-28;

(2) a stiffening ring that meets the requirements of UG-29;

(3) a jacket closure of a jacketed vessel that meets the requirements of 9-5;

¹⁷ Note that the modulus of elasticity values listed in UF-27 of this Division shall not be used for external pressure design.



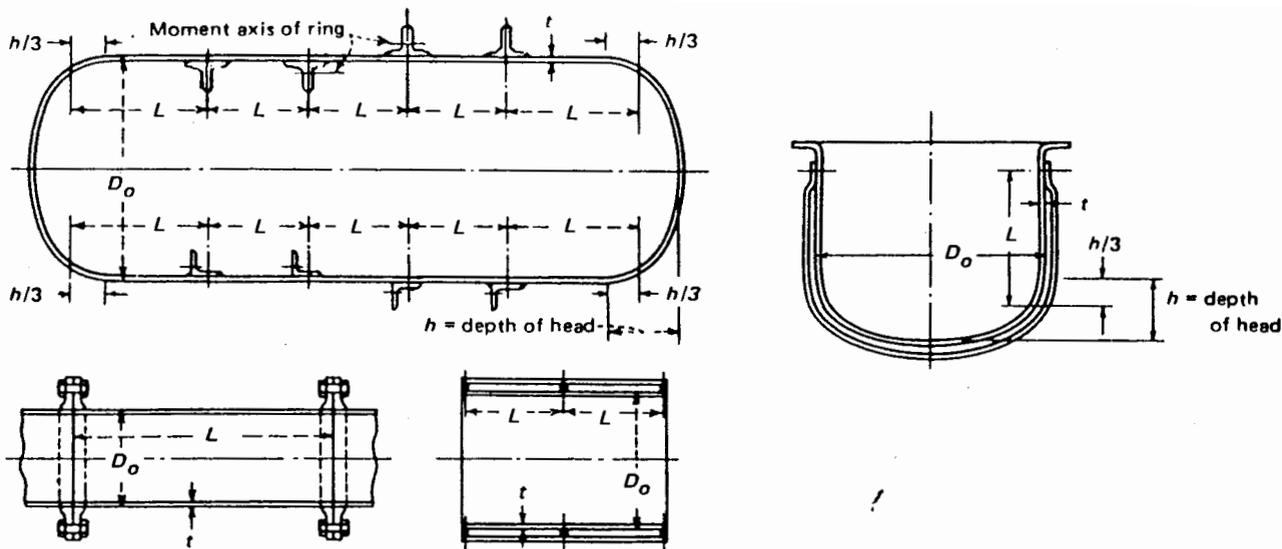


FIG. UG-26 DIAGRAMMATIC REPRESENTATION OF VARIABLES FOR DESIGN OF CYLINDRICAL VESSELS
SUBJECTED TO EXTERNAL PRESSURE

(4) a cone-to-cylinder junction or a knuckle-to-cylinder junction of a toriconical head or section which satisfies the moment of inertia requirement of 1-8.

P = external design pressure, psi [see Note in UG-28(f)]

P_a = calculated value of maximum allowable external working pressure for the assumed value of t , psi [see Note in (f) below]

R_o = outside radius of spherical shell, in.

t = minimum required thickness of cylindrical shell or tube, or spherical shell, in.

t_s = nominal thickness of cylindrical shell or tube, in.

(c) *Cylindrical Shells and Tubes.* The required minimum thickness of a cylindrical shell or tube under external pressure, either seamless or with longitudinal butt joints, shall be determined by the following procedure.

(1) Cylinders having D_o/t values ≥ 10 :

Step 1. Assume a value for t and determine the ratios L/D_o and D_o/t .

Step 2. Enter Fig. G in Subpart 3 of Section II, Part D at the value of L/D_o determined in Step 1. For values of L/D_o greater than 50, enter the chart at a value of $L/D_o = 50$. For values of L/D_o less than 0.05, enter the chart at a value of $L/D_o = 0.05$.

Step 3. Move horizontally to the line for the value of D_o/t determined in Step 1. Interpolation may be

made for intermediate values of D_o/t . From this point of intersection move vertically downward to determine the value of factor A .

Step 4. Using the value of A calculated in Step 3, enter the applicable material chart in Subpart 3 of Section II, Part D for the material under consideration. Move vertically to an intersection with the material/temperature line for the design temperature (see UG-20). Interpolation may be made between lines for intermediate temperatures.

In cases where the value of A falls to the right of the end of the material/temperature line, assume an intersection with the horizontal projection of the upper end of the material/temperature line. For values of A falling to the left of the material/temperature line, see Step 7.

Step 5. From the intersection obtained in Step 4, move horizontally to the right and read the value of factor B .

Step 6. Using this value of B , calculate the value of the maximum allowable external working pressure P_a using the following formula:

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$



CIB-ESPOL

Step 7. For values of A falling to the left of the applicable material/temperature line, the value of P_a can be calculated using the following formula:

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$$

Step 8. Compare the calculated value of P_a obtained in Steps 6 or 7 with P . If P_a is smaller than P , select a larger value for t and repeat the design procedure until a value of P_a is obtained that is equal to or greater than P . An example illustrating the use of this procedure is given in L-3(a).

(2) Cylinders having D_o/t values <10 :

Step 1. Using the same procedure as given in UG-28(c)(1), obtain the value of B . For values of D_o/t less than 4, the value of factor A can be calculated using the following formula:

$$A = \frac{1.1}{(D_o/t)^2}$$

For values of A greater than 0.10, use a value of 0.10.

Step 2. Using the value of B obtained in Step 1, calculate a value P_{a1} using the following formula:

$$P_{a1} = \left[\frac{2.167}{(D_o/t)} - 0.0833 \right] B$$

Step 3. Calculate a value P_{a2} using the following formula:

$$P_{a2} = \frac{2S}{D_o/t} \left[1 - \frac{1}{D_o/t} \right]$$

where S is the lesser of two times the maximum allowable stress value in tension at design metal temperature, from the applicable table referenced in UG-23, or 0.9 times the yield strength of the material at design temperature. Values of yield strength are obtained from the applicable external pressure chart as follows:

(a) For a given temperature curve, determine the B value that corresponds to the right hand side termination point of the curve.

(b) The yield strength is twice the B value obtained in (a) above.

Step 4. The smaller of the values of P_{a1} calculated in Step 2, or P_{a2} calculated in Step 3 shall be used for the maximum allowable external working pressure P_a . Compare P_a with P . If P_a is smaller than P , select a larger value for t and repeat the design procedure

until a value for P_a is obtained that is equal to or greater than P .

(d) *Spherical Shells*. The minimum required thickness of a spherical shell under external pressure, either seamless or of built-up construction with butt joints, shall be determined by the following procedure:

Step 1. Assume a value for t and calculate the value of factor A using the following formula:

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)}$$

Step 2. Using the value of A calculated in Step 1, enter the applicable material chart in Subpart 3 of Section II, Part D for the material under consideration. Move vertically to an intersection with the material/temperature line for the design temperature (see UG-20). Interpolation may be made between lines for intermediate temperatures.

In cases where the value at A falls to the right of the end of the material/temperature line, assume an intersection with the horizontal projection of the upper end of the material/temperature line. For values at A falling to the left of the material/temperature line, see Step 5.

Step 3. From the intersection obtained in Step 2, move horizontally to the right and read the value of factor B .

Step 4. Using the value of B obtained in Step 3, calculate the value of the maximum allowable external working pressure P_a using the following formula:

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)}$$

Step 5. For values of A falling to the left of the applicable material/temperature line, the value of P_a can be calculated using the following formula:

$$P_a = \frac{0.0625E}{(R_o/t)^2}$$

Step 6. Compare P_a obtained in Steps 4 or 5 with P . If P_a is smaller than P , select a larger value for t and repeat the design procedure until a value for P_a is obtained that is equal to or greater than P . An example illustrating the use of this procedure is given in L-3(b).

(e) The external design pressure or maximum allowable external working pressure shall not be less than the maximum expected difference in operating pressure



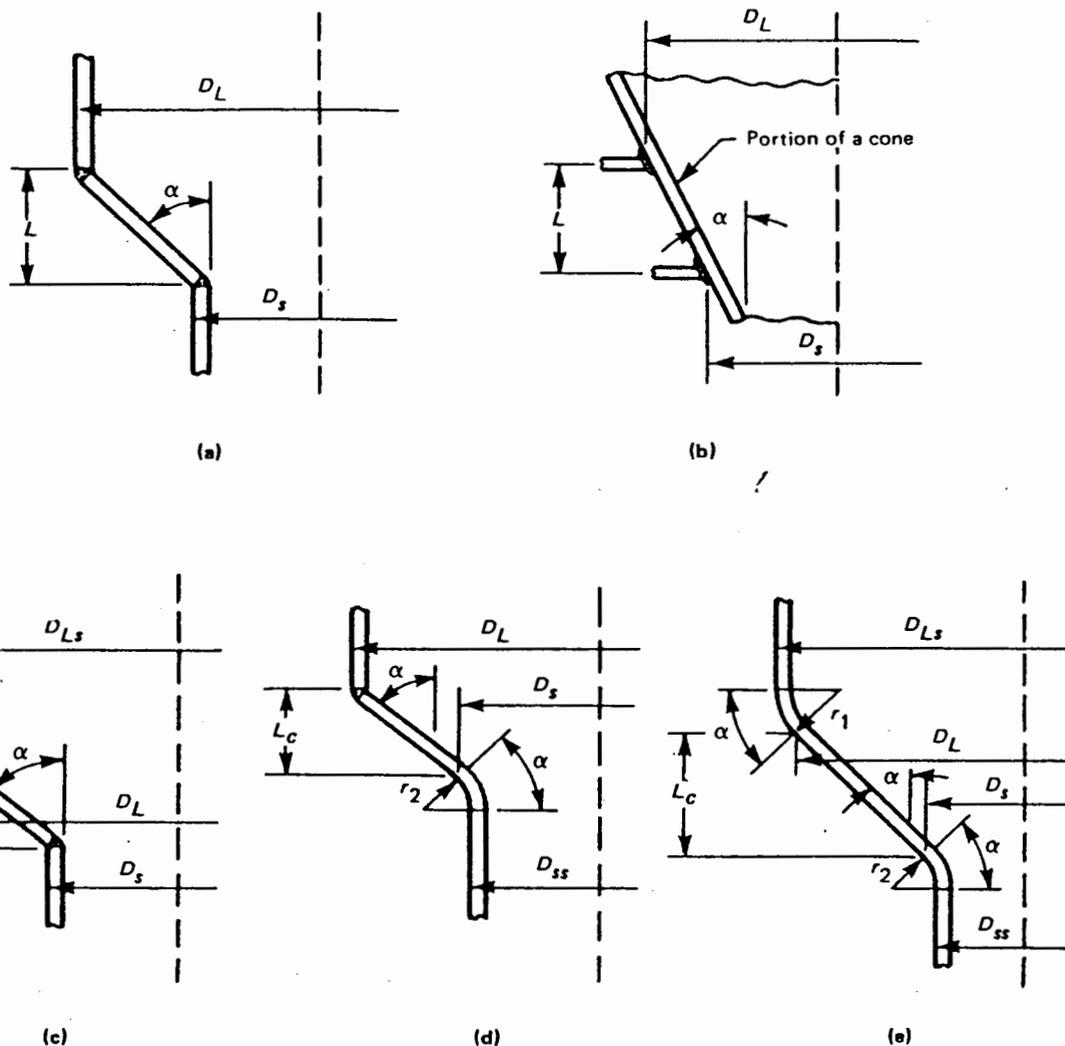


FIG. UG-33.1 LENGTH L OF SOME TYPICAL CONICAL SECTIONS FOR EXTERNAL PRESSURE

shell. An example illustrating the use of this procedure is given in L-6.3.

(d) *Ellipsoidal Heads.* The required thickness of an ellipsoidal head having pressure on the convex side, either seamless or of built-up construction with butt joints, shall not be less than that determined by the following procedure.

Step 1. Assume a value for t and calculate the value of factor A using the following formula:

$$A = \frac{0.125}{R_o/t}$$

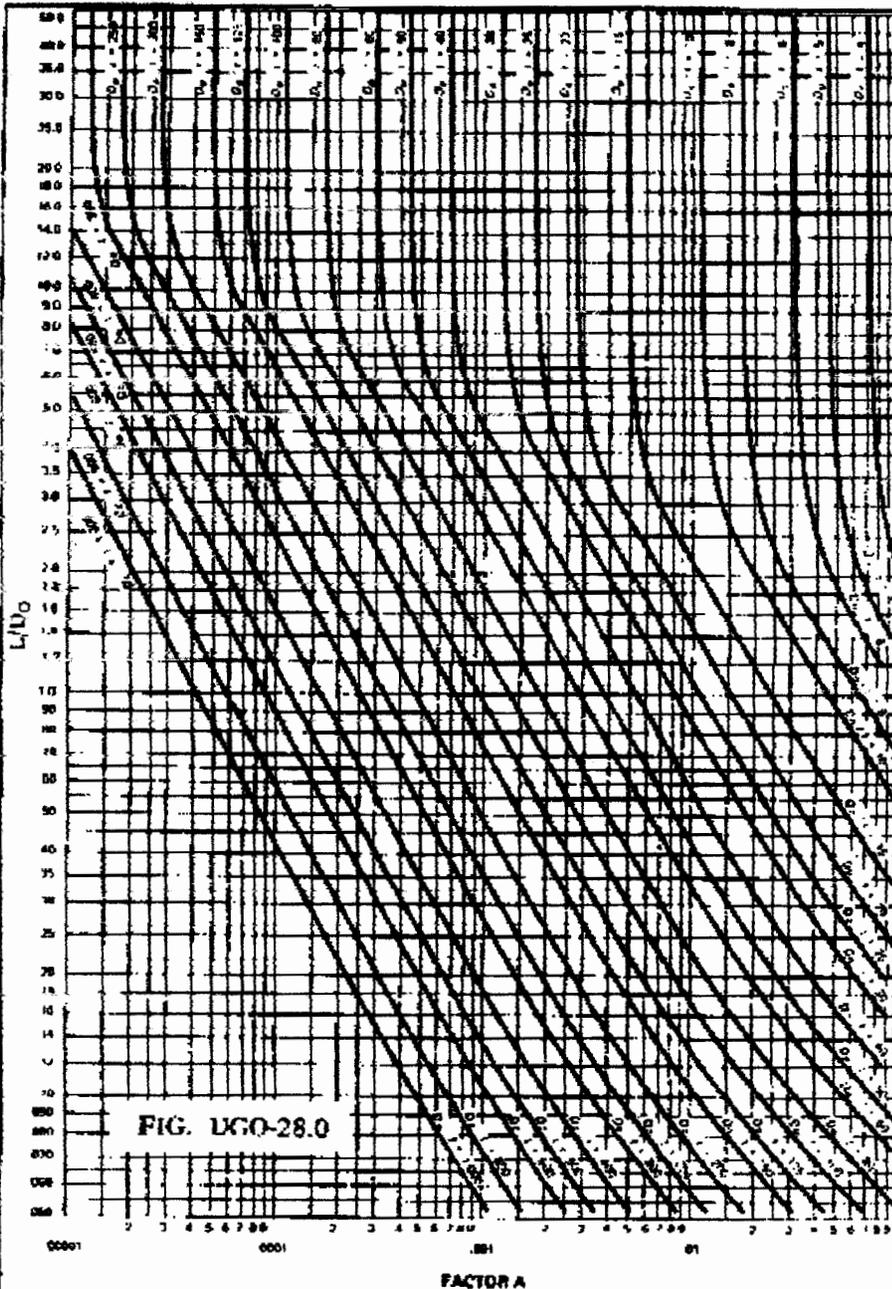
Step 2. Using the value of A calculated in Step 1, follow the same procedure as that given for spherical

shells in UG-28(d), Steps 2 through 6. An example illustrating the use of this procedure is given in L-6.1.

(e) *Torispherical Heads.* The required thickness of a torispherical head having pressure on the convex side, either seamless or of built-up construction with butt joints, shall not be less than that determined by the same design procedure as is used for ellipsoidal heads given in (d) above, using the appropriate value for R_o . An example illustrating the use of this procedure is given in L-6.2.

(f) *Conical Heads and Sections.* The required thickness of a conical head or section under pressure on the convex side, either seamless or of built-up construction with butt joints, shall be determined in accordance with the following subparagraphs.

APENDICE B-7: DIAGRAMA UGO 28

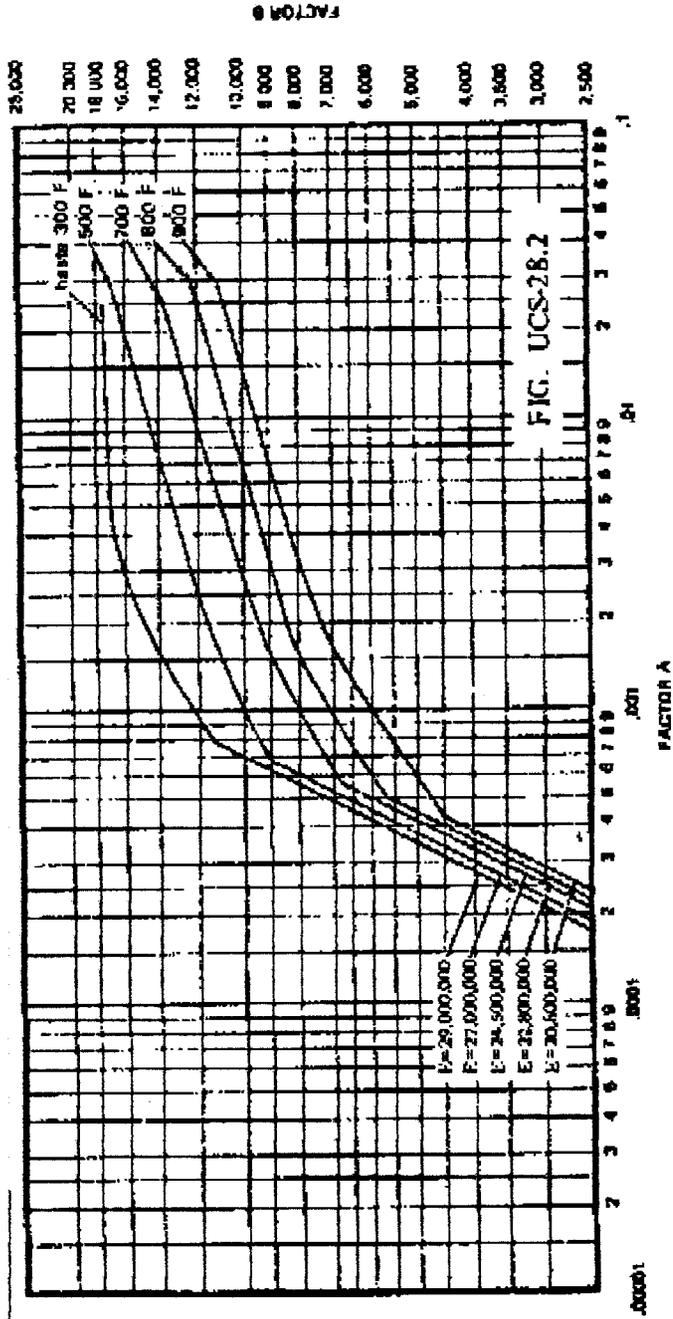


VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA



CIB-ESPOL

APENDICE B-8: DIAGRAMA UCS 28.2



With Reinforcing Element Added

A = same as A, above

A₁ = same as A₁, above

$$A_2 \begin{cases} = 5(t_n - t_{rn})f_r 2t \\ = 2(t_n - t_{rn}) (2.5t_n + t_e) f_r 2 \end{cases}$$

A₃ = same as A₃, above



$$= A_{41} = \text{outward nozzle weld} = (\text{leg})^2 f_{r3}$$



$$= A_{42} = \text{outer element weld} = (\text{leg})^2 f_{r4}$$



$$= A_{43} = \text{inward nozzle weld} = (\text{leg})^2 f_{r2}$$



$$= A_5 = (D_p - d - 2t_n) t_e f_{r4} \text{ [Note (1)]}$$

Area required

Area available

Area available in nozzle projecting outward; use smaller area

Area available in inward nozzle

Area available in outward weld

Area available in outer weld

Area available in inward weld

Area available in element

$$\text{If } A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 > A$$

Opening is adequately reinforced

NOTE:

(1) This formula is applicable for a rectangular cross-sectional element that falls within the limits of reinforcement.

FIG. UG-37.1 NOMENCLATURE AND FORMULAS FOR REINFORCED OPENINGS (CONT'D)

(This Figure Illustrates a Common Nozzle Configuration and is Not Intended to Prohibit Other Configurations Permitted by the Code.)

TABLE UG-37

VALUES OF SPHERICAL RADIUS FACTOR K₁
Equivalent spherical radius = K₁D; D/2h = axis ratio. For definitions, see 1-4(b). Interpolation permitted for intermediate values.

D/2h	...	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2
	...	1.36	1.27	1.18	1.08	0.99
D/2h	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50

opening and normal to the vessel surface. For a circular opening in a cylindrical shell, the plane containing the axis of the shell is the plane of greatest loading due to internal pressure. Not less than half the required reinforcement shall be on each side of the center line of single openings.

(c) Design for Internal Pressure. The total cross-sectional area of reinforcement A required in any given plane through the opening for a shell or formed head under internal pressure shall be not less than

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

(d) Design for External Pressure

(1) The reinforcement required for openings in single-walled vessels subject to external pressure need be only 50% of that required in (c) above, where t_r is the wall thickness required by the rules for vessels under external pressure.

(2) The reinforcement required for openings in each shell of a multiple-walled vessel shall comply with (1) above when the shell is subject to external pressure, and with (c) above when the shell is subject to internal pressure, regardless of whether or not there is a common nozzle secured to more than one shell by strength welds.

(e) Design for Alternate Internal and External Pressure. Reinforcement of vessels subject to alternate internal and external pressures shall meet the requirements of (c) above for internal pressure and of (d) above for external pressure.

(f) Details and formulas for required area and available area are given in Fig. UG-37.1.

UG-38 FLUED OPENINGS IN SHELLS AND FORMED HEADS

(a) Flued openings in shells and formed heads made by inward or outward forming of the head plate shall meet the requirements for reinforcement in UG-37. The thickness of the flued flange shall also meet the requirements of UG-27 and/or UG-28, as applicable,



(3) all welded seams which will be hidden by assembly be given a visual examination for workmanship prior to assembly;

(4) the vessel will not contain a "lethal" substance.

(h) Any nonhazardous liquid at any temperature may be used for the hydrostatic test if below its boiling point. Combustible liquids having a flash point less than 110°F, such as petroleum distillates, may be used only for near atmospheric temperature tests. It is recommended that the metal temperature during hydrostatic test be maintained at least 30°F above the minimum design metal temperature, but need not exceed 120°F, to minimize the risk of brittle fracture. [See UG-20 and General Note (6) to Fig. UCS-66.2.] The test pressure shall not be applied until the vessel and its contents are at about the same temperature. If the test temperature exceeds 120°F, it is recommended that inspection of the vessel required by (g) above be delayed until the temperature is reduced to 120°F or less.

CAUTION: A small liquid relief valve set to 1 1/3 times the test pressure is recommended for the pressure test system, in case a vessel, while under test, is likely to be warmed up materially with personnel absent.

(i) Vents shall be provided at all high points of the vessel in the position in which it is to be tested to purge possible air pockets while the vessel is filling.

(j) Before applying pressure, the test equipment shall be examined to see that it is tight and that all low-pressure filling lines and other appurtenances that should not be subjected to the test pressure have been disconnected.

(k) Vessels, except for those in lethal service, may be painted or otherwise coated either internally or externally, and may be lined internally, prior to the pressure test. However, the user is cautioned that such painting/coating/lining may mask leaks that would otherwise have been detected during the pressure test.

UG-100 PNEUMATIC TEST³³ (SEE UW-50)

(a) Subject to the provisions of UG-99(a)(1) and (a)(2), a pneumatic test prescribed in this paragraph

³³ In some cases it is desirable to test vessels when partly filled with liquids. For such vessels a combined hydrostatic and pneumatic test may be used as an alternative to the pneumatic test of this paragraph, provided the liquid level is set so that the maximum stress including the stress produced by pneumatic pressure at any point in the vessel (usually near the bottom) or in the support attachments, does not exceed 1.5 times the allowable stress value of the material multiplied by the applicable joint efficiency. After setting the liquid level to meet this condition, the test is conducted as prescribed in (b) and (c) above.

may be used in lieu of the standard hydrostatic test prescribed in UG-99 for vessels:

(1) that are so designed and/or supported that they cannot safely be filled with water;

(2) not readily dried, that are to be used in services where traces of the testing liquid cannot be tolerated and the parts of which have, where possible, been previously tested by hydrostatic pressure to the pressure required in UG-99.

(b) Except for enameled vessels, for which the pneumatic test pressure shall be at least equal to, but need not exceed, the maximum allowable working pressure to be marked on the vessel, the pneumatic test pressure shall be at least equal to 1.25 times the maximum allowable working pressure to be stamped on the vessel multiplied by the lowest ratio (for the materials of which the vessel is constructed) of the stress value *S* for the test temperature of the vessel to the stress value *S* for the design temperature (see UG-21). In no case shall the pneumatic test pressure exceed 1.25 times the basis for calculated test pressure as defined in 3-2.

(c) The metal temperature during pneumatic test shall be maintained at least 30°F above the minimum design metal temperature to minimize the risk of brittle fracture. [See UG-20 and General Note (6) to Fig. UCS-66.2.]

(d) The pressure in the vessel shall be gradually increased to not more than one-half of the test pressure. Thereafter, the test pressure shall be increased in steps of approximately one-tenth of the test pressure until the required test pressure has been reached. Then the pressure shall be reduced to a value equal to four-fifths of the test pressure and held for a sufficient time to permit inspection of the vessel.

The visual inspection of the vessel at four-fifths of the required test pressure may be waived provided:

(1) a suitable gas leak test is applied;

(2) substitution of the gas leak test is by agreement reached between Manufacturer and Inspector;

(3) all welded seams which will be hidden by assembly be given a visual examination for workmanship prior to assembly;

(4) the vessel will not contain a "lethal" substance.

(e) Vessels, except for those in lethal service, may be painted or otherwise coated either internally or externally, and may be lined internally, prior to the pressure test. However, the user is cautioned that such painting/coating/lining may mask leaks that would otherwise have been detected during the pressure test.

Air or gas is hazardous when used as a testing medium. It is therefore recommended that special precautions be taken when air or gas is used for test purposes.

G-101 PROOF TESTS TO ESTABLISH MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE

UG-101(a) General

UG-101(a)(1) The maximum allowable working pressure for vessels or vessel parts for which the strength cannot be computed with a satisfactory assurance of accuracy (see U-2) shall be established in accordance with the requirements of this paragraph, using one of the test procedures applicable to the type of loading and to the material used in construction.

UG-101(a)(2) Provision is made in these rules for two types of tests to determine the internal maximum allowable working pressure:

(a) tests based on yielding of the part to be tested. These tests are limited to materials with a ratio of minimum specified yield to minimum specified ultimate strength of 0.625 or less.

(b) tests based on bursting of the part

UG-101(a)(3) Safety of testing personnel should be given serious consideration when conducting proof tests, and particular care should be taken during bursting tests in (m) below.

UG-101(b) The tests in these paragraphs may be used only for the purpose of establishing the maximum allowable working pressure of those elements or component parts for which the thickness cannot be determined by means of the design rules given in this Division. The maximum allowable working pressure of all other elements or component parts shall not be greater than that determined by means of the applicable design rules.

Tests to establish the maximum allowable working pressure of vessels, or vessel parts, shall be witnessed by and be acceptable to the Inspector, as indicated by his signature on the Manufacturer's report of the test. The report shall include sufficient detail to describe the test, the instrumentation and the methods of calibration used, and the results obtained. The report shall be made available to the Inspector for each application (see U-2(b) and UG-90(2)).

UG-101(c) The vessel or vessel part for which the maximum allowable working pressure is to be established shall not previously have been subjected to a pressure greater than $1\frac{1}{2}$ times the desired or anticipated maximum allowable working pressure, adjusted for operating temperature as provided in (k) below.

UG-101(d) Duplicate and Similar Parts. When the maximum allowable working pressure of a vessel or vessel part has been established by a proof test, duplicate parts, or geometrically similar parts, that meet all of the requirements in (d)(1) or (d)(2) below, need not

be proof tested but shall be given a hydrostatic pressure test in accordance with UG-99, or a pneumatic pressure test in accordance with UG-100, except as otherwise provided in UCI-101, and UCD-101.

UG-101(d)(1) Duplicate Parts. All of the following requirements shall be met in order to qualify a part as a duplicate of the part that had been proof tested:

(a) same basic design configuration and type of construction;

(b) the material of the duplicate part is either:

(1) the same material specifications:

(a) alloy;

(b) grade, class;

(c) type, form;

(d) heat treatment; or

(2) the same or closely similar material when only the material specification, the alloy, grade, or form is different, provided the material meets the following additional requirements:

(a) has allowable stress in tension equal to or greater than the material used in the proof tested part at both the design temperature and the test temperature;

(b) has the same P-Number (Section IX);

(c) for carbon or low alloy steels (Part UCS), has the same or tougher material grouping in UCS-66, Fig. UCS-66, and Notes;

(c) the nominal dimensions, diameter, or width and height, of the duplicate parts shall be the same, and the corresponding nominal thicknesses shall be the same as those used in the proof test. The length shall not be longer than that proof tested.

(d) heat treatment shall be the same as performed on the original part that was tested;

(e) the MAWP shall be calculated according to (e) below;

(f) when there are permissible deviations from the original part that was proof tested, a supplement to the original Proof Test Report shall be prepared that states and evaluates each deviation.

UG-101(d)(2) Geometrically Similar Parts. The maximum allowable working pressure for geometrically similar parts may be established by a series of proof tests that uniformly cover the complete range of sizes, pressure, or other variables by interpolation from smooth curves plotted from the results of the tests.³⁴

(a) Sufficient tests shall be performed to provide at least five data points that are at increments that are within 20% to 30% of the range covered.

³⁴ Examples of the use of modeling techniques are found in UG-127(a)(1)(b)(2) and UG-131(d)(2)(b), or refer to text books on the subject.



APENDICE C

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE SOLIDOS METÁLICOS Y AISLANTES

Continued

COMPOSITION	MELTING POINT (K)	PROPERTIES AT 300K			PROPERTIES AT VARIOUS TEMPERATURES (K)										
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Chromium (low) steels															
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9				
								49.7	575	688	969				
1 Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4				
								49.2	575	688	969				
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2				
								49.2	575	688	969				
Stainless steels															
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4				
								51.2	559	585	606				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95			9.2	12.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7	
								27.2	402	515	557	582	611	640	682
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2	18.3	21.3	24.2				
								50.4	550	576	602				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8	18.9	21.9	24.7				
								51.3	559	585	606				
Lead	601	11340	129	35.3	24.1			39.7	36.7	34.0	31.4				
								118	125	132	142				
Magnesium	923	1740	1024	1.56	87.6			1.69	1.59	1.53	1.49	1.46			
								6.49	934	1074	1170	1267			
Molybdenum	2894	10240	251	1.38	53.7			1.79	1.43	1.34	1.26	1.18	1.12	1.05	98
								1.41	224	261	275	285	295	308	330
															380
															459
Nickel															
Pure	1728	8900	444	90.7	23.0			1.64	1.07	80.2	65.6	67.6	71.8	76.2	82.6
								2.32	383	485	592	530	562	594	616
Nichrome (80% Ni, 20% Cr)	1672	8400	420	12	3.4			1.4	1.6	21					
								4.80	525	545					
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1665	8510	439	11.7	3.1			8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0	27.6	33.0
Niobium	2741	8570	265	53.7	23.6										
								55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4	67.5	72.1
								1.88	249	274	283	292	301	310	324
															347
Palladium	1827	12020	244	71.8	24.5			76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2	102	110
								1.68	227	251	261	271	281	291	307
Platinum															
Pure	2045	21450	133	71.6	25.1			77.5	72.6	71.8	73.2	75.6	78.7	82.6	89.5
								100	125	136	141	146	152	157	165
															179



CIB-ESPOL

Continuación

DESCRIPTION/ COMPOSITION	MAX SERVICE TEMP (K)	TYPICAL DENSITY (kg/m ³)	TYPICAL THERMAL CONDUCTIVITY, λ (W/m · K), AT VARIOUS TEMPERATURES (K)														
			200	215	230	240	255	270	285	300	310	365	420	530	645	750	
Cellular glass	700	145	0.046	0.048	0.051	0.052	0.052	0.055	0.058	0.063	0.069	0.079	0.092	0.098	0.104		
Diatomaceous silica	1,145 1,310	345 305											0.101	0.100	0.115		
Polystyrene, rigid Extruded (R-12)	350	56	0.023	0.023	0.022	0.023	0.023	0.025	0.026	0.027	0.029						
Extruded (R-12)	350	35	0.023	0.023	0.023	0.025	0.025	0.026	0.027	0.029							
Molded beads	350	16	0.026	0.029	0.030	0.033	0.035	0.036	0.038	0.040							
Rubber, rigid foamed	340	70						0.029	0.030	0.032	0.033						
Insulating Cement Mineral fiber (rock, slag or glass) with clay binder with hydraulic setting binder	1,255 922	430 560											0.071	0.079	0.088	0.105	0.123
Loose Fill													0.108	0.115	0.123	0.137	
Cellulose, wood or paper pulp	...	45						0.038	0.039	0.042	0.042	0.043	0.046	0.049	0.051	0.053	0.056
Perlite, expanded	...	105	0.036	0.039	0.042	0.043	0.046	0.049	0.051	0.053	0.056	0.058	0.061	0.063	0.065	0.068	0.071
Vermiculite, expanded	...	122 80			0.056	0.058	0.061	0.063	0.065	0.068	0.071						

Referencia. (6)

APENDICE D

EXTRACTOS DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA TANQUES CRIOGÉNICOS ESTACIONARIOS Y CARROS TANQUES (7).



CIB-ESPOL

II.3.4 - Aplicações de Vácuo

O vácuo possui diversas aplicações industriais, como por exemplo, na produção de lâmpadas e válvulas.

No caso da SAWM o vácuo é utilizado no isolamento de vasos criogênicos, associado a outros elementos isolantes, tais como perlita e fibra de vidro.

Os líquidos criogênicos (oxigênio, nitrogênio e argônio) entram em ebulição a temperaturas muito baixas, em torno de -190°C a pressão atmosférica.

É evidente a possibilidade de uma alta taxa de transferência de calor da atmosfera para os produtos líquidos. Para ter-se os líquidos criogênicos armazenados em recipientes, sem excessiva vaporização, os tanques devem ser isolados, usando-se o vácuo para esta finalidade.

A função do isolamento é evitar que o calor atinja o líquido criogênico, agindo como uma barreira contra o calor e, para melhorar sua eficiência, deve-se associar ao vácuo outros elementos com características isolantes, tais como perlita e fibra de vidro.

Quanto mais alto for o vácuo maior será a eficiência do isolamento, sendo importante o controle, na obtenção e manutenção do vácuo.

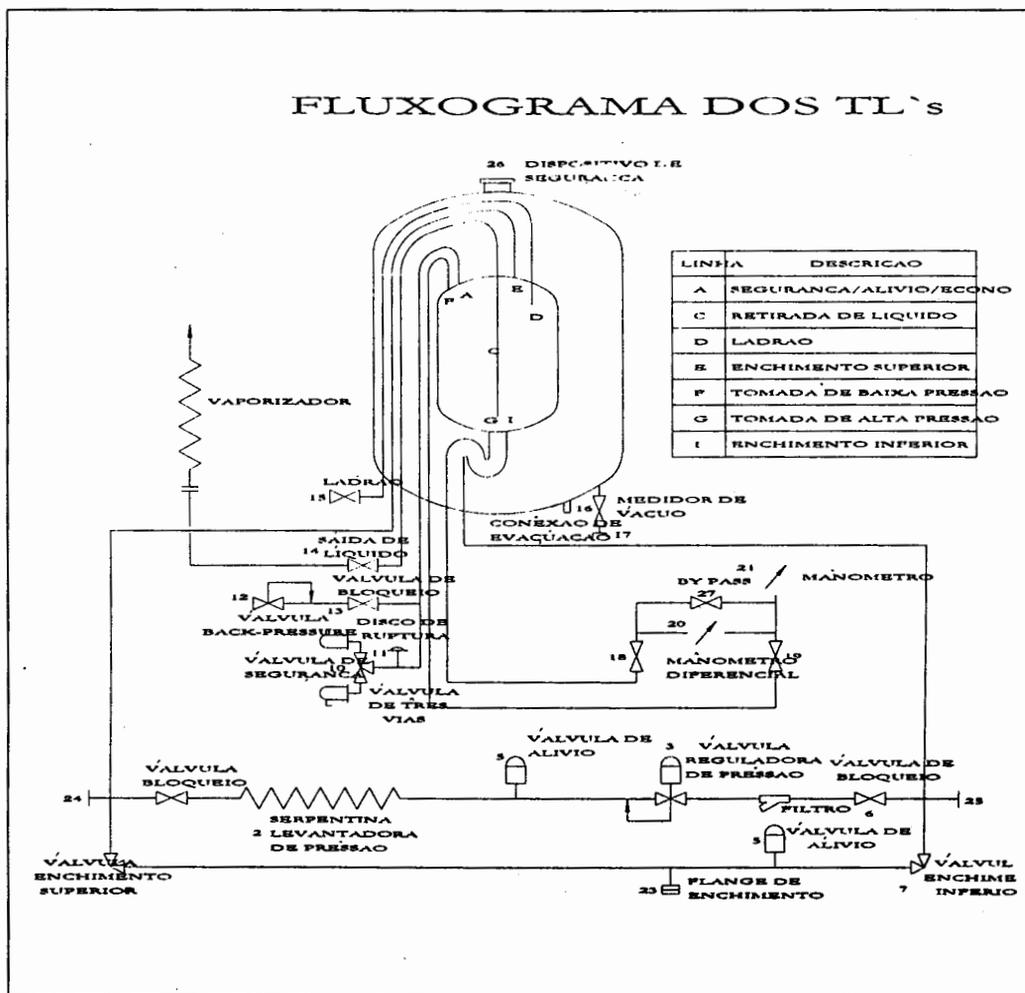
III - TANQUES TM's e TL's

São unidades utilizadas na estocagem de oxigênio, nitrogênio e argônio líquido, possuindo eficiente isolamento térmico. É formado por um tanque interno (container) fabricado em aço com 9% de níquel, aço inoxidável ou alumínio e um tanque externo (casco) de aço carbono. São isolados com perlita e vácuo e contém um material absorvente de gases e vapor d'água (molecular sieves). As tubulações internas do tanque são de aço inoxidável e as externas em cobre. Possuem um sistema de pressurização e um circuito economizado que são pré regulados para fornecer líquido ou gás para instalação de cliente, automaticamente. Os tanques que operam à baixa pressão (de 4,5 a 5,8 bar) são denominados de TL's e os que operam à média pressão (até 17,5 bar) são denominados de TM's. Na figura 2, apresentamos um desenho em corte de um tanque criogênico tipo TM / TL.



CIB-ESPOL

FIGURA 3 - Fluxograma dos tanques TL'S



CIB-ESPOL

Segue abaixo as identificações dos componentes operacionais que compõem o equipamento, conforme os fluxogramas dos TM's e TL's mostrado anteriormente.

Item 1 - (p/tm) Válvula de bloqueio de gás da (SLP) serpentina levantadora de pressão e do sistema economizador, separa o sistema da linha de enchimento superior e interrompe o fluxo de gás para a saída do sistema economizador. Normalmente aberta.

Item 1 - (p/tl) Válvula de bloqueio de gás da serpentina levantadora de pressão (SLP) e separa a mesma da linha de enchimento superior. Normalmente aberta.

Item 2 - Serpentina levantadora de pressão (SLP) converte o líquido em gás para manter a pressão operacional desejada no tanque.

Item 3 - Válvula reguladora de pressão. É ajustada para controlar a pressão operacional mínima do tanque. A pressão de regulagem desta válvula deve ser fornecida pelo cliente. Por exemplo: Pressão da linha : $7 \text{ kgf} / \text{cm}^2$. Deve ser regulada para fechar a $8 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ e ser normalmente aberta para pressão interna abaixo do valor regulado. A reguladora sai regulada de fábrica com 5.0 Bar.

Item 4 - Filtro. Protege a superfície de vedação da válvula reguladora de pressão de contaminantes sólidos.

Item 5 - Válvula de alívio da linha de alimentação. Limita a pressão na linha de alimentação e de acoplamento.

Item 6 - Válvula de bloqueio da serpentina levantadora de pressão (SLP), interrompe o fluxo de líquido para a SLP. Normalmente aberta.

Item 7 - Válvula de enchimento inferior. Normalmente fechada.

Item 8 - Válvula de enchimento superior. Normalmente fechada.

Item 9 - Válvula 3 vias é necessária para duplicar sistema de segurança.

Item 10 - Válvula de segurança de vaso interno. Alivia automaticamente a pressão do vaso interno quando ela atinge o valor de projeto.

Item 11 - Disco de ruptura do vaso interno. Fornece proteção adicional no caso de falha no item 10.

Item 12 - Válvula economizadora. É ajustada para permitir a remoção imediatas de vapor ao invés do líquido, quando a pressão do volume de vapor excede o valor ajustado da pressão de abertura da economizadora, geralmente regulada $1 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ acima da regulagem da válvula reguladora de pressão (Item 3). A válvula economizadora é normalmente aberta para pressões acima do valor regulado e sai regulada da fábrica com 5.0 BAR.

OBS: Nos TL's , o circuito economizador funciona como um sistema de segurança, aliviando a pressão para a atmosfera

- Item 13** - Válvula de bloqueio do economizador. Permite manutenção na válvula economizadora com o tanque em operação.
- Item 14** - Válvula de fornecimento de líquido, permite o fluxo de líquido para um vaporizador montado no solo. Normalmente aberta.
- Item 15** - Ladrão. Indica que o nível do líquido atingiu o valor dimensionado para estocagem máxima. Normalmente fechado.
- Item 16** - Conexão de evacuação usado para executar a evacuação do tanque. Sempre fechada e lacrada.
- Item 17** - Medidor de vácuo- usada para se fazer leitura do valor. Sempre fechada e lacrada.
- Item 18** - Válvula da linha do medidor do indicador de pressão do líquido. Transmite pressão hidrostática ao medidor de nível. Normalmente aberta.
- Item 19** - Válvula da linha do medidor indicador da pressão do gás, transmite pressão interna do tanque ao indicador de nível do líquido e ao manômetro. Normalmente aberta.
- Item 20** - Medidor do nível do líquido. Indica o nível do líquido criogênico no tanque em polegadas de coluna de água, ou em centímetros de coluna de água.
- Item 21** - Medidor de pressão, indica a pressão interna do tanque.
- Item 22** - Saída opcional de líquido. Sai da fábrica pluguiada.
- Item 23** - Flange de enchimento é padrão sair da fábrica com flange de enchimento para O₂ .
- Item 24** - Conexão de saída de gás.
- Item 25** - Conexão de saída de líquido.
- Item 26** - Válvula de segurança para o casco, protege a câmara de vácuo contra uma pressão positiva acidental, localizado no topo do tanque.
- Item 27** - Válvula equalizadora do nível de líquido, permite verificar o ajuste do zero do indicador do nível de líquido. Normalmente fechada.

IV - Operação dos TM'S e TL'S.

IV- Pressurização.

Quando for necessário elevar a pressão interna do tanque, abrir a válvula (item 6), permitindo que o fluído criogênico atinja a serpentina levantadora de pressão (item 2), que promoverá a evaporação do líquido. Isto ocorrerá até que a válvula (item 3) feche, impedindo que o fluxo de líquido atinja a SLP (item 2), após o fechamento da válvula (item 3) a pressão do tanque poderá subir lentamente, devido a evaporação normal, se não houver consumo de líquido ou gás. A válvula (item 3) tem a função de manter uma pressão mínima para operação, não limitando a pressão interna do tanque acima do ponto de regulagem.

Quando houver uma vazão muito grande e a pressão de operação tender a cair abaixo da pressão mínima de operação, a válvula (item 3) abre gradativamente a pressão dentro do tanque.



CIB-ESPOL

APENDICE F

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DE TANQUE PRESENTADO POR CASA COMERCIAL

I. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO.

PRODUCTO		NITROGENO (LIQUIDO CRIOGENICO).	
NOMBRE QUIMICO		NITROGENO.	
SINONIMO	No Aplicable.	GRUPO QUIMICO	No Aplicable.
FORMULA	N ₂	PESO MOLECULAR	28.01
NOMBRE COMERCIAL(ES) NITROGENO LIQUIDO.			

II. COMPONENTES DE RIESGO.

Para mezclas de este producto, solicite la respectiva Ficha de Datos de Seguridad de Producto.

Ver sección IX.

MATERIAL (COMPONENTES)	VOL (%)	LT (TLV) = LIMITE DE TOLERANCIA DEL PRODUCTO
Nitrógeno	100	Asfixiante simple



CIB-ESPOL

III. DATOS FISICOS.

PUNTO DE EBULLICION, 760 mm Hg	-195.8°C (-320.46 °F)	PUNTO DE CONGELAMIENTO	-210°C (-345.8°F)
DENSIDAD (agua = 1)	Gas:	PRESION DE VAPOR A 20°C	Gas.
DENSIDAD DE VAPOR (aire = 1)	0.808 @ -195.8°C	SOLUBILIDAD EN AGUA, % EN PESO	Insignificante.
PORCENTAJE DE MATERIA VOLATIL EN VOLUMEN	100%	COEFICIENTE DE EVAPORACION (Acetato de butilo = 1)	Alto.
APARIENCIA Y OLOR Líquido, incoloro e inodoro.			

NUMERO TELEFONICO PARA EMERGENCIAS ☎

LLAME A CUALQUIER HORA DEL DIA AL SIGUIENTE TELEFONO: **803710 - 862990 - 09-408700**
PARA INFORMACION DE RUTINA CONSULTE A **PRAXAIR INC.**

Praxair Inc. cree que los datos aquí contenidos son actuales, y las opiniones aquí expresadas son las de especialistas calificados en relación a los resultados de las pruebas y ensayos efectuados, tales datos no deben ser interpretados como una garantía, para fines de responsabilidad legal por parte de la empresa. Estos datos son hechos apenas para ser considerados, investigados y verificados. Compete al usuario determinar que cualquier utilización de estos datos e informaciones se procesará de acuerdo a las leyes y reglamentos nacionales.

PRODUCTO

NITROGENO (LIQUIDO CRIOGENICO).

L-4630-C

V - DATOS INDICATIVOS DE POSIBILIDAD DE INCENDIO.**PUNTO DE LLAMA (METODO O NORMA)**

No aplicable.

TEMPERATURA DE AUTOIGNICION

No aplicable.

**LIMITE DE INFLAMABILIDAD EN EL AIRE,
% EN VOLUMEN****INFERIOR**

No aplicable.

SUPERIOR

No aplicable.

**MEDIO DE COMBATE
DEL FUEGO**

El Nitrógeno no prende fuego. Utilice el recurso apropiado para fuego circundante.

**PROCEDIMIENTOS
ESPECIALES DE
COMBATE DEL FUEGO**

Evacue todo el personal del área del riesgo, inmediatamente enfríe los recipientes con chorros pulverizados de agua a una distancia máxima hasta enfriarlos; entonces remueva los recipientes lejos del área de incendio si estos no presentan riesgo. No apunte los chorros de agua hacia el Nitrógeno Líquido

**POSIBILIDADES
NO COMUNES
DE INCENDIO**

El líquido o el vapor no pueden prender fuego. Los recipientes se pueden romperse debido al calor del fuego. Ninguna parte del recipiente debe estar sujeta a temperaturas mayores de 52°C (125°F). el Nitrógeno Líquido congelara rápidamente el agua. La mayor parte de los recipientes están provistos de un dispositivo de alivio de presión diseñado para aliviar el contenido cuando estos estuvieran expuestos a temperaturas elevadas. El Líquido puede causar "quemaduras criogénicas" (daños parecidos a los del congelamiento, ver sección IV).

VI - INFORMACIÓN SOBRE REACTIVIDAD.**ESTABILIDAD****CONDICIONES A EVITAR****INESTABLE****ESTABLE**

Calor. Ver sección IX.

X

INCOMPATIBILIDADES (MATERIALES A EVITAR)

Ninguno actualmente conocido.

PRODUCTOS POSIBLES DESPUES DE LA DESCOMPOSICION

Ninguno.

**CIB-ESPOL****RIESGO DE POLIMERIZACION****CONDICIONES A EVITAR****PUEDA OCURRIR****NO OCURRIRA**

Ninguna actualmente conocida.

X

VII - PROCEDIMIENTO EN DERRAMES O VERTIDOS.**MEDIDAS A TOMARSE CON MATERIAL DERRAMADO O VERTIDO**

Evacue inmediatamente todo personal del área de riesgo. De que el líquido derramado se evapore. Interrumpa el vertimiento sino hay riesgo. Ventile el área de vertimiento o remueva los recipientes para un área bien ventilada. Verifique el área, especialmente las confinadas, en relación a las cantidades de oxígeno suficiente, antes de permitir el retorno del personal.

METODO PARA DISPOSICION DE RESIDUOS

Alivie suavemente en la atmósfera, en área abierta, o áreas externas.

IV - INFORMACION NECESARIA PARA LA PROTECCION DE LA SALUD.**LIMITE DE TOLERANCIA (LTV)**

Ver sección II.

EFFECTOS DE SOBRE EXPOSICION (AGUDA):**INGESTION:** Congelamiento puede resultar del contacto con el líquido.**ABSORCION POR LA PIEL:** No hay evidencia de efectos adversos por medio de las informaciones disponibles.**INHALACION:** Asfixiante. Concentraciones moderadas pueden producir dolor de cabeza, somnolencia, vértigo, excitación, exceso de salivación, vomito e inconsciencia. La falta de oxígeno puede causar la muerte.**CONTACTO CON LA PIEL:** Ningún efecto perjudicial esperado del vapor. El contacto con el líquido puede causar congelamiento.**CONTACTO CON LOS OJOS:** Ningún efecto perjudicial esperado del vapor.**EFFECTOS DE UNA EXPOSICION REPETIDA (CRONICA):**

El contacto con el líquido puede causar congelamiento.

CONDICIONES MEDICAS AGRAVADAS POR SOBRE EXPOSICION: La toxicología y las propiedades físicas y químicas del material, no sugieren que una sobre exposición es conocida como agravante de las condiciones medicas existentes.**INFORMACIONES LABORALES CON POSIBLE RELEVANCIA PARA LA EVALUACION DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA:** Ninguna actualmente conocida.**EMERGENCIA Y PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS:****INGESTION:** Este producto es un gas a presión y temperatura normales.**CONTACTO CON LA PIEL:** Por exposición al líquido, inmediatamente caliente el área congelada con agua normal (no exceder de 40°C). En caso de exposición severa, remueva las ropas en cuanto fuera bañando con agua corriente. Llame un medico.**INHALACION:** Remueva al afectado a un sitio con aire fresco. Aplique respiración artificial si no estuviera respirando. Administre oxígeno si la respiración se hace difícil. Llame un médico.**OJOS:** En caso de salpicadura, inmediatamente moje los ojos con agua corriente durante 15 minutos, como mínimo. Consulte un oftalmólogo.**NOTAS AL MEDICO:**

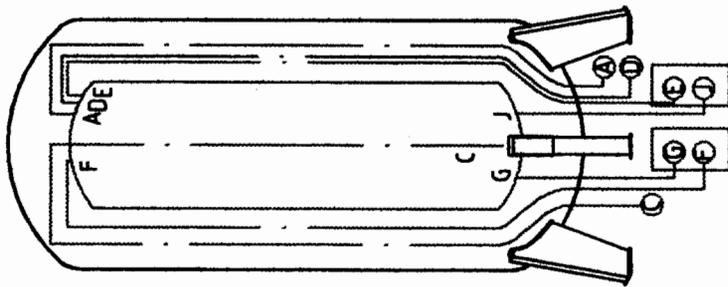
No hay antídoto específico. El tratamiento debe ser dirigido para el control de los síntomas y de las condiciones clínicas.

**CIB-ESPOL**

APENDICE G

PLANOS GENERALES DE TANQUE CRIOGÉNICO

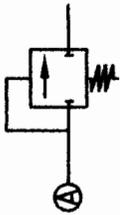




ESQUEMA REPRESENTATIVO DE ACCESORIOS QUE INTERVIENEN EN OPERACIÓN DE TANQUE

Esc. 1:65

vula de seguridad



Retirada de líquido



Evaporador

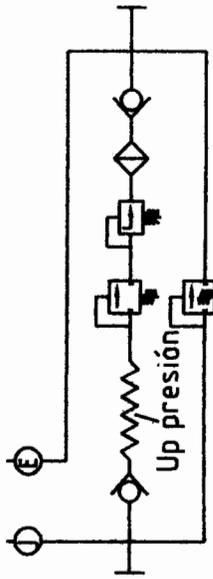
Aereador



Tomas Alternas

E: Baja presión

J: Alta presión



SIMBOLOGÍA



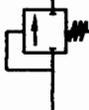
Válvula



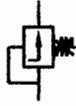
Manómetro diferencial



Evaporador



Válvula de seguridad



Válvula regul. de presión



Filtro

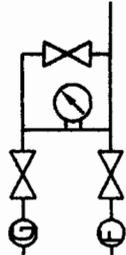


Válvula de bloqueo

Tomas Alternas

G: Alta presión

F: Baja presión



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

DENOMINACIÓN

Esquema para Componentes en Tanque Criogénico

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Dibujo

Verifico

Aprobo

Nombre

F. Mosquera

E. Martínez

E. Martínez

Fecha

Feb. 9/04

Feb. 9/04

Feb. 9/04

PLANO N°:

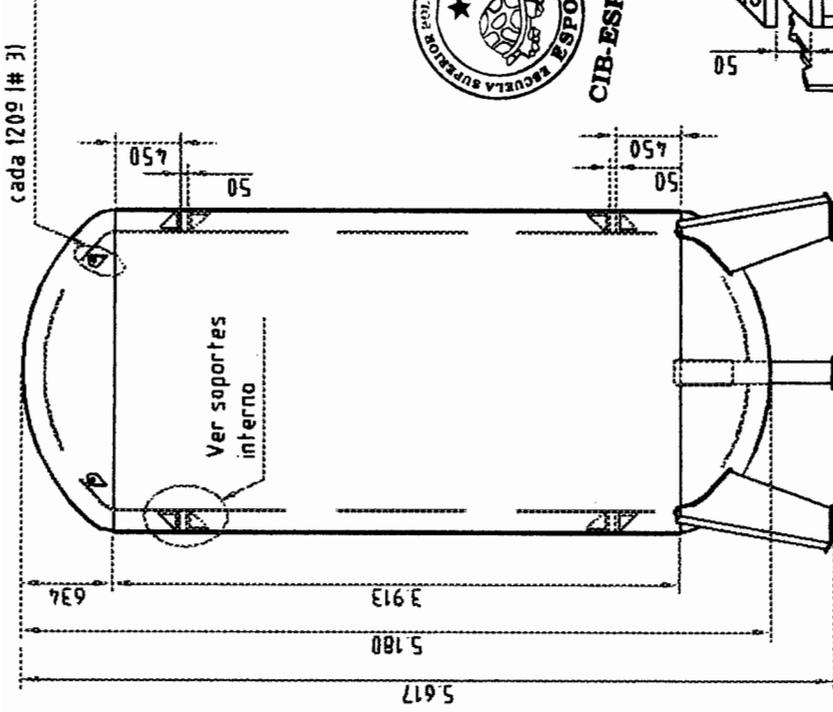
ESPOL

1 (MOS-09-04-MD-6)

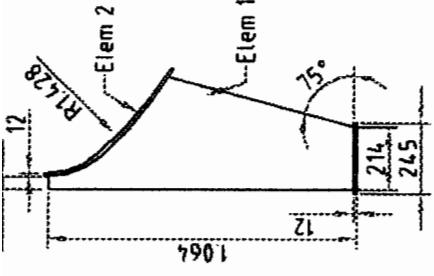
ESCALA

Indic.

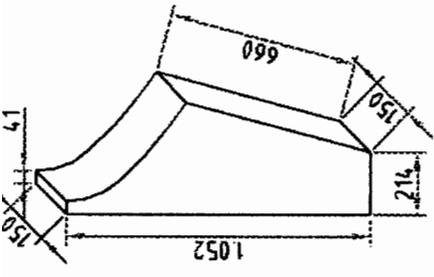




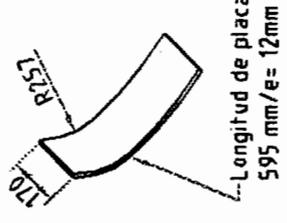
VISTA GENERAL DE TANQUE CRIOGÉNICO / Esc. 1:50



Vista Frontal



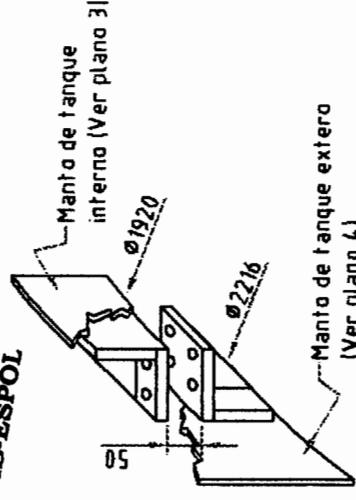
Elemento 1
Espesor 6mm
Patas para el soporte de tanque criogénico
Material ASTM A-36 / Cantid. 3 unid.



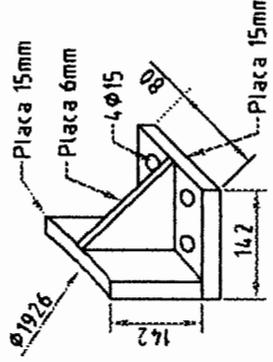
Elemento 2
Espesor 12mm



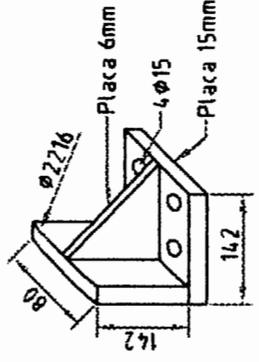
CIB-ESPOL



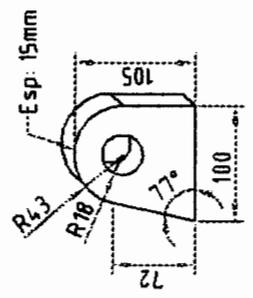
Soporte interno
Sujeción de tanque



Soporte a colocar en tanque interno
Cantid: 4 con AISI 304



Soporte a colocar en tanque externo
Cantid: 4 con ASTM A-36



Orejas
Cantid. 3 unid
A-36/ S-E

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

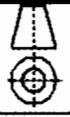
DENOMINACIÓN		ESCALA
Fecha	Nombre	Indic.
Dibujó	F. Mosquera	
Verificó	E. Martínez	
Aprobó	E. Martínez	

Diseño de tanque criogénico:
Vista General

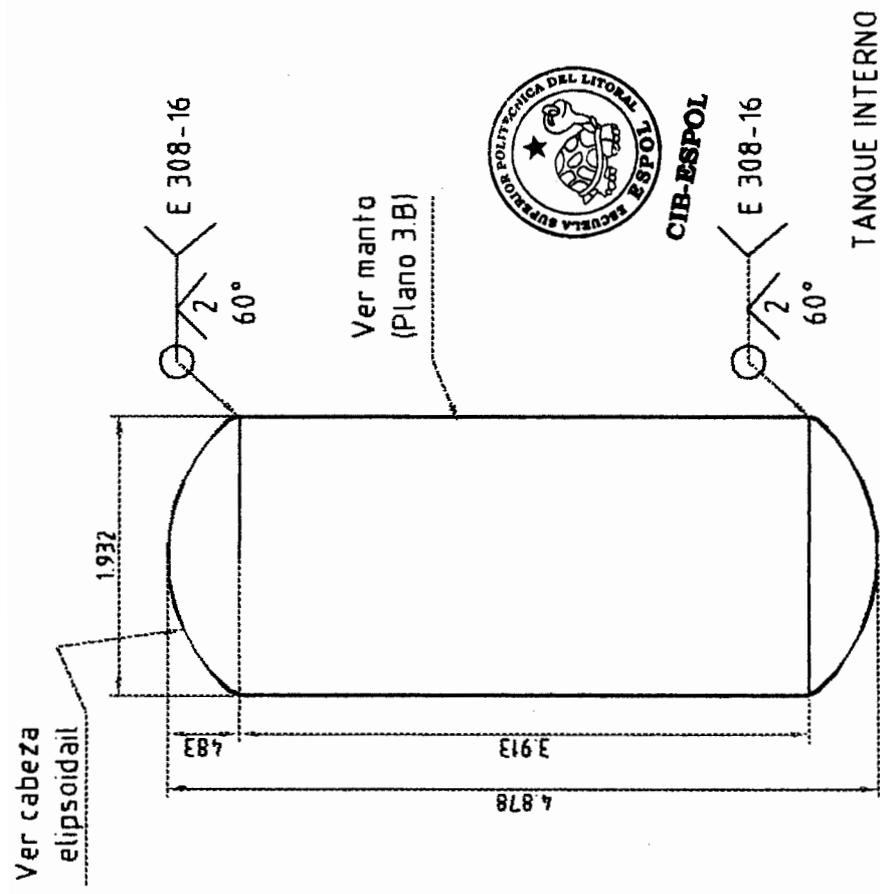
PLANO N° 1

ESPOL

2 (MOS-09-04-MD-6)

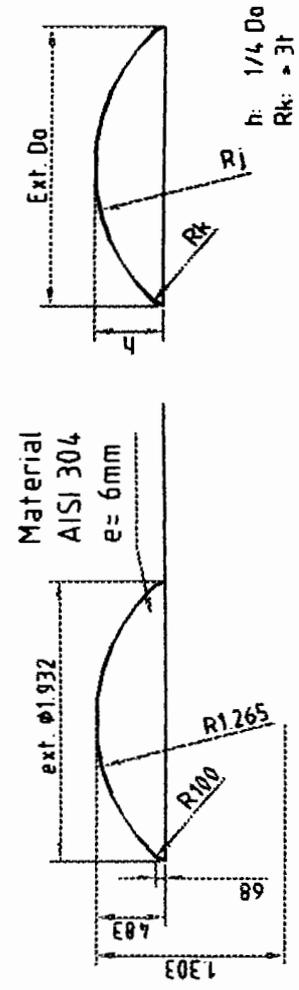


Nota: El espacio existente sera cubierto con material polimérico con alta resistividad térmica, sino usar caucho extrudado



CIB-ESPOL

TANQUE INTERNO
VISTA GENERAL
Esc. 1:50



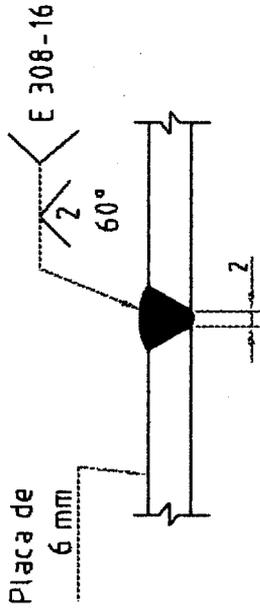
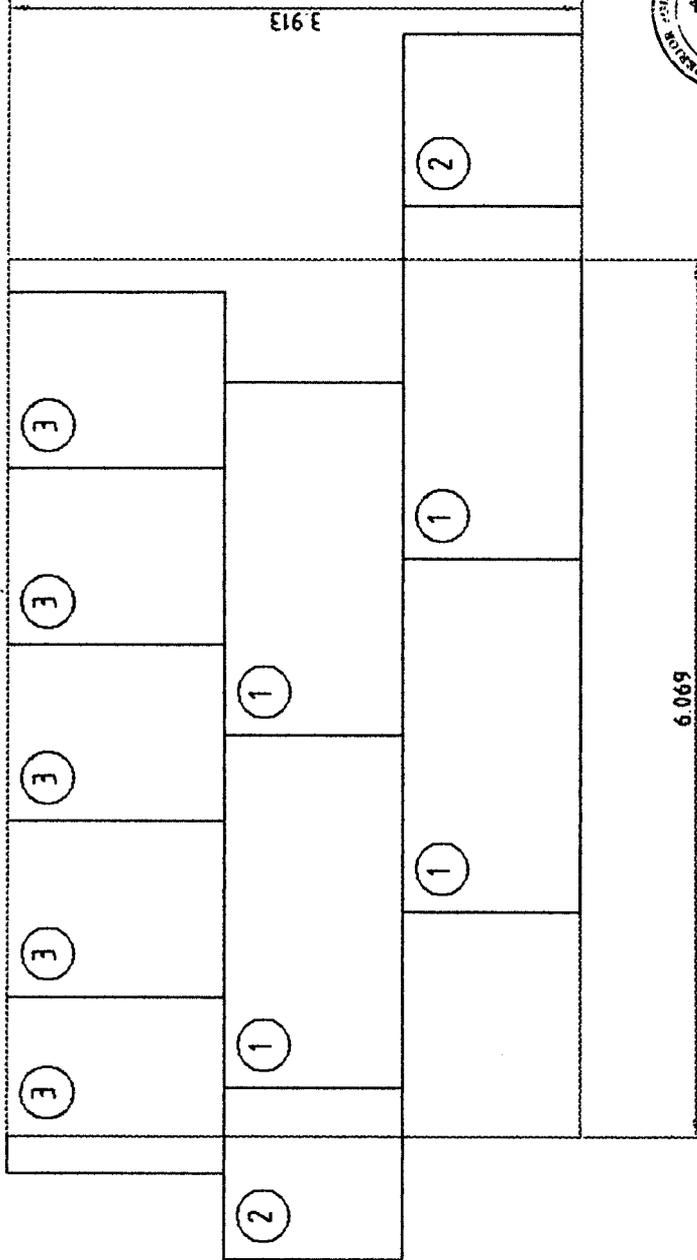
Cabeza Elipsoidail
Cantid Zunid/Esc. 1:65
Peso Aprox. 165 Kg.c/u

IMPORTANTE

- 1) Se deberá realizar prueba radiográfica al 100% en la soldadura
- 2) Se deberá realizar prueba de presión al 1.25 de la presión de diseño, mantenido así por más de 30 minutos.
- 3) Prueba de diseño 84.26 psi
- 4) El tanque deberá ser transportado con todos los manejos de una buena práctica de ingeniería
- 5) Este tanque fue diseñado bajo la norma ASME, sección VIII, división 1, para calificación de soldadura consultar con sección IX

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		DERIVACIÓN		ESCALA Indic.
		Fecha Feb. 9/04	Nombre F. Mosquera	
Dibujo Feb. 9/04	Verifico Feb. 9/04	E. Martínez		
Aprobado Feb. 9/04	E. Martínez	PLANO N°.		
ESPOL		# 3A (MOS-09-04-MD-6)		

Contorno representativo
Manto



Detalle de soldadura



CIB-ESPOL

- # 1: Plancha 1220x2440x6
- # 2: Placa 1220x1189x6
- # 3: Placa 1220x1473x6

Manto: Distribución de planchas
 Nota 1: El material será AISI 304,
 espesor 6mm
 Nota 2: Para uniones de plancha
 ver detalle de soldadura

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
 Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

DENOMINACIÓN	
Dibujó	F. Mosquera
Verificó	E. Martínez
Aprobó	E. Martínez

ESCALA

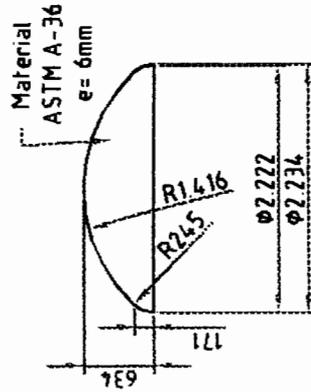
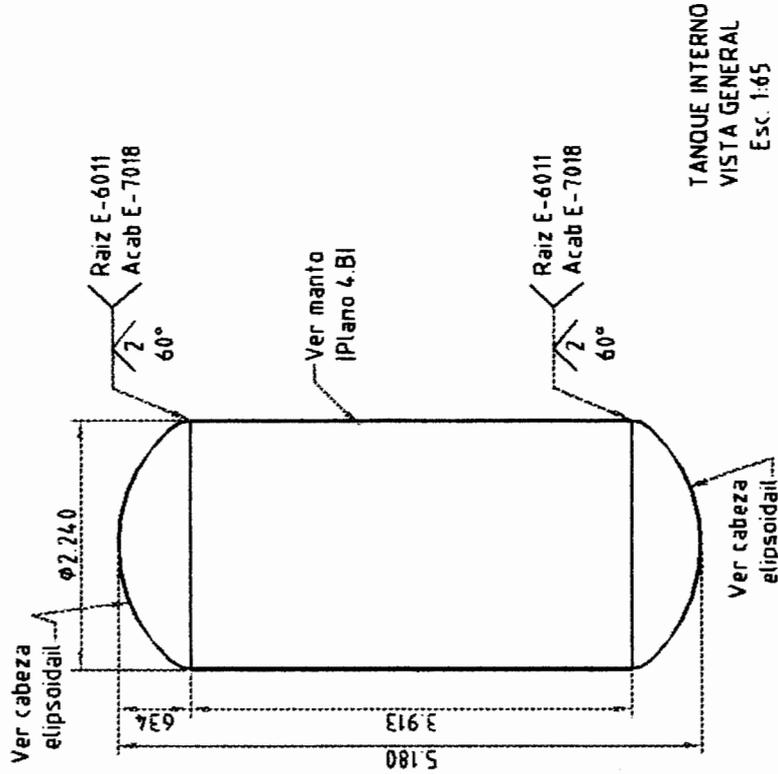
Indic.

PLANO N° 1

ESPOL

3B (MOS-09-04-MD-6)





H: 1/4 Do
Rk: - 3l

Cabeza Elipsoidal
Cantid 2unid/Esc. 1:65
Peso Aprox. 165 Kg.c/u

IMPORTANTE

- 1) Se deberá realizar prueba radiográfica al 100% en la soldadura
- 2) Se deberá realizar prueba de presión de vacío a 1.25 veces menos que la presión de diseño, manteniendo así por más de 30 minutos.
- 3) Presión de diseño 0.147 psi
- 4) El tanque deberá ser transportado con todos los manejos de una buena práctica de ingeniería
- 5) Este tanque fue diseñado bajo la norma ASME, sección VIII, división 1, para calificación de soldadura consultar con sección IX
- 6) Se aplicará norma SSPC SP 10 para acabado superficial y Norma SSPC PS 11 para sistema de pintura



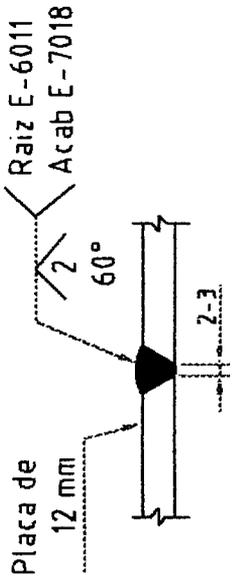
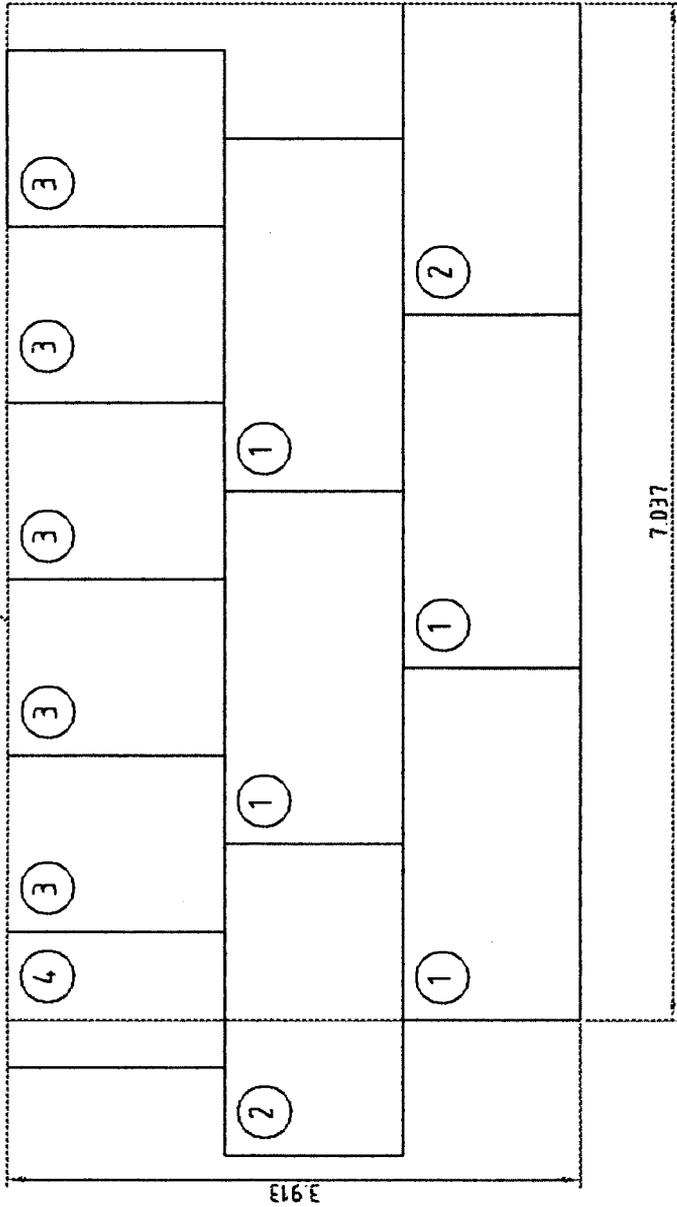
CIB-ESPOL

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

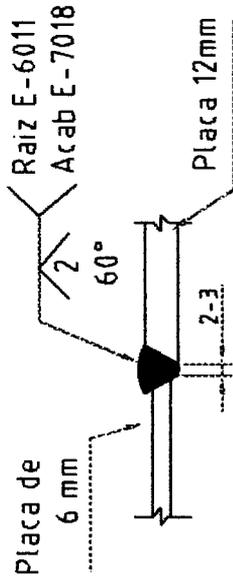
DEROMINACIÓN		ESCALA
Nombre	F. Mosquera	Indic.
Dibujo	Feb.9/04	
Verifico	E. Martínez	
Aprobo	Feb.9/04	
PLANO N° 1		
ESPOL		
# 4A (MOS-09-04-MD-6)		



Cantarno representativo
Manto



Detalle de soldadura 1



Detalle de soldadura 2



CIB-ESPOL

- # 1: Plancha 1220x2440x12
- # 2: Placa 1220x2157x12
- # 3: Placa 1220x1473x12
- # 4: Placa 937x1473x12

Manto: Distribución de planchas

Nota 1: El material será ASTM

A-36 espesor 12mm

Nota 2: Para uniones de plancha
ver detalle de soldadura 1

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

DENOMINACIÓN	
Dibujó	F. Mosquera
Verificó	E. Martínez
Aprobó	E. Martínez

ESCALA

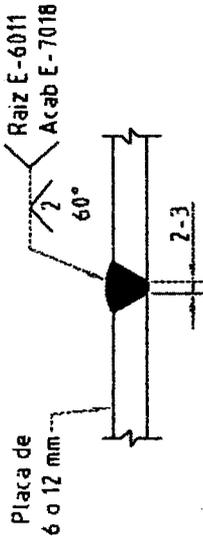
Indic.

PLANO N° 1

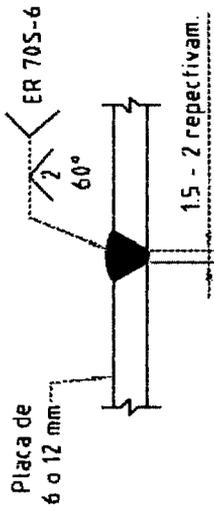
ESPOL

4B (MOS-09-04-MD-6)



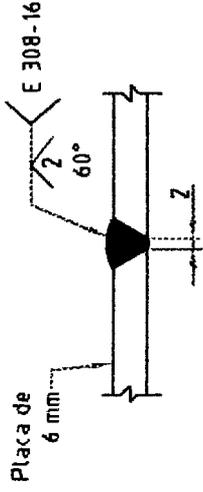


a) Aplicación de arco eléctrico

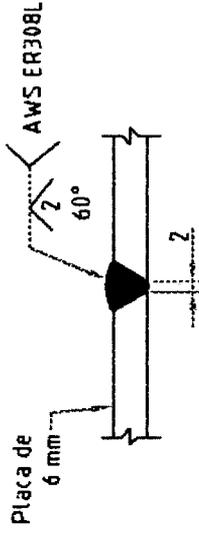


b) Aplicación Mig/Mag

Detalle de soldadura para acero la carbono (sin Esc.)



a) Aplicación de arco eléctrico



b) Aplicación Mig/Mag

Detalle de soldadura para acero inoxidable (sin Esc.)



CIB-ESPOL

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

DENOMINACIÓN	
Fecha	Nombre
Dibujo Feb. 9/04	F. Mosquera
Verifico Feb. 9/04	E. Martinez
Aprobo Feb. 9/04	E. Martinez

ESCALA
Indic.

PLANO N° 1

ESPOL

5 (MOS-09-04-MD-6)



BIBLIOGRAFÍA

- 1 AGA GAS HANDBOOK, editado por Kersti Ahlberg, edición 1995.
- 2 PRAXAIR VENEZUELA HANDBOOK. Segmento Alimentos Aplicaciones, por Alfredo J. Pedraza.
- 3 Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos de Norteamérica. Catálogo 68-60897, página 35.
- 4 Normas ASME, sección 8 división 1, edición 1995.
- 5 Normas ASME, sección 2 parte D, edición 1995
- 6 Frank Incropera P. Y David P. De Witt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Editorial JOHN WILEY y SONS. Singapore 1990. Tercera Edición.
- 7 Manual de White Martins, Operación y Mantenimiento para Tanques Criogénicos estacionarios y Carros Tanques. Rev B, septiembre 1997. Emitido por Sérgio Salomao y verificado por Angelo Frazao.
- 8 Normas SSPC, edición 1998



CIB-ESPOL