

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Dimensionamiento Básico de una Destilería para la Producción de 20.000 LT/ Día de Alcohol Industrial a Partir de Melaza: Planta de Vinos ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

LUIS ENRIQUE ORTIZ PATIÑO

PROMOCION: 1987 - 1

LIMA . PERU . 1991

CONTENIDO

Prólogo	8
1. Introducción	10
2. Descripción del proceso de obtención de alcohol y de la operación de una destilería	13
2.1. El proceso de obtención de alcohol industrial	13
2.2. Esquema de operación de una destilería integral	19
3. Balance de materiales	22
3.1. Información general	22
3.1.1. Materia prima	22
3.1.2. Productos a obtenerse	22
3.1.3. Características de operación	23
3.1.4. Productos intermedios	23
3.1.5. Eficiencias	24
3.1.6. Datos adicionales	24
3.2. Balance	25
3.2.1. Reacción de la Glucosa	25
3.2.2. Materia prima	25

3.2.3.	Producción de alcohol	26
3.2.4.	Gas carbónico	27
3.2.5.	Vino (Mosto fermentado)	27
3.2.6.	Leche de levadura	28
3.2.7.	Vino centrifugado	29
3.2.8.	Agua de dilución de la leche de levadura	29
3.2.9.	Pie de cuba	30
3.2.10.	Mosto	30
3.2.11.	Verificación del brix del mosto	31
3.2.12.	Agua de enfriamiento	32
3.2.13.	Acido sulfúrico	34
3.3.	Resumen	35
4.	Cálculo y dimensionamiento básico de equipos	36
4.1.	Introducción	36
4.2.	Criterios para el dimensionamiento y la selección del tipo de recipiente	37
4.2.1.	Generalidades	39
4.2.2.	Tanques de almacenamiento	38
4.3.	Consideraciones generales sobre los materiales y accesorios típicos utilizados	40

4.4. Dimensionamiento de equipos	
4.4.1. Tanque de melaza	42
4.4.2. Tanque de agua de dilución	54
4.4.3. Tanque de agua de enfriamiento	61
4.4.4. Tanque de mosto	67
4.4.5. Tanque de ácido sulfúrico concentrado	69
4.4.6. Tanque de transferencia de ácido sulfúrico	77
4.4.7. Tanque de ácido sulfúrico diluido	85
4.4.8. Diluidor	88
4.4.9. Tanque de almacenamiento intermedio de mosto	105
4.4.10. Pre-fermentadores	108
4.4.11. Tanques fermentadores	122
4.4.12. Tanque volante	127
4.4.13. Tanque de colección de lodos	129
4.4.14. Tanque de anti-incrustante	131
4.4.15. Centrífugas	134
4.4.16. Filtros	137
5. Costos	144
Conclusiones	150
Bibliografía	155
Apéndice	157
Planos	168

FIGURAS

- fig. 1. Flujograma del proceso Melle-Boinot de obtención de alcohol
- fig. 2. Geometría de un tanque cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura
- fig. 3. Geometría de un tapa bombeada y rebordeada
- fig. 4. Geometría de un tanque cilíndrico vertical de fondo cónico
- fig. 5. Número de bombeo en función del número de Reynolds del impulsor, para impulsores de álabes inclinados
- fig. 6. Número de Potencia para distintas configuraciones de alabes en un agitador
- fig. 7. Número y ubicación de impulsores para agitadores en función de la relación Z/D_i

PLANOS

DA-F-01	Flujograma de operación de la planta de alcohol
DA-PV-01	Tanque de melaza
DA-PV-02	Tanque de agua de dilución
DA-PV-03	Tanque de agua de enfriamiento
DA-PV-04	Tanque de mosto
DA-PV-05	Tanque de ácido sulfúrico concentrado
DA-PV-06	Tanque de transferencia de ácido sulfúrico
DA-PV-07	Tanque de ácido sulfúrico diluido
DA-PV-08	Diluidor
DA-PV-09	Tanque de almacenamiento intermedio de mosto
DA-PV-10	Pre-fermentadores
DA-PV-11	Tanques fermentadores
DA-PV-12	Tanque volante
DA-PV-13	Tanque de colección de lodos
DA-PV-14	Tanque de anti-incrustante
DA-PV-16	Filtros
DA-PV-17	Vista isométrica de la planta
DA-PV-18	Elevación general de la planta
DA-PV-19	Vistas de planta - Nivel 0
DA-PV-20	Vistas de planta - Niveles superiores

P R O L O G O

Hoy en día, el alcohol etílico puede obtenerse de diversos modos y con tecnologías distintas. En el Perú, la otrora importante industria del azúcar a partir de la caña, cultivada y procesada en una docena de ingenios azucareros en la costa, sufre hoy una crisis originada fundamentalmente en la deficiente administración de los ingenios, así como las bajas eficiencias en las que han devenido las instalaciones existentes, y ve como una ayuda a la solución de sus problemas la diversificación de su producción, procesando melazas residuales y/o jugos de caña con el fin de obtener alcohol industrial.

Las plantas para la producción de alcohol que nos ocupan son, por esta razón, instalaciones que se proyectan para operar de manera conexas a los ingenios azucareros, consumiendo melaza y/o jugo de caña, planteándose a la vez la posibilidad de elevar la eficiencia global de planta al permitir esbozarse esquemas de uso conjunto y más eficiente de vapor, electricidad y aguas industriales, entre otros insumos.

El desarrollo de esta tesis tiene como sustento y pilar fundamental las experiencias adquiridas por el

autor en la participación directa en la elaboración de Ingeniería básica y de detalle para el montaje de varias de estas plantas en nuestro país.

En el 1er. capítulo se plantea cual es el propósito de la tesis y sus alcances.

En el capítulo 2 se describe de manera detallada el proceso de obtención de alcohol y el modo de operación de una destilería.

En el 3er. capítulo se dimensiona la planta de vinos mediante la elaboración de un balance de materiales.

En el capítulo 4 se lleva a cabo el dimensionamiento básico de los equipos, utilizando para ello criterios generales.

Y en el último capítulo, el número 5, se hace una estimación de los costos de inversión requeridos.

CAPITULO 1. INTRODUCCION

El proceso de obtención de alcohol a escala industrial puede dividirse en 2 etapas : la de preparación y fermentación del mosto, llevada a cabo en equipos fabricados o adquiridos localmente, cuyo dimensionamiento constituye el objetivo central de este trabajo, y la etapa de destilación llevada a cabo en equipos como columnas de destilación y depuración e intercambiadores de calor cuya fabricación y suministro, por razones de mercado y volúmenes de producción, se ha efectuado históricamente desde el exterior.

Estas bien diferenciadas dos etapas pueden llevarse a cabo en sendas plantas con las instalaciones necesarias para en un caso producir vinos o mostos fermentados, esto es soluciones alcohólicas de relativamente bajo grado a partir de melazas, y en el otro, utilizar estos vinos como insumos básicos para la obtención de alcohol industrial mediante un proceso de concentración progresiva por destilación.

El objeto de la presente tesis es el dimensionamiento básico de la planta de vinos y de los equipos componentes

necesarios para la producción de vinos en la cantidad y calidad necesarias para la obtención de 20,000 litros por día de alcohol en una planta de destilación de alcohol industrial. Todo lo cual ha necesitado de un análisis de los requerimientos de operación y diseño de los mismos.

Entre las etapas mas importantes en el proyecto de una planta de vinos para la producción de alcohol, están las siguientes :

Ingeniería básica :

- Diseño del proceso.
- Balance de materiales.
- Cálculo básico y dimensionamiento de los equipos componentes.
- Disposición de planta y arquitectura básica.

Ingeniería de detalle :

- Cálculo y diseño de detalle de los equipos.
- Selección adecuada de los equipos a adquirir.
- Cálculo y diseño de los sistemas de tuberías de procesos y servicios.
- Proyecto eléctrico.
- Diseño de las obras civiles.
- Cálculo y diseño estructural.

De todo ello, el objetivo de esta tesis es desarrollar, al nivel de ingeniería básica, el dimensionamiento de la planta mediante el desarrollo del balance de materiales, y el dimensionamiento preliminar de los equipos, utilizando para ello criterios y normas generales, sugiriendo además una disposición y arquitectura de planta particular.

El proceso de elaboración de vinos para la producción alcohol requiere del almacenamiento y procesamiento de insumos líquidos en equipos de variada construcción, dependiendo de las operaciones que se requieran desarrollar y de las propiedades físicas y químicas de los líquidos.

El dimensionamiento de los equipos es a nivel preliminar, y tiene como objeto servir como base para el desarrollo de la ingeniería de detalle de los mismos.

Se evalúa, de manera adicional, el costo de inversión estimado de los equipos componentes.

CAPITULO 2
DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL Y DE LA
OPERACION DE UNA DESTILERIA

2.1 El proceso de obtención de alcohol industrial.-

La obtención de alcohol etílico a partir de melazas de caña es un proceso en el que se diferencian dos etapas básicas :

- Preparación y fermentación del mosto
- Destilación

La etapa de preparación y fermentación del mosto consta además de las siguientes :

- Dilución
- Pre-fermentación
- Fermentación
- Filtración y centrifugación

El proceso se inicia en la etapa de dilución, en donde la melaza, subproducto residual en la producción de azúcar de caña, se diluye con agua o jugo de caña para conseguir una solución con el concentración de azúcares o Brix adecuado para su óptima fermentación, esta solución es conocida como mosto, y al equipo en el que se prepara se le conoce como diluidor. La melaza tiene usualmente un

Brix de 85° y el mosto debe tener una concentración entre 22 y 25° Brix para que la fermentación se lleve a cabo de manera eficiente.

El mosto así preparado pasa a la etapa de fermentación, proceso que se lleva a cabo en un período de tiempo dado y en un conjunto de cubas o tanques calculados y dimensionados de manera tal que puedan operar cíclicamente. El proceso se inicia llenando uno de los tanques con pie de cuba, o fermento de levadura preparada, hasta un tercio de su volumen, luego se completa el llenado con mosto. La glucosa, contenida en este último, en presencia de la levadura se desdobla en alcohol etílico y anhídrido carbónico en una reacción de tipo exotérmico. El rendimiento de este proceso de desdoblamiento fácilmente alcanza en la práctica el 90 % y se lleva a cabo de manera óptima cuando la temperatura de fermentación del mosto se mantiene entre 28 y 32 °C, aunque debido al desprendimiento de calor en la reacción, esta tiende a elevarse por encima de estos valores, originando una disminución en la actividad de la levadura (con la consiguiente disminución en la producción de alcohol), además de favorecer el desarrollo de microorganismos indeseables. Por esta razón es necesario una refrigeración adecuada que permita regular dicha temperatura.

La fermentación es un proceso bioquímico complejo; la levadura proporciona durante la fermentación un catalizador orgánico, o enzima, conocido como invertasa que efectúa la hidrólisis o inversión de los azúcares no fermentescibles como la sacarosa en glucosa o fructosa, monosacáridos a partir de los cuales solo es posible la formación de alcohol por fermentación. Luego la levadura produce otra enzima, la zimasa, que transforma los monosacáridos en alcohol y CO_2 .

El mosto fermentado o vino, con un grado alcohólico entre 7 a 8 °GL, constituido por una mezcla de alcohol, agua, levadura e impurezas, pasa luego a las etapas de filtración y centrifugación. En la primera de ellas, se separan las impurezas gruesas que podrían obturar las toberas de las centrífugas donde se lleva a cabo la segunda etapa. El vino, libre de impurezas, es centrifugado con el objeto de recuperar la levadura contenida en él. Aproximadamente un 10 % del volumen del vino o mosto fermentado es retirado como leche de levadura, la que posteriormente es tratada en la etapa de pre-fermentación con la adición de agua y pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y otros nutrimentos a fin de preparar el fermento conocido como pie de cuba, lo que se realiza en los tanques conocidos como pre-fermentadores.

El vino centrifugado está listo finalmente para enviarse a la etapa de destilación, suministrándole previamente aditivos para disminuir las incrustaciones a su paso por las columnas de destilación.

En la etapa de destilación se lleva a cabo una concentración progresiva del vino; el etanol es separado del agua, no fermentables y productos secundarios de la fermentación utilizando vapor como fuente de energía. El alcohol destilado en esta última etapa es de 2 calidades: alcohol de 1ra. con una graduación de 96 °GL y alcohol de 2da. con una graduación de 92 °GL.

Finalmente, se elimina, como efluente, la vinaza (mezcla de agua, residuos y alcohol con menos de 0.3 °GL), produciéndose además como producto intermedio el aceite fusel (conocido también como aceite de caña, es un alcohol amílico impuro que se vende como disolvente) en un volumen muy pequeño.

La eficiencia de la etapa de destilación se estima en 95 % , y la de la etapa de fermentación en 90 %, mientras que en las de dilución, pre-fermentación, filtración y centrifugación se considera que no hay pérdidas.

El proceso así concebido se conoce como Melle-Boinot y su principal ventaja radica en su capacidad de

recuperación de levaduras y por tanto en la autoproducción de fermentos, insumos básicos en el proceso. En la producción a gran escala de alcohol industrial por fermentación es importante maximizar el rendimiento en la producción de alcohol y reducir el tiempo de fermentación. El proceso Melle-Boinot ofrece probablemente los mejores medios para alcanzar este objetivo. En la figura 1. se muestra un diagrama de flujo del proceso Melle-Boinot para la producción de alcohol industrial a partir de melaza.

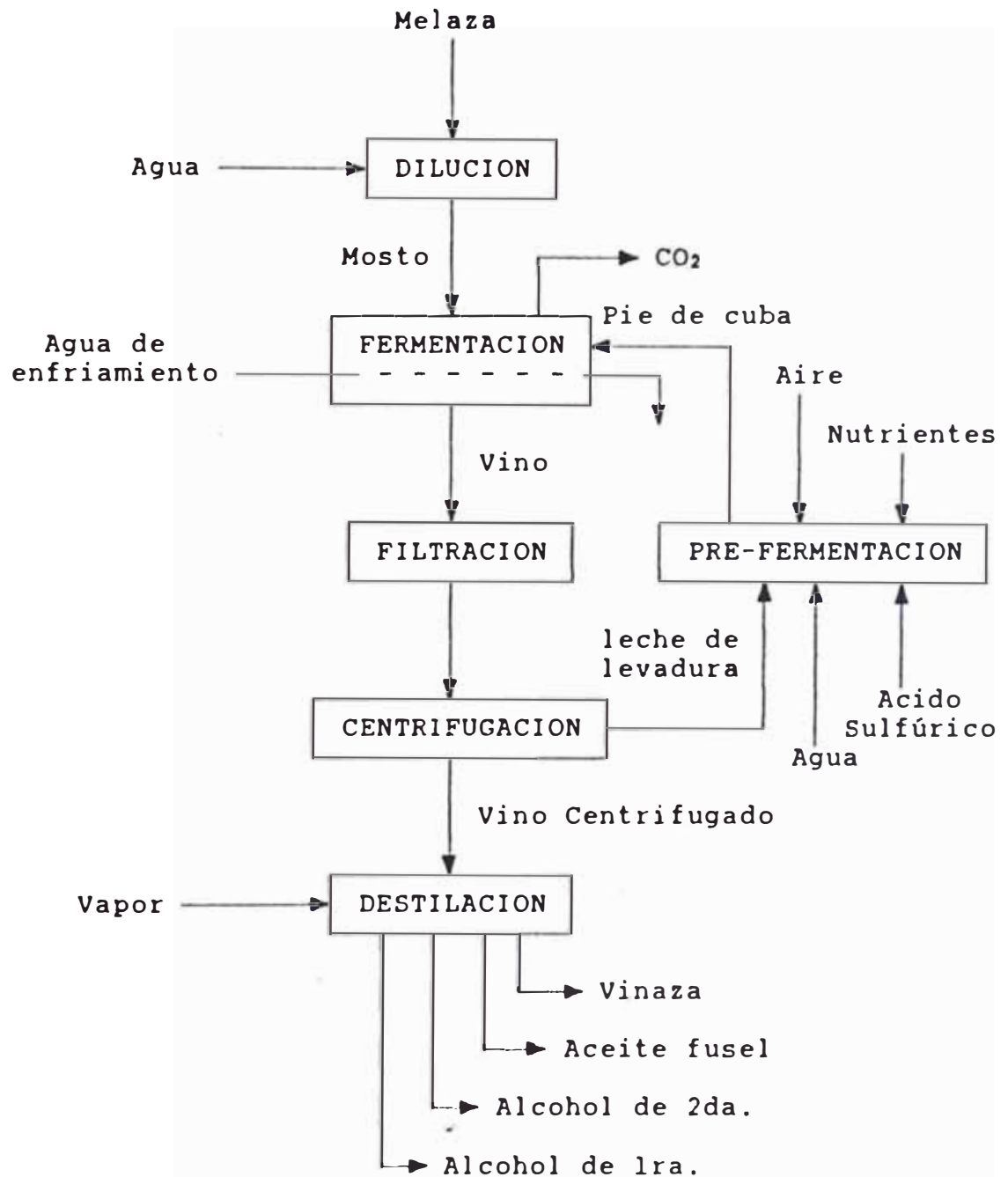


fig. 1. Flujograma del proceso Melle-Boinot de obtención de alcohol

2.2 Esquema de operación de una destilería integral.-

Para llevar a cabo el proceso de producción de alcohol a escala industrial, a partir de la melaza como materia prima, en una destilería que opere de manera conjunta a un ingenio azucarero y bajo el esquema Melle-Boinot, se requiere de una serie de equipos que por su naturaleza y características definen el tipo, arquitectura y tamaño de la planta.

Tal como se ha descrito en el punto anterior, el proceso de obtención de alcohol se lleva a cabo en varias etapas. La etapa de destilación se realiza en columnas de platos de destilación, depuración, rectificación y agotamiento, de forma cilíndrica y relativa gran altura, y en intercambiadores de calor del tipo de coraza y tubos, los que se ubican en un edificio de acero estructural de mas de 20 m. La etapa de fermentación se lleva a cabo en grandes cubas o tanques ubicados en un área contigua al edificio principal, y la etapas de preparación del mosto y depuración primaria del vino se llevan a cabo en operaciones escalonadas en equipos que se ubican en distintos niveles del edificio principal.

Los insumos básicos para el proceso, como la melaza, agua de dilución, agua de enfriamiento, ácido

sulfúrico y anti-incrustante, alimentan el proceso por gravedad y se almacenan para su consumo diario en niveles elevados del edificio, aunque con frecuencia se almacenan también en cantidades mayores en el nivel 0 para lograr cierta autonomía en los suministros de operación de la planta. La melaza, proveniente de la fábrica de azúcar se almacena usualmente en una gran poza al aire libre.

Por tanto, la planta y sus equipos se proyectarán en el esquema de operar en un edificio central de acero estructural, con varios niveles y relativa gran altura, un área de fermentación contigua donde se ubicarán los tanques o cubas de fermentación, y las zonas y servicios aledaños que sean necesarios.

Cabe enfatizar que esta es una alternativa elegida entre otros tantos esquemas de operación como los sugeridos por una disposición de planta de tipo horizontal, la cual requiere una mayor área disponible, y cuyo uso es en todo caso el resultado de la ponderación de ventajas y limitaciones particulares de cada caso.

En el plano N° DA-f-01 se muestra un flujograma general de operación de la planta de alcohol, en donde se distinguen los equipos y los procesos

ligados a cada una de las plantas componentes de una destilería integral, la planta de vinos y la planta de destilación.

CAPITULO 3 BALANCE DE MATERIALES

3.1 Información general

3.1.1 Materia prima :

La producción de alcohol etílico se hará a partir de melaza como materia prima con las siguientes características:

cantidad :	72.50 ton/día
densidad :	1.45 kg/lt
Brix :	85°
ARF :	50 %

ARF es la abreviatura de azúcares reductores fermentescibles, y es una medida de la Glucosa contenida en la melaza.

3.1.2 Productos a obtenerse :

Deberá producirse Vino o mosto fermentado con un grado alcohólico de 8 °GL en la calidad y cantidad suficiente para producir alcohol etílico en la proporción y calidades siguientes :

	Alcohol de 1ra.	Alcohol de 2da.
% de la producción de alcohol total en volumen	90 %	10 %
Grado alcohólico	96 °GL	92 °GL

3.1.3 Características de operación :

- Proceso de conducción de la fermentación : Melle - Boinot
- Leche de levadura como % de vino: 10% en volumen
- Relación de dilución agua/leche de levadura : 2/1
- Pie de cuba como % de vino : 30% en volumen
- Temperatura de fermentación : 32 °C
- Temperatura ambiente (TBS) : 26 °C
- Temperatura de bulbo húmedo (TBH) : 25 °C
- Consumo de ácido sulfúrico : 2 gr/m³ mosto
- Concentración ácido sulfúrico en volumen : 50 %
- Densidad de ácido sulfúrico : 1.8 kg/lt

3.1.4 Productos intermedios :

- Leche de levadura:
 - Densidad : 1.18 kg/lt

- Pie de Cuba:	
Grado alcohólico :	3 °GL
- Mosto fermentado :	
Densidad :	1.02 kg/lt

3.1.5 Eficiencias :

Eficiencia etapa de fermentación	90 %
Eficiencia etapa de destilación	95 %

Dentro del 10% de pérdidas en fermentación se considera un 0.6 de pérdidas por arrastre de gases. Las pérdidas indeterminadas se consideran dentro del 15% de pérdidas totales en peso.

3.1.6 Datos adicionales :

Densidades

- Alcohol absoluto(100 °GL)	0.79432 kg/lt
- Alcohol de 1ra. (96 °GL)	0.81206 kg/lt
- Alcohol de 2da. (92 °GL)	0.82705 kg/lt

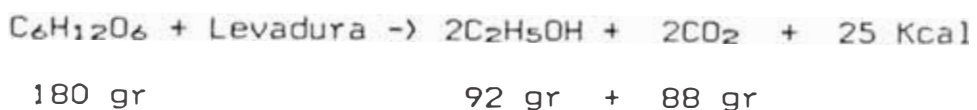
Energía liberada en la reacción de fermentación,
por mol de Glucosa : 25 Kcal

3.2. Balance

3.2.1 Reacción de la glucosa :

La ecuación de reacción de la glucosa contenida en el mosto es la siguiente:

Glucosa + Levadura \rightarrow Alcohol + Anhídrido + Calor
 Etílico Carbónico



Luego el rendimiento teórico será:

511.11 Kg de Etanol por tonelada de Glucosa
 ó 643.46 lt de Etanol por tonelada de Glucosa

3.2.2 Materia prima :

3.2.2.1 Cantidad de Melaza

La cantidad de melaza procesada es 72.50 ton/día. La melaza con 85 °Brix tiene una densidad de 1.45 ton/m³, luego el volumen que se procesará diariamente será

$$V = \frac{72.50}{1.45} = 50 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.2.2.2 Glucosa disponible:

ARI' = ARI' en la melaza

$$\text{ARF} = 0.50 \times 72.5 \text{ ton/día}$$

$$\text{ARF} = 36.25 \text{ ton/día}$$

3.2.3 Producción de alcohol :

- Producción teórica de alcohol absoluto (100°GL) :

producción en peso:

.

$$m = 511.11 \text{ kg/ton ARF} \cdot 36.25 \text{ ton ARF/día}$$

$$m = 18.528 \text{ ton/día}$$

producción en volumen:

$$V = \frac{18.528 \text{ ton}}{0.79432 \text{ ton/m}^3}$$

$$V = 23.326 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Producción de alcohol comercial :

Si tomamos en cuenta las pérdidas en las etapas de fermentación y destilación, el alcohol comercial de 1ra. y 2da. a producirse sabiendo que constituyen el 90% y 10% de la producción respectivamente y que sus grados alcohólicos son 96 °GL y 92 °GL será:

$$\begin{aligned} \text{Alcohol de 1ra.} &= \frac{23.326 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.90 \times 0.85}{0.96} \\ &= 18.588 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alcohol de 2da.} &= \frac{23.326 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.10 \times 0.85}{0.92} \end{aligned}$$

2.155 m³/día

Total - 20.743 m³/día

- 20,743 lt/día

como sus densidades son 0.81206 kg/lt y 0.82705 kg/lt respectivamente, la producción en peso será la siguiente :

Alcohol = 18.588 x 0.81206 = 15.094 ton/día
de 1ra.

Alcohol = 2.155 x 0.82705 = 1.782 ton/día
de 2da.

total: 16.876 ton/día

3.2.4 Gas carbónico :

Considerando que la producción de CO₂ se ve afectada por la eficiencia del proceso de fermentación, tendremos:

CO₂ - 0.489 ton/ton ARF • 36.25 ton ARF • 0.90

CO₂ - 15.954 ton/día

3.2.5 Vino (Mosto fermentado)

Considerando 5% de pérdidas en la etapa de destilación, un tenor alcohólico del vino de 8°GL, que la producción de alcohol absoluto es de 23.326 m³/día, y si además tomamos en cuenta que en la etapa de centrifugación se separa la leche de

levadura que constituye un 10% en volumen del vino, tendremos:

$$V = \frac{23.326 \text{ m}^3/\text{día}}{0.95 \times 0.08} \times \frac{1}{(1-0.1)}$$

$$V = 341.023 \text{ m}^3/\text{día}$$

y el flujo másico correspondiente será:

$$m = 341.023 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1.02 \text{ ton/m}^3$$

$$m = 347.84 \text{ ton/día}$$

3.2.6 Leche de levadura :

Sabemos que esta constituye el 10% del volumen del Vino, luego:

$$V = 0.10 \times 341.023 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V = 34.102 \text{ m}^3/\text{día}$$

Conociendo su densidad, el flujo másico correspondiente será :

$$m = 34.102 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1.18 \text{ ton/m}^3$$

$$m = 40.241 \text{ ton/día}$$

3.2.7 Vino centrifugado :

Teniendo en cuenta que el vino centrifugado constituye el 90% del volumen de mosto fermentado tendremos :

$$V = 341.023 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 0.90$$

$$V = 306.921 \text{ m}^3/\text{día}$$

Además sabemos que el peso del vino centrifugado es igual al peso del mosto fermentado menos el peso de la leche de levadura recuperada, luego:

$$m = 347.844 - 40.241$$

$$m = 307.603 \text{ ton/día}$$

Luego, la densidad del vino centrifugado será:

$$d = 307.603 / 306.921$$

$$d = 1.002 \text{ ton/m}^3$$

3.2.8 Agua de dilución leche de levadura :

Para reducir el tiempo de fermentación, se recomienda diluir la leche de levadura con agua en una proporción de 2/1 en volumen, por lo tanto la cantidad de agua requerida será:

$$V = 34.102 \text{ m}^3/\text{día} \times 2$$

$$V = 68.204 \text{ m}^3/\text{día}$$

y en peso, considerando una densidad de 1.00 ton/m³ para el agua:

$$m = 68.204 \text{ ton/día}$$

3.2.9 Pie de cuba :

Si despreciamos el peso del ácido sulfúrico, nutrientes y demás aditivos, el peso de pie de cuba será igual al peso de la leche de levadura más el peso del agua de dilución, luego:

$$m = 40.241 + 68.204$$

$$m = 108.445 \text{ ton/día}$$

o en volumen:

$$V = 34.102 + 68.204$$

$$V = 102.306 \text{ m}^3/\text{día}$$

y su densidad será entonces:

$$d = 108.445/102.306$$

$$d = 1.06 \text{ ton/m}^3$$

3.2.10 Mosto :

El peso del Mosto será igual al peso del Vino más el peso del CO₂ liberado menos el peso del Pie de cuba agregado:

$$m = 347.844 + 15.954 - 108.445$$

$$m = 255.353 \text{ ton/día}$$

El agua de dilución necesaria para diluir la melaza y formar el mosto se determina haciendo un balance de masas en la etapa de dilución.

Agua - Mosto - Melaza

$$m = 255.353 - 72.500$$

$$m = 182.853 \text{ ton/día}$$

o en volumen:

$$V = 182.853 \text{ m}^3/\text{día}$$

luego, el volumen de mosto estará dado por:

Mosto - Melaza + Agua de dilución

$$V = 50.000 + 182.853$$

$$V = 232.853 \text{ m}^3/\text{día}$$

por lo tanto su densidad será:

$$d = 255.353 / 232.853 = 1.097 \text{ ton/m}^3$$

3.2.11 Verificación del Brix del Mosto :

El Brix del Mosto debe asumir los valores recomendados para que el proceso de fermentación se lleve a cabo óptimamente.

Su valor se determina con un balance de sólidos disueltos (Brix) en la etapa de dilución:

$$\text{Mosto} \cdot \text{Brix}_{\text{mosto}} = \text{Melaza} \cdot \text{Brix}_{\text{mel}} + \text{Agua} \cdot \text{Brix}_{\text{agua}}$$

$$\text{Brix}_{\text{mosto}} = \frac{72.50 \cdot 0.85 + 182.853 \cdot 0.00}{255.353}$$

$$\text{Brix}_{\text{mosto}} = 24.13$$

3.2.12 Agua de enfriamiento

Los requerimientos de agua de enfriamiento de las cubas de fermentación se calculan evaluando la cantidad de calor que se necesita disipar durante el proceso de fermentación :

- Calor generado :

La Cantidad de calor que se genera en el proceso de fermentación es de 25 Kcal por cada 180 gr de Glucosa (ARF) que reacciona; luego, como se dispone de 36.25 ton/día de ARF y se sabe además que el rendimiento del proceso fermentativo es de 90% , entonces el calor liberado durante la reacción será:

$$q = 36.25 \cdot 10^6 \text{ gr/día} \cdot 0.90 \cdot 25 \text{ Kcal} / 180 \text{ gr}$$

$$q = 4'531,250 \text{ Kcal/día}$$

- Calor absorbido por el mosto :

Considerando :

Temperatura de fermentación : 32 °C
 Temperatura del mosto 25 °C
 Brix del Mosto : 24.13 °B
 Calor específico mosto: 1-0.006°B Kcal/kg.°C
 Flujo másico de mosto : 255.353 ton/día

luego el calor absorbido será :

$$q_1 = (1 - 0.006 \cdot 24.13) \cdot 255,353 \cdot (32-25)$$

$$q_1 = 1'528,681 \text{ Kcal/día}$$

- Calor absorbido por el Pie de cuba :

Flujo másico de Pie de cuba : 108,445 ton/día
 Temperatura de fermentación 32 °C
 Temperatura del Pie de cuba : 25 °C
 Calor específico pie de cuba: 1 Kcal/kg.°C

luego el calor absorbido será :

$$q_2 = 1 \cdot 108,445 \cdot (32-25)$$

$$q_2 = 759,115 \text{ Kcal/día}$$

- Calor absorbido por el agua de enfriamiento

$$q_3 = q - q_1 - q_2$$

$$q_3 = 4'531,250 - 1'528,681 - 759,115$$

$$q_3 = 2'243,454 \text{ Kcal/día}$$

- Agua de enfriamiento requerida :

Considerando :

Temperatura inicial del agua : 25 °C

Temperatura final del agua : 27 °C

Calor específico agua : 1 Kcal/kg.°C

luego, la cantidad de agua de enfriamiento requerida será:

$$m = \frac{q_3}{C_p \times dT} = \frac{2'243,454 \text{ Kcal/día}}{1 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C} \times (27-25) ^\circ\text{C}}$$

$$m = 1,121.727 \text{ ton/día}$$

y en volumen :

$$V = 1,121.727 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.2.13 Acido sulfúrico :

Como sabemos el consumo de ácido sulfúrico es aproximadamente de 2 gr/lt de mosto, luego el consumo diario será:

$$m = 2 \times 232.853$$

$$m = 465.706 \text{ kg/día}$$

y en volumen:

$$V = 465.706 / 1.8$$

V - 258 lt/día

3.3 Resumen

A continuación se presenta un cuadro resumen del balance de materiales realizado, en el que se muestran los flujos diarios tanto en peso como en volumen :

Cuadro 1. Resumen del balance de materiales

	ton/día	m ³ /día
MELAZA	72.500	50.000
MOSTO	255.353	232.853
AGUA DILUCION DEL MOSTO	182.853	182.853
MOSTO FERMENTADO (VINO)	347.844	341.023
AGUA REFRIGERACION FERMENTACION	1,121.727	1,121.727
PIE DE CUBA	108.445	102.306
VINO CENTRIFUGADO	307.603	306.921
LECHE DE LEVADURA	40.241	34.102
AGUA DILUCION LECHE DE LEVADURA	68.204	68.204
ALCOHOL DE 1ra.	15.094	18.588
ALCOHOL DE 2da.	1.782	2.155
ACIDO SULFURICO	0.466	0.258

CAPITULO 4 CALCULO BASICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

4.1 Introducción

Los equipos componentes de la planta de vinos, a excepción de las centrífugas, son diseñados y fabricados localmente. Dichos equipos pueden ser considerados como tanques o recipientes con las modificaciones necesarias para permitir que desarrollen las funciones requeridas. De modo que una de las consideraciones mas importantes en el diseño de estos equipos es en principio la selección del tipo de recipiente que desarrolle el servicio requerido en la manera mas satisfactoria, por lo cual antes de proceder al dimensionamiento básico de cada uno de ellos se mencionarán cuales son los criterios generales para la selección del tipo de recipiente. Además se detallan en particular cuales son las consideraciones que se han tomado en cuenta para utilizar tanques cilíndricos horizontales de tapas bombeadas y soportes tipo montura como recipientes de almacenamiento de insumos, debido a que su número es considerable dentro de todo el conjunto.

4.2 Criterios para el dimensionamiento y selección del tipo de recipiente.-

4.2.1 Generalidades

Además de la naturaleza de utilización del equipo, se consideran otros factores tales como las propiedades del material o líquido manipulado, los esfuerzos inducidos en el equipo y la apariencia estética. Se toma también en cuenta el criterio de minimización del costo de fabricación en relación a la vida útil esperada y el servicio que ha de tener el equipo.

Resumiendo entonces, los factores tomados en cuenta fundamentalmente en esta elección son los siguientes :

- Función y localización del equipo.

Capacidad requerida para el procesamiento, o volumen que se requiera almacenar.

Naturaleza del fluido a almacenar o procesar.

Requerimientos particulares debido a esfuerzos inducidos en los equipos y a condiciones de operación como temperatura y presión de operación.

Criterios de minimización de costos de

fabricación y apariencia estética.

4.2.2 Tanques de almacenamiento

Los tanques de melaza, mosto, agua de dilución y agua de enfriamiento, se conciben como recipientes "pulmón" o de almacenamiento intermedio, para proveer de estos insumos al proceso de una manera continua y por gravedad, de modo que su suministro pueda ser regulado con comodidad.

Los insumos son transportados hasta estos tanques desde cisternas de almacenamiento o fuentes de suministro en los ingenios de azúcar o en las proximidades de la planta por medio de bombas que funcionan intermitentemente. En el caso del tanque de mosto, este recibe la melaza diluida en el nivel 2,500 del edificio. Por ello estos tanques elevados se dimensionan para un tiempo de retención que permita una operación de las unidades de bombeo con una frecuencia de arranques y paradas adecuada.

El tanque de ácido sulfúrico concentrado sirve como recipiente de almacenamiento permanente de ácido.

Se ha determinado que el tipo mas adecuado de tanque para estos usos es el cilíndrico, horizontal, de tapas bombeadas y rebordeadas, y

soportes tipo montura, debido fundamentalmente a las siguientes razones :

- Poco requerimiento de altura disponible en los ambientes donde se ubiquen.
- Buena distribución de peso.
- Fácil acceso a sus elementos de control y registro.

Estos tanques poseen conexiones de alimentación y descarga, un manhole en la parte superior, un respiradero, y un drenaje en la parte inferior. Algunos de ellos poseen además un mecanismo de control de nivel de líquido y conexiones de rebose o retorno.

Las tapas bombeadas, aunque no son indispensables pues los tanques no operan a presión, son de uso común en destilerías de alcohol. La ausencia de aristas en ángulo cortante en el interior de los tanques disminuye la tendencia a la acumulación de residuos e impurezas, contribuyendo a mantener un proceso mas limpio y a mejorar la estética del conjunto.

4.3 Consideraciones generales sobre los materiales y accesorios típicos utilizados .-

En general, para la fabricación de los equipos se deben considerar los siguientes materiales :

Material para planchas de acero :

- Acero al carbono:

Acero estructural tipo ASTM A 283'C, o su equivalente en acero SIDER PERU :

Acero laminado en caliente en cualquiera de las calidades siguientes :

SIDER PDC E21 : plancha delgada

SIDER PG E21 : plancha gruesa

SIDER BOC E21 : bobinas

Sin embargo, en lo posible se plantea usar solo bobinas de 1.22 m. de ancho, de modo de disminuir el desperdicio de material y el número de juntas soldadas.

Sus características de resistencia mecánica son las siguientes :

Esfuerzo a la tracción (σ_t) : 30,000 psi

Esfuerzo admisible de trabajo (σ_w):12,650 psi

Acero inoxidable :

Acero inoxidable del tipo AISI 316, en planchas de 4' x 8' (1.22 x 2.44 m.).

Sus características de resistencia mecánica son las siguientes :

Esfuerzo a la tracción (σ_t) : 30,000 psi

Esfuerzo admisible de trabajo (σ_w): 18,750 psi

Soldadura :

- Del tipo AWS E 6011 y AWS E 6013, para soldadura de penetración y acabado respectivamente, en la unión de planchas de acero al carbono.

- Del tipo AWS E 316-16 para la unión de planchas y materiales de acero inoxidable.

Del tipo AWS E 310-16 para la unión de piezas de acero inoxidable y acero al carbono.

Además, debido a su numero, se describen los accesorios típicos siguientes :

Manholes :

Los manholes o agujeros de hombre para el registro se fabrican de acuerdo a las normas API 650. Dado el tamaño de los tanques, es suficiente en todos los casos manholes estándares de 20" de diámetro.

Controles de nivel :

Se instalan controles de nivel cuando se desee controlar el nivel de líquido. Se pueden usar controles de nivel del tipo mecánico por su simplicidad y bajo costo. Los tanques se proveen de

soportes para dichos dispositivos en su parte superior.

4.4 Dimensionamiento de equipos

4.4.1 Tanque de melaza.-

4.4.1.1 Descripción.-

Este tanque almacena la melaza en un punto elevado del edificio (nivel 5,000) para un suministro continuo al proceso por gravedad. La melaza es transportada hasta allí usualmente desde una gran poza de almacenamiento en las cercanías de la planta por medio de bombas de desplazamiento positivo, propias para la naturaleza del fluido (la melaza tiene una viscosidad del orden de 60,000 cP y una gravedad específica de 1.45), por tuberías de gran tamaño y con un consumo de energía relativamente alto.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura; posee además un manhole, conexiones de alimentación, descarga, rebose y drenaje, un respiradero y un control de nivel para el accionamiento y parada de la bomba de melaza.

Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.1.2 Dimensionamiento.-

Se sabe que la cantidad de melaza procesada diariamente es 50 m^3 . Si consideramos una autonomía de operación de 2 hr y un margen adicional de aproximadamente 10 en el dimensionamiento, entonces el volumen efectivo requerido de tanque será:

$$V_e = 50 \text{ m}^3/\text{día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 2 \text{ hr} \times 1.1$$

$$V_e = 4.50 \text{ m}^3$$

A continuación procederemos a dimensionar el tanque. En la figura 2 se muestra la geometría de un tanque cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soporte tipo montura.

Nomenclatura básica para el dimensionamiento de tanques cilíndricos horizontales de tapas bombeadas y soportes tipo montura :

Lc	longitud casco parte cilíndrica
Di	diámetro interior
Do	diámetro exterior
ts	espesor del casco
th	espesor de las tapas
Sf	longitud de la pestaña recta
Rb	radio de bombeo
Rc	radio de dobléz de las tapas
Dpb	diámetro de la plancha base antes del conformado
h	profundidad de las tapas
Ve	volumen efectivo total
Vo	volumen casco parte cilíndrica
V1	volumen contenido en la sección de profundidad h1 de la tapa
V2	volumen contenido en la sección de profundidad h2 de la tapa
V3	volumen contenido en la sección rebordeada con profundidad sf de la tapa
Vh	volumen contenido en la tapa
%Vr	margen de reserva y volúmenes muertos

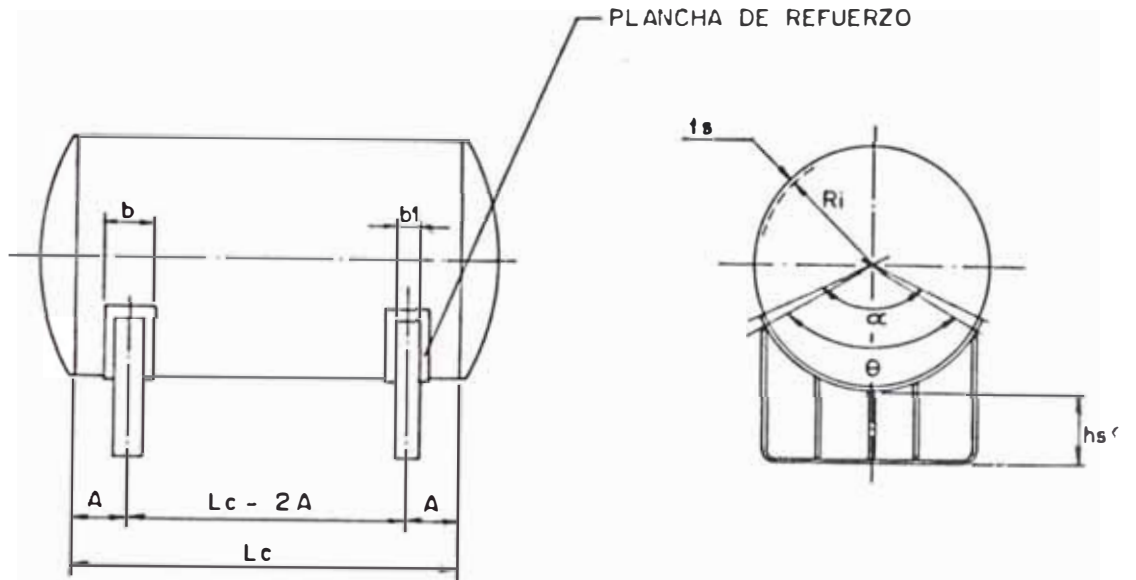


fig. 2. Geometría de un tanque cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura.

- Dimensionamiento de la parte cilíndrica :

La longitud del casco en su parte cilíndrica se puede fijar como un múltiplo del ancho de una plancha comercial (1.22 m.) de tal manera de aprovechar al máximo el material (se ha considerado la utilización de bobinas de acero de 1.22 m. de ancho) de modo que, fijando tentativamente valores, podemos estimar preliminarmente y reajustar progresivamente las dimensiones del tanque de manera que se ajusten a nuestros requerimientos.

$$L_c = 2,440 \text{ mm}$$

$$D_i = \left[\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot L_c} \right]^{0.5}$$

$$D_i = 1,500 \text{ mm}$$

$$L_c/D_i = 1.63$$

$$V_o = 4.31 \text{ m}^3$$

- Dimensionamiento de tapas :

La selección del tipo de tapa bombeada se hace tomando en cuenta la presión de operación del recipiente y el costo de fabricación. La siguiente es una relación de las aplicaciones de los dos tipos de tapas mas comunes :

1) Bombeada y rebordeada (F&D) : de menor profundidad que la elipsoidal, se usa para menores presiones de operación. Su perfil es el de dos segmentos esféricos. Presenta las siguientes variantes :

a. F&D ASME : para presiones de vacío y hasta 100 psig, tiene radio de bombeo R_b igual o menor que el diámetro interior. Radio de dobléz R_c no menor al 6 % de R_b ni a $3 \cdot t_h$, generalmente se toma como 6 % de R_b .

b. F&D estandar : para presiones entre 0 y 15 psig, de menor profundidad que las tapas F&D

ASME. Para tanques no sujetos a código. tiene Radio de bombeo R_b igual a D_o , y Radio de dobléz R_c igual a $3 \cdot t_h$.

2) Elipsoidal : usada cuando la presión de operación excede los 100 psig, su perfil es el de una media elipse 2:1 y su profundidad h es igual a $1/4$ del diámetro interior.

El tanque de melaza no opera a presión, de modo que pueden usarse tapas bombeadas y rebordeadas estandard, y se escoge este tipo por su menor costo.

Geometría de las tapas :

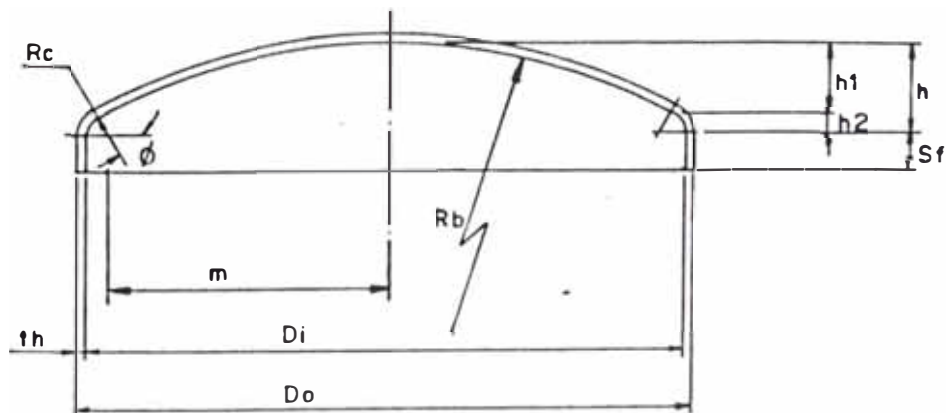


fig. 3. Geometría de una tapa bombeada y rebordeada

- Espesor mínimo recomendado (t_h) : 5 mm (3/16"), este espesor debe chequearse posteriormente para resistir los esfuerzos inducidos y debe considerar una tolerancia por corrosión.
- No se considera un espesor adicional por efecto del adelgazamiento en el conformado, pues este es poco significativo.

Diámetro interior :

$$D_i = 1,500 \text{ mm}$$

Longitud de la pestaña recta :

$$S_f = 38 \text{ mm} \quad (\text{es un valor común})$$

diámetro exterior :

$$D_o = D_i + 2 \cdot t_h$$

$$D_o = 1,510 \text{ mm}$$

Radio de bombeo ;

$$R_b = D_o$$

$$R_b = 1,510 \text{ mm}$$

radio de doblez en las tapas :

$$R_c = 3 \cdot t$$

$$R_c = 15 \text{ mm}$$

Estimamos el diámetro de la plancha base antes del conformado (D_{pb}) :

$$D_{pb} = 25/24 \cdot D_o + 2 \cdot t_h + 2 \cdot S_f$$

$$D_{pb} = 1,659 \text{ mm}$$

Otras dimensiones características se calculan del siguiente modo :

$$m = D_i/2 - R_c$$

$$m = 749.85 \text{ mm}$$

$$\vartheta = \arccos (m/(R_b - R_c))$$

$$\vartheta = 1.05 \text{ rad}$$

$$\vartheta = 59.89^\circ$$

profundidad de las tapas :

$$h = 217 \text{ mm}$$

$$h_2 = 13 \text{ mm}$$

$$h_1 = 204 \text{ mm}$$

Volúmenes de secciones :

$$V_1 = 0.19 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.02 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0.07 \text{ m}^3$$

volumen contenido en una tapa :

$$V_h = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_h = 0.28 \text{ m}^3$$

Volumen total del tanque :

$$V = V_0 + 2 \cdot V_h$$

$$V = 4.87 \text{ m}^3$$

El tanque así dimensionado tiene un margen para cubrir volúmenes muertos y reservas (%Vr) de alrededor 7.5 % .

el volumen efectivo podrá entonces considerarse como :

$$V_e = 4.50 \text{ m}^3$$

Características del material :

Acero al carbono

peso específico (γ_{ac}) : 7,860 kg/m³

490 lb/pie³

Contenido :

Descripción : Melaza

Densidad (δ_{me1}) : 1,450 kg/m³

Cálculo de cargas :

Peso de las tapas (Wh) :

$$\begin{aligned} W_h &= \pi \cdot D_b^2 / 4 \cdot t_h \cdot \gamma_{ac} \\ &= 84.91 \text{ kg} = 186.80 \text{ lb} \end{aligned}$$

Peso del casco (Ws) :

$$\begin{aligned} W_s &= \pi \cdot D_i \cdot L_c \cdot t_s \cdot \gamma_{ac} \\ &= 451.79 \text{ kg} = 993.93 \text{ lb} \end{aligned}$$

Peso del contenido (Wc) :

$$\begin{aligned} W_c &= V \cdot \delta_{me1} \\ &= 7,058.19 \text{ kg} = 15,528.02 \text{ lb} \end{aligned}$$

Carga total sobre soportes (W_t) :

$$\begin{aligned} W_t &= W_h \cdot 2 + W_s + W_c \\ &= 7,679.80 \text{ kg} = 16,895.56 \text{ lb} \end{aligned}$$

Carga sobre cada apoyo (Q) :

$$\begin{aligned} Q &= W_t / 2 \\ &= 3,839.90 \text{ kg} = 8,447.78 \text{ lb} \end{aligned}$$

Dimensionamiento y ubicación de los soportes tipo montura:

La localización de los soportes tipo montura se hace de modo de aprovechar el efecto de rigidez de las tapas y disminuir los esfuerzos causados por el efecto cantilever.

La distancia (A) del extremo de la parte cilíndrica del casco a cada soporte, se fija preliminarmente igual a 0.4 veces el radio exterior (R_o) del tanque y no debe exceder en ningún caso el 20 % de la longitud del casco (L_c).

$$A = 0.4 R_o = 302 \text{ mm}$$

$$A \leq 0.2 L_c = 488 \text{ mm}$$

$$A = 302 \text{ mm} = 11.89 \text{ pulg}$$

Distancia entre soportes (B) :

$$B = L_c - 2A = 1,836 \text{ mm}$$

Angulos característicos :

$$\theta = 120$$

θ , conocido como ángulo incluido de un soporte, no debe ser menor que 120° , esta limitación, impuesta por la mayoría de códigos, está basada en la experiencia.

$$\alpha = \theta + 12^\circ$$

$$\alpha = 132^\circ$$

Ancho del soporte (b_1):

$$b_1 \geq 10 \cdot t_s$$

$$\geq 50 \text{ mm}$$

$$b_1 = 80 \text{ mm} = 3.15 \text{ pulg}$$

Ancho de la plancha de refuerzo (b) :

$$b \geq b_1 + 10 \cdot t_s$$

$$\geq 130 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm} = 5.51 \text{ pulg}$$

Longitud de la plancha de refuerzo (L_{pr}) :

$$L_{pr} = \pi \cdot D_o \cdot \alpha / 180$$

$$= 3,478 \text{ mm} = 136.93 \text{ pulg}$$

Altura del soporte en su punto mas bajo (h_s):

$$h_s = 300 \text{ mm} = 11.81 \text{ pulg}$$

4.4.1.3 Resumen.-

Volúmenes :

$$\text{Volumen total } V = 4.87 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen efectivo } V_e = 4.50 \text{ m}^3$$

Pesos :

Tanque lleno Wt	7,680 kg
-----------------	----------

Tanque vacío Wtv	622 kg
------------------	--------

Dimensiones características :

Casco :

Lc	2,440 mm
----	----------

Di	1,500 mm
----	----------

ts	5 mm
----	------

Tapas :

Rb	1,510 mm
----	----------

th	5 mm
----	------

h	217 mm
---	--------

Sf	38 mm
----	-------

Rc	15 mm
----	-------

	59.89
--	-------

Dpb	1,659 mm
-----	----------

Soportes :

A	302 mm
---	--------

θ	120 °
----------	-------

	132
--	-----

	140 mm
--	--------

tb	3.18 mm
----	---------

l.pr	3,478 mm
------	----------

hs	300 mm
----	--------

b1	80 mm
----	-------

En el plano DA-PV-001 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.2 Tanque de agua de dilución.-

4.4.2.1 Descripción.-

El agua de dilución requerida en procesos es agua relativamente blanda y libre de contaminantes que pudiesen perjudicar el producto y es suministrada desde el ingenio azucarero con bombas centrífugas. Es frecuente que el agua de dilución se almacene previamente en grandes tanques de almacenamiento en las proximidades de la planta, desde cuyo lugar se transporta hasta el tanque elevado con ayuda de bombas centrífugas.

El tanque elevado de agua de dilución se ha ubicado en el nivel 18,000 y provee de un suministro diario de agua a los distintos procesos.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura, posee además un manhole, conexiones de alimentación, descarga, rebose y drenaje, un respiradero y un control de nivel para el accionamiento y parada de la bomba de agua. Su construcción es en acero al carbono estructural.

Por el uso múltiple dado al agua de dilución, el tanque está provisto de dos conexiones de descarga, una de ellas para la alimentación a los prefermentadores, centrífugas y filtros; y la otra para alimentar al diluidor, tanque de ácido sulfúrico diluido y al tanque de anti-incrustante.

4.4.2.2 Dimensionamiento :

Se sabe que los requerimientos de agua de dilución son :

4.4.2.2.1 Agua de dilución del mosto :

Del balance se tiene que el requerimiento de agua de dilución es de 182.853 m³/día. Sin embargo, en la situación mas desfavorable, la cual se presenta al inicio de la zafra, es necesario trabajar con mostos bastante diluidos para poder adaptar la levadura al medio. Normalmente estos mostos deberán tener un brix de 14°, por lo que la cantidad de agua necesaria será :

$$\text{mosto} \cdot \text{Brix}_{\text{mosto}} + \text{melaza} \cdot \text{Brix}_{\text{mel}} + \text{agua dilución} \cdot \text{Brix}_{\text{agua}}$$

pero además se sabe que :

$$\begin{array}{l} \text{mosto} + \text{melaza} + \text{agua dilución} \\ \text{Brix}_{\text{agua}} = 0 \end{array}$$

luego :

$$(\text{melaza} + \text{agua dil.}) \cdot B_{\text{mosto}} = \text{melaza} \cdot B_{\text{mel}}$$

por lo tanto :

$$\begin{aligned} \text{agua dilución} &= \text{melaza} \cdot (B_{\text{mel}}/B_{\text{mosto}} - 1) \\ &= 72.5 \text{ ton/día} \cdot (85/14 - 1) \\ &= 367.679 \text{ ton/día} \\ &= 367.679 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

por tanto el gasto horario, considerando que el suministro de agua al diluidor se hace de manera continua y permanente, será :

$$\begin{aligned} Q &= 367.679 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \\ &= 15.320 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

4.4.2.2.2 Agua de dilución de la leche de levadura:

El agua es suministrada a los tanques pre-fermentadores en períodos de tiempo relativamente cortos.

Se sabe que el proceso de recepción, acondicionamiento y descarga de insumos en los tanques pre-fermentadores sigue la siguiente secuencia :

Recepción de insumos	2.2	hr
Reposo, acondicionamiento y descarga	1.2	hr
Lavado	1.0	hr
total	<u>4.4</u>	hr

De modo que instalando 2 tanques pre-fermentadores, el suministro de agua sería permanente y continuo, por lo tanto el requerimiento de agua estará dado por :

$$\begin{aligned} Q &= 68.204 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1 \text{ día} / 24 \text{ hr} \\ &= 2.84 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

4.4.2.2.3 Otros requerimientos menores :

Como agua para la dilución del ácido sulfúrico y para la preparación de la solución anti-incrustante, así como agua para el lavado de filtros y centrífugas. Estos requerimientos, de poca significación, pueden estimarse en un 10 % adicional.

Luego el requerimiento total de agua de dilución en la condición mas desfavorable será:

$$\begin{aligned} Q &= (15.320 + 2.84) \cdot 1.1 \\ &= 19.976 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

Por lo tanto, si consideramos un tiempo de retención de 15 min. y un margen adicional de aproximadamente 10 % en el dimensionamiento considerando un llenado menor al 100 % , entonces :

$$\begin{aligned} V &= 19.976 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 1 \text{ hr}/60 \text{ min} \cdot 15 \text{ min} \cdot 1.1 \\ &= 5.50 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El dimensionamiento del tanque se hace de manera análoga al tanque de almacenamiento de melaza :

Considerando un volumen efectivo de :

$$V_e = 5.50 \text{ m}^3$$

establecemos :

$$L_c = 3,000 \text{ mm}$$

$$D_i = 1,500 \text{ mm}$$

$$L_c/D_i = 2$$

$$t_s = 5 \text{ mm}$$

$$V_o = 5.30 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de tapas

De la misma manera que en el caso del tanque de melaza, el tanque de agua de dilución no opera a presión de modo que usamos tapas bombeadas y rebordeadas standard.

De manera que teniendo el tanque el mismo diámetro interior, las dimensiones de las tapas son exactamente las mismas que las del tanque de melaza.

Volumen total del tanque

$$V = 5.86 \text{ m}^3$$

$$\% V_r = 6 \%$$

$$V_e = 5.50 \text{ m}^3$$

Contenido :

Descripción : Agua

Densidad (δ_a) : 1,000 kg/m³

Cálculo de cargas :

Utilizando la misma metodología seguida en el caso anterior, encontramos :

Peso de las tapas (W_h) :

$W_h = 84.94 \text{ kg} = 186.88 \text{ lb}$

Peso del casco (W_s) :

$W_s = 555.59 \text{ kg} = 1,222.30 \text{ lb}$

Peso del contenido (W_c) :

$W_c = 5,859.39 \text{ kg} = 12,890.65 \text{ lb}$

Carga total sobre soportes (W_t) :

$W_t = 6,584.87 \text{ kg} = 14,486.70 \text{ lb}$

Carga sobre cada apoyo (Q) :

$Q = 3,292.43 \text{ kg} = 7,243.35 \text{ lb}$

Dimensionamiento de los soportes tipo montura:

$A = 0.4 R_o = 302 \text{ mm}$

$A \leq 0.2 L_c = 600 \text{ mm}$

$A = 400 \text{ mm} = 15.75 \text{ pulg}$

Distancia entre soportes :

$L_c - 2A = 2,200 \text{ mm}$

Las demás características resultan ser las mismas del caso anterior.

4.4.2.3 Resumen

Volúmenes :

Volumen total V 5.86 m³

Volumen efectivo V_e 5.50 m³

Pesos :

Tanque lleno W_t 6,585 kg

Tanque vacío W_{tv} 725 kg

Dimensiones características :

Casco :

L_c 3,000 mm

D_i 1,500 mm

t_s 5 mm

Tapas

R_b 1,510 mm

t_h 5 mm

h 217 mm

S_f 38 mm

R_c 15 mm

59.89 °

D_{pb} 1,659 mm

Soportes

A 400 mm

120

132

b	140 mm
tb	3.175 mm
Lpr	3,479 mm
b1	80 mm
hs	300 mm

En el plano DA-PV-002 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.3 Tanque de agua de enfriamiento.-

4.4.3.1 Descripción.-

Este tanque almacena el agua necesaria para ser usada en el sistema de refrigeración de los tanques fermentadores. Los requerimientos de calidad del agua no son importantes en este caso, razón por la cual se almacena de manera separada del agua de dilución.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura, posee además un manhole, conexiones de alimentación, descarga, rebose y drenaje, un respiradero y un control de nivel para el accionamiento y parada de la bomba de agua. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.3.2 Dimensionamiento.-

Se sabe que la cantidad de agua de enfriamiento requerida para mantener una temperatura adecuada del mosto durante el proceso de fermentación es de 1,121.7 m³/día.

Este agua es suministrada al sistema de enfriamiento de los tanques fermentadores, los que se instalan para operar uno tras otro, de modo que el requerimiento de agua es permanente, por lo tanto si consideramos un período de autonomía del tanque de almacenamiento de 15 min, este deberá tener una capacidad de :

$$V = 1,121.7 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1 \text{ día}/24\text{hr} \cdot 1\text{hr}/60\text{min} \cdot 15\text{min}$$

$$V = 11.68 \text{ m}^3$$

El dimensionamiento del tanque se hace de manera análoga al tanque de almacenamiento de melaza :

Considerando un volumen efectivo de :

$$V_e = 12.00 \text{ m}^3$$

$$L_c = 3,660 \text{ mm}$$

$$D_i = 2,000 \text{ mm}$$

$$L_c/D_i = 1.83$$

$$t_s = 5 \text{ mm}$$

$$V_0 = 11.50 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de tapas :

De la misma manera que en el caso del tanque de melaza, el tanque de agua de dilución no opera a presión de modo que usaremos tapas bombeadas rebordeadas estandard.

Utilizando las relaciones geométricas conocidas para las tapas bombeadas de este tipo tendremos :

$$D_i = 2,000 \text{ mm}$$

$$t_h = 5 \text{ mm}$$

$$D_o = 2,010 \text{ mm}$$

$$S_f = 38 \text{ mm}$$

$$R_b = 2,010 \text{ mm}$$

$$R_c = 15.00 \text{ mm}$$

$$D_{pb} = 2,180 \text{ mm}$$

$$h = 284 \text{ mm}$$

volumen contenido en tapas :

$$V_h = 0.60 \text{ m}^3$$

Volumen total del tanque :

$$V = V_o + 2 \cdot V_h$$

$$V = 12.70 \text{ m}^3$$

El tanque así dimensionado tiene un margen para cubrir volúmenes muertos y reservas (%Vr) de alrededor 6 %

el volumen efectivo podrá entonces considerarse como :

$$V_e = 12 \text{ m}^3$$

Contenido :

Descripción : Agua

Densidad (δ_a) : 1,000 kg/m³

Cálculo de cargas :

Utilizando la misma metodología seguida en el caso anterior, encontramos :

Peso de las tapas (W_h) :

$$W_h = 146.65 \text{ kg} = 322.64 \text{ lb}$$

Peso del casco (W_s) :

$$W_s = 903.76 \text{ kg} = 1,988.27 \text{ lb}$$

Peso del contenido (W_c) :

$$W_c = 12,704.85 \text{ kg} = 27,950.66 \text{ lb}$$

Carga total sobre soportes (W_t) :

$$W_t = 13,901.92 \text{ kg} = 30,584.22 \text{ lb}$$

Carga sobre cada apoyo (Q) :

$$Q = 6,950.96 \text{ kg} = 15,292.11 \text{ lb}$$

Dimensionamiento y ubicación de los soportes tipo montura:

$$A = 0.4 R_0 = 402 \text{ mm}$$

$$A \leq 0.2 L_c = 732 \text{ mm}$$

$$A = 400 \text{ mm} = 15.75 \text{ pulg}$$

Distancia entre soportes :

$$L_c - 2A = 2,860 \text{ mm}$$

Angulos característicos :

$$\theta = 120^\circ$$

$$\alpha = \theta + 12^\circ$$

$$\alpha = 132^\circ$$

Ancho del soporte :

$$b_1 \geq 10 \cdot t_s$$

$$\geq 50 \text{ mm}$$

$$b_1 = 80 \text{ mm} = 3.15 \text{ pulg}$$

Ancho de la plancha de refuerzo :

$$b \geq b_1 + 10 \cdot t_s$$

$$\geq 130 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm} = 5.51 \text{ pulg}$$

Longitud de la plancha de refuerzo :

$$L_{pr} = \pi \cdot D_o \cdot \alpha / 180$$

$$= 3,478 \text{ mm} = 136.93 \text{ pulg}$$

Altura del soporte en su punto mas bajo h_s :

$$h_s = 300 \text{ mm} = 11.81 \text{ pulg}$$

4.4.3.3 Resumen :

Volúmenes :

Volumen total V 12.70 m³

Volumen efectivo V_e 12.00 m³

Pesos :

Tanque lleno W_t 13,902 kg

Tanque vacío W_{tv} 1,197 kg

Dimensiones características :

Casco :

L_c 3,660 mm

D_i 2,000 mm

t_s 5 mm

Tapas :

R_b 2,010 mm

t_h 5 mm

h 284 mm

S_f 38 mm

R_c 15 mm

59.92

D_{pb} 2,180 mm

Soportes

A 400 mm

120

132

b 140 mm

t_b 3.18 mm

L_{pr} 4,631 mm

hs 300 mm

b1 80 mm

En el plano DA-PV-003 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.4 Tanque de mosto.-

4.4.4.1 Descripción.-

Este tanque, almacena el mosto, o melaza diluida, para ser suministrado de manera continua y por gravedad al proceso, razón por la cual se ubica en el nivel 12,000 del edificio.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura, posee además un manhole, conexiones de alimentación, descarga, rebose y drenaje, un respiradero y un control de nivel para el accionamiento y parada de la bomba de llenado. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.4.2 Dimensionamiento.-

Se sabe que la cantidad de mosto procesado diariamente es 232.853 m³. Si consideramos una autonomía de operación de alrededor de 25 min. y un margen adicional de aproximadamente 10 en el

dimensionamiento, entonces el volumen efectivo requerido de tanque será:

$$V_e = 232.853 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}} \cdot 25/60 \text{ hr} \times 1.1$$

$$V_e = 4.50 \text{ m}^3$$

Este tamaño resulta ser igual al del tanque de melaza, de manera que el tanque a fabricar puede tener las mismas dimensiones y características de aquel.

4.4.4.3 Resumen.-

Volúmenes :

Volumen total V 4.87 m³

Volumen efectivo V_e 4.50 m³

Pesos :

Tanque lleno W_t 5,558 kg

Tanque vacío W_v 622 kg

Dimensiones características :

Casco :

L_c 2,440 mm

D_i 1,500 mm

t_s 5 mm

Tapas

R_b 1,510 mm

th	5 mm
h	217 mm
Sf	38 mm
Rc	15 mm
Dpb	1,659 mm

Soportes

A	302 mm
θ	120 °
	132
b	140 mm
tb	3.18 mm
Lpr	3,478 mm
hs	300 mm
b1	80 mm

En el plano DA-PV-004 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.5 Tanque de ácido sulfúrico concentrado.-

4.4.5.1 Descripción.-

Como se sabe el proceso de fermentación se lleva a cabo de manera óptima en un medio ácido (ph alrededor de 4.5), y teniendo la melaza un ph de alrededor de 6.0, su acidez es corregida agregando ácido sulfúrico, corrección que es hecha generalmente en los pre-fermentadores.

Este requerimiento de ácido sulfúrico en el proceso crea la necesidad de un almacenamiento para garantizar un suministro continuo. El tanque de ácido sulfúrico concentrado almacena el ácido sulfúrico necesario para el proceso, el cual es enviado luego al tanque de ácido sulfúrico diluido.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura, posee además un manhole por donde se llena, conexiones de alimentación, descarga, retorno, drenaje y un respiradero.

El casco, tapas y manhole, así como las conexiones, son de acero inoxidable pues están en contacto con ácido.

Los soportes y accesorios que no están en contacto con el ácido son de acero al carbono estructural.

4.4.5.2 Dimensionamiento.-

El ácido sulfúrico consumido en el proceso es de 258 lt/día, luego si consideramos una autonomía de operación de 15 días que es el período usual entre entregas de este producto por el proveedor, el cual se distribuye en cilindros plásticos de 200 lt, el requerimiento de volumen será :

$$V = 0.258 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 15 \text{ días}$$

$$V = 3.87 \text{ m}^3$$

Considerando la compra de un número entero de cilindros, tendremos :

$$V = 20 \cdot 0.2 \text{ m}^3$$

$$V = 4.00 \text{ m}^3$$

Considerando un margen adicional en el dimensionamiento, el tanque podrá proyectarse para una capacidad de :

$$V_e = 4.5 \text{ m}^3$$

El dimensionamiento del tanque de ácido sulfúrico concentrado es similar al de los tanques de almacenamiento anteriores, sin embargo como almacena un fluido corrosivo se plantea como requerimiento el uso de acero inoxidable como material en contacto con el fluido y algunas consideraciones en los tipos de unión y conexiones.

Dimensionamiento de la parte cilíndrica

$$L_c = 2,440 \text{ mm}$$

$$D_i = \left[\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot L_c} \right]^{0.5}$$

$$D_i = 1,500 \text{ mm}$$

$$L_c/D_i = 1.63$$

$$V_o = 4.31 \text{ m}^3$$

Este tamaño corresponde al del tanque de melaza, aunque debido a que se utilizará acero inoxidable, el espesor de plancha utilizado tanto en el casco como en las tapas se ha reducido a 1/8" (3.18 mm), lo cual modifica algunas de las dimensiones características ligadas a esta variable.

Dimensionamiento de tapas :

El tanque de ácido sulfúrico no opera a presión, de modo que podrá usarse el tipo de tapa bombeada y rebordeada standard.

$$D_i = 1,500 \text{ mm}$$

$$S_f = 38 \text{ mm}$$

Diámetro exterior :

$$D_o = D_i + 2 \cdot t_h$$

$$D_o = 1,506 \text{ mm}$$

Radio de bombeo :

$$R_b = D_o$$

$$R_b = 1,506 \text{ mm}$$

Radio de dobléz en las tapas :

$$R_c = 3 \cdot t_h$$

$$R_c = 9.53 \text{ mm}$$

Diámetro de la plancha base antes del conformado :

$$D_{pb} = 25/24 \cdot D_o + 2 \cdot t_h + 2 \cdot S_f$$

$$D_{pb} = 1,651 \text{ mm}$$

Profundidad de las tapas :

$$h = 211 \text{ mm}$$

Volumen contenido en tapas :

$$V_h = 0.27 \text{ m}^3$$

Volumen total del tanque :

$$V = V_o + 2 \cdot V_h$$

$$V = 4.85 \text{ m}^3$$

El tanque así dimensionado tiene un margen para cubrir volúmenes muertos y reservas (%Vr) de alrededor 7 % . El volumen efectivo podrá entonces considerarse como :

$$V_e = 4.50 \text{ m}^3$$

Características del material :

Acero inoxidable

peso específico (δ_{ac}) : 7,860 kg/m³

490 lb/pie³

Contenido :

Descripción : Acido sulfúrico

Densidad (δ_{ae}) : 1,800 kg/m³

Cálculo de cargas :

Peso de las tapas (Wh) :

$$W_h = \pi \cdot D_b^2 / 4 \cdot t_h \cdot \gamma_{ac}$$

$$W_h = 53.46 \text{ kg} = 117.60 \text{ lb}$$

Peso del casco (W_s) :

$$W_s = \pi \cdot D_i \cdot L_c \cdot t_s \cdot \gamma_{ac}$$

$$W_s = 286.94 \text{ kg} = 631.28 \text{ lb}$$

Peso del contenido (W_c) :

$$W_c = V \cdot \delta_{ae}$$

$$W_c = 8,725.45 \text{ kg} = 19,196.00 \text{ lb}$$

Carga total sobre soportes (W_t) :

$$W_t = W_h \cdot 2 + W_s + W_c$$

$$W_t = 9,119.31 \text{ kg} = 20,062.48 \text{ lb}$$

Carga sobre cada apoyo (Q) :

$$Q = 4,559.65 \text{ kg} = 10,031.24 \text{ lb}$$

Dimensionamiento de los soportes tipo montura :

$$A = 0.4 R_o = 301 \text{ mm}$$

$$A \leq 0.2 L_c = 488 \text{ mm}$$

$$A = 400 \text{ mm} = 15.75 \text{ pulg}$$

Distancia entre soportes :

$$L_c - 2A = 1,640 \text{ mm}$$

Angulos característicos :

$$\theta = 120^\circ$$

$$\alpha = \theta + 12^\circ$$

$$\alpha = 132^\circ$$

Ancho del soporte :

$$b_1 \geq 10 \cdot t_s$$

$$\geq 31.8 \text{ mm}$$

$$b_1 = 80 \text{ mm} = 3.15 \text{ pulg}$$

Ancho de la plancha de refuerzo :

$$b \geq b_1 + 10 \cdot t_s$$

$$\geq 112 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm} = 5.51 \text{ pulg}$$

Longitud de la plancha de refuerzo :

$$L_{pr} = \pi \cdot D_o \cdot \alpha / 180$$

$$= 3,470 \text{ mm} = 136.63 \text{ pulg}$$

Altura del soporte en su punto mas bajo :

$$h_s = 300 \text{ mm} = 11.81 \text{ pulg}$$

4.4.5.3 Resumen :

Volúmenes :

Volumen total V	4.85 m ³
-------------------	---------------------

Volumen efectivo V_e	4.50 m ³
------------------------	---------------------

Pesos :

Tanque lleno W_t	9,119 kg
--------------------	----------

Tanque vacío W_v	394 kg
--------------------	--------

Dimensiones características :

Casco :

Lc	2,440 mm
Di	1,500 mm
ts	3.18 mm

Tapas

Rb	1,506 mm
th	3.18 mm
h	211 mm
Sf	38 mm
Rc	10 mm
	59.93 °
Dpb	1,651 mm

Soportes :

	400 mm
θ	120 °
α	132 °
b	140 mm
tb	3.18 mm
Lpr	3,470 mm
hs	300 mm
b1	80 mm

En el plano DA-PV-005 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.6 Tanque de transferencia de ácido sulfúrico .

4.4.6.1 Descripción.-

El ácido sulfúrico es transportado desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de ácido diluido ubicado en el nivel 12,000 del edificio por medio de un sistema neumático, para lo cual se requiere entonces de un tanque de transvase o transferencia que recepcione el ácido temporalmente desde el tanque de almacenamiento y lo envíe luego hacia el tanque de ácido diluido con ayuda de la presión ejercida por aire comprimido inyectado en la parte superior del mismo.

El tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soportes tipo montura, posee además conexiones de alimentación de ácido sulfúrico y aire comprimido, descarga y drenaje.

El casco, tapas y manhole, así como las conexiones, son de acero inoxidable pues están en contacto con ácido. Los soportes y accesorios que no están en contacto con el ácido son de acero al carbono estructural.

4.4.6.2 Dimensionamiento.-

Este tanque deberá tener un volumen por lo menos similar al del tanque de ácido sulfúrico diluido para que el transvase se haga en una sola operación.

Como se sabe el consumo diario de ácido sulfúrico en el proceso es :

$$\dot{V} = 258 \text{ lt/día}$$

y considerando un margen de reserva en la parte superior de 50 para el ingreso del aire a presión

$$\dot{V} = 387 \text{ lt/día}$$

De modo que si consideramos una autonomía de un día de operación el tanque deberá dimensionarse para una capacidad de :

$$V_e = 0.4 \text{ m}^3$$

El dimensionamiento preliminar del tanque se hace de manera análoga al caso anterior, pero además deberá diseñarse para operar a presión, por lo cual el cálculo de los espesores del casco y tapas debe ceñirse a lo dispuesto por la norma "Pressure Vessel Code" Cap. VIII de ASME.

Presión de operación y de diseño .

La presión de operación es la requerida para elevar el ácido sulfúrico desde este tanque hasta el tanque de ácido sulfúrico diluido que se ubica a 12 m. de altura, de modo que si consideramos una altura de pérdidas por fricción de aproximadamente 50 %, la altura dinámica total a vencer sería de 18 m.C.ácido, lo que significa como requerimientos de presión Pop para el aire comprimido:

$$Pop \text{ [psig]} = H \text{ [m.C.ácido]} \cdot \gamma_{aa} \cdot 1.422$$

$$H = 18 \text{ m.C.ácido}$$

$$\gamma_{aa} = 1.8 \quad (\text{peso específico ácido})$$

$$Pop = 46 \text{ psig}$$

De manera que, considerando la naturaleza peligrosa del fluido almacenado, podemos dimensionar el tanque con una presión de diseño Pd de 92 psig (200% presión de operación).

$$Pd = 92 \text{ psig}$$

Dimensionamiento de la parte cilíndrica :

$$Lc = 1,220 \text{ mm}$$

$$Di = \left[\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot Lc} \right]^{0.5}$$

$$Di = 590 \text{ mm}$$

$$Lc/Di = 2.07$$

$$Vo = 0.33 \text{ m}^3$$

fijamos preliminarmente el espesor del casco en :

$$ts = 3.18 \text{ mm (1/8")}$$

Dimensionamiento de tapas

Como la presión de diseño es menor a 100 psig, podemos usar tapas bombeadas y rebordeadas tipo ASME, la que tiene una menor profundidad que las elipsoidales y por lo tanto son mas económicas. Su perfil es de segmentos esféricos y tiene un radio de bombeo R_b igual al diámetro exterior Do , y un radio de dobléz R_c igual al 6% de R_b .

$$Di = 590 \text{ mm}$$

$$Sf = 38 \text{ mm}$$

fijamos preliminarmente el espesor de las tapas como :

$$th = 3.18 \text{ mm (1/8")}$$

diámetro exterior :

$$Do = Di + 2 \cdot th$$

$$Do = 596 \text{ mm}$$

Radio de bombeo :

$$R_b = Do$$

$$R_b = 596 \text{ mm}$$

Radio de dobléz en las tapas :

$$R_c \approx 0.06 R_b$$

$$R_c \approx 35.78 \text{ mm}$$

$$R_c = 37.00 \text{ mm}$$

Diámetro de la plancha base antes del conformado :

$$D_{pb} = 25/24 \cdot D_o + 2 \cdot t_h + 2 \cdot S_f$$

$$D_{pb} = 704 \text{ mm}$$

Profundidad de tapas :

$$h = 115 \text{ mm}$$

volumen contenido en tapas :

$$V_h = 0.033 \text{ m}^3$$

Volumen total del tanque :

$$V = V_o + 2 \cdot V_h$$

$$V = 0.40 \text{ m}^3$$

Chequeo del espesor del casco y tapas :

$$t_h = t_s = 3.18 \text{ mm} = 1/8 \text{ "}$$

Espesor requerido (t_r) :

$$t_r = \frac{P_d \cdot R_i}{\sigma_a \cdot E_j - 0.6 \cdot P_d} + c$$

P_d Presión de diseño 92 psi

R_i Radio interior 11.61 pulg

σ_a Esf.adm.trabajo 18,750 psi

ϵ_j Eficiencia de junta 0.8
 c tolerancia por corrosión 0 pulg

$$t_r = 1.81 \text{ mm} = 0.07 \text{ pulg}$$

Verificándose que :

$$t_r < t_s$$

$$t_r < t_h$$

Cálculo de cargas :

Contenido :

Descripción : Acido sulfúrico

Densidad ($\delta_{a\text{e}}$) : 1,800 kg/m³

Peso de las tapas W_h :

$$W_h = 9.70 \text{ kg} = 21.35 \text{ lb}$$

Peso del casco W_s :

$$W_s = 56.43 \text{ kg} = 124.16 \text{ lb}$$

Peso del contenido W_c :

$$W_c = 719.03 \text{ kg} = 1,581.86 \text{ lb}$$

Carga total sobre soportes W_t :

$$W_t = 794.87 \text{ kg} = 1,748.71 \text{ lb}$$

Carga sobre cada apoyo Q :

$$Q = 397.43 \text{ kg} = 874.35 \text{ lb}$$

Dimensionamiento de los soportes tipo montura:

De acuerdo a los criterios y relaciones ya conocidas :

$$A = 0.4 R_o = 119 \text{ mm}$$

$$A \leq 0.2 L_c = 244 \text{ mm}$$

$$A = 160 \text{ mm} = 6.30 \text{ pulg}$$

Distancia entre soportes :

$$L_c - 2A = 900 \text{ mm}$$

Angulos característicos :

$$\theta = 120^\circ$$

$$\alpha = \theta + 12^\circ$$

$$\alpha = 132^\circ$$

Ancho del soporte :

$$b_1 \geq 10 \cdot t_s$$

$$\geq 31.8 \text{ mm}$$

$$b_1 = 80 \text{ mm} = 3.15 \text{ pulg}$$

Ancho de la plancha de refuerzo :

$$b \geq b_1 + 10 \cdot t_s$$

$$\geq 112 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm} = 4.724 \text{ pulg}$$

Longitud de la plancha de refuerzo :

$$L_{pr} = \pi \cdot D_o \cdot a / 180$$

$$= 1,374 \text{ mm} = 54.09 \text{ pulg}$$

Altura del soporte en su punto mas bajo :

hs 200 mm 7.87 pulg

4.4.6.3 Resumen

Volúmenes :

Volumen total V 0.40 m³

Volumen efectivo V_e 0.26 m³

Pesos :

Tanque lleno W_t 795 kg

Tanque vacío W_{tv} 76 kg

Dimensiones características :

Casco :

L_c 1220 mm

D_i 590 mm

t_s 3.18 mm

Tapas

R_b 596 mm

t_h 3.18 mm

h 115 mm

S_f 38 mm

R_c 37 mm

59.31 °

D_{pb} 704 mm

Soportes :

A	160 mm
θ	120 °
α	132 °
b	120 mm
tb	3.18 mm
Lpr	1,374 mm
hs	200 mm
b1	80 mm

En el plano DA-PV-006 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.7 Tanque de ácido sulfúrico diluido.-

4.4.7.1 Descripción.-

El tanque de ácido sulfúrico diluido tiene como objetivo almacenar el ácido bombeado desde el tanque de transferencia, diluirlo con agua si fuese necesario y alimentar por gravedad este insumo a los pre-fermentadores.

Este equipo se construye de acero inoxidable en todas sus partes en contacto con el ácido de manera similar a los otros tanques de ácido. Los soportes son de acero al carbono estructural pues no están en contacto con el ácido.

4.4.7.2 Dimensionamiento.-

Como se sabe el consumo diario de ácido sulfúrico en el proceso es :

$$V = 258 \text{ lt/día}$$

y considerando un margen de reserva en la parte superior de 50 %, para una posible dilución con agua

$$V = 387 \text{ lt/día}$$

De modo que si consideramos una autonomía de un día de operación, el tanque deberá dimensionarse para una capacidad de :

$$V_e = 0.4 \text{ m}^3$$

Este tanque recibe el ácido sulfúrico proveniente del tanque de transferencia, pero a diferencia de aquel no opera a presión, alimenta de ácido al proceso por gravedad. De modo que teniendo las mismas dimensiones en el casco y tapas que el tanque de transferencia por criterios de homogeneidad y facilidad en la fabricación, se contará con un mayor margen de diseño.

La cantidad de ácido transferida a cada pre-fermentador por vez es relativamente pequeña y debe ser regulada con cuidado, de modo que teniendo el

tanque una relación altura diámetro mayor a 2, una disposición vertical del tanque es la mas adecuada.

4.4.7.3 Resumen.-

Volumen V : 0.40 m³

Pesos :

Tanque lleno W_t : 795 kg

Tanque vacío W_{tv} : 76 kg

Dimensiones características :

Casco :

L_c 1220 mm

D_i 590 mm

t_s 3.18 mm

Tapas :

R_b 596 mm

t_h 3.18 mm

h 115 mm

S_f 38 mm

R_c 37 mm

59.31 °

D_{pb} 704 mm

En el plano DA-PV-007 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.8. Diluidor.-

4.4.8.1 Descripción.-

En este equipo se diluye la melaza con agua con el fin de darle al producto, conocido como mosto, el Brix o concentración en azúcares deseada y precisa, de acuerdo a un control permanente de sus condiciones, agregándole si fuese necesario agua o melaza.

El diluidor adoptado es de forma cilíndrica vertical, y está provisto de un impulsor de hélice tipo turbina que proporciona la agitación necesaria para la mezcla y dilución de la melaza.

El impulsor está montado en un eje que gira a baja velocidad accionado por un motor eléctrico y una reducción, ambos montados en un soporte colocado en la parte superior del equipo. Un eje auxiliar o contraeje conecta al reductor con el eje del agitador. El contraeje descansa sobre una chumacera de rodamientos del tipo brida. El eje del agitador gira en su parte inferior en una guía.

El equipo se instala suspendido en cuatro soportes fijados al casco. Además de conexiones de alimentación de melaza y descarga de mosto, el diluidor está provisto de una conexión de drenaje

en el fondo para el lavado y limpieza. El agua se agrega por la parte superior.

El diluidor se diseña con un fondo de forma cónica para captar más eficientemente los lodos e impurezas y mejorar el patrón de circulación durante el proceso de agitación y mezcla.

Entre los elementos accesorios de importancia se cuentan :

Deflector o Baffle :

Debido a que la alimentación se realiza por la parte inferior del tanque, se coloca una placa deflectora a la entrada de la misma de manera que la melaza se dirija en la dirección más adecuada.

Probeta para brixómetro :

Para el control adecuado del Brix del mosto, se provee al diluidor de una instalación para toma de muestras y medición del Brix con un brixómetro. Esta instalación tiene una toma cerca de la descarga de mosto y está provista de una conexión y válvula para la descarga de las muestras hacia la tubería principal.

Conexión para suministro de vapor :

En época invernal, debido a la baja de la temperatura ambiental, la melaza se diluye con mas

dificultad. Para contrarrestar esto se provee al diluidor de una conexión para la inyección de vapor, insumo usado en la etapa de destilación del vino.

4.4.8.2 Dimensionamiento.-

La dilución de la melaza es un proceso continuo, relativamente rápido y eficiente en un equipo como el descrito, de modo que el tiempo de retención requerido de los elementos en mezcla es también relativamente corto. Además la bomba centrífuga utilizada para elevar el mosto hasta el tanque de almacenamiento intermedio termina de homogeneizar la mezcla. De esta manera el requerimiento de volumen del equipo no es grande y su determinación se hace en base a la experiencia. El volumen de un equipo diluidor para este tamaño de planta es de 1.1 m³.

Volumen total :

$$V = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot \left(H_{ci} + \frac{D_i}{6} \cdot \text{tg } \beta \right)$$

Donde :

V : Volumen total

D_i : Diámetro interior

H_{ci} : Altura del cuerpo cilíndrico

: Angulo que forma la superficie
cónica con la horizontal

El volumen total se asume en un 110 % del volumen efectivo, considerando un margen adicional de reserva, esto es $V = 1.21 \text{ m}^3$.

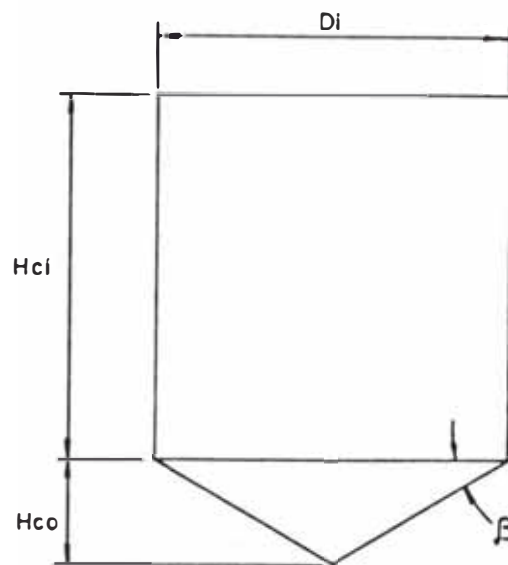


fig.4. Geometría de un tanque cilíndrico vertical de fondo cónico

Asumimos H_{ci} igual a 1.22 m, esto es el ancho de una plancha comercial.

El ángulo característico β se asume igual a 30° , recomendado para evacuar con facilidad los lodos e

impurezas, y mejorar la circulación interior de la mezcla durante la operación.

Despejando obtenemos :

$$D_i = 1.08 \text{ m}$$

Luego, podemos calcular la altura del cuerpo cónico como :

$$H_{co} = \frac{D_i}{2} \cdot \text{tg } \beta$$

$$H_{co} = 312 \text{ mm}$$

La altura total del equipo será entonces :

$$H = H_{ci} + H_{co}$$

$$H = 1,392 \text{ mm}$$

Espesor del casco :

El espesor mínimo del casco se calcula según la siguiente relación :

$$t_s = \frac{2.6 \cdot D_i \cdot (H - 1) \cdot G}{\sigma_w \cdot \epsilon_j} + C$$

Donde :

t_s	Espesor del tanque		pulg
D_i	Diámetro interior del tanque	3.54	pies
H	Altura	4.00	pies
G	Gravedad específica	1.097	
σ_w	Esfuerzo permisible de trabajo	12,650	psi

ϵ_j	Eficiencia de la junta	0.80
c	Tolerancia por corrosión	1/16 pulg

$$t_s = 0.065 \text{ " } \approx 5/64 \in (1/16, 3/32)$$

Sin embargo, por criterios de robustez y rigidez, se recomienda que el espesor no sea menor que 3/16" (5mm). Luego:

$$t_s = 5 \text{ mm}$$

Espeor del fondo :

El espesor requerido para fondo cónico se calcula según la siguiente relación :

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_e \cdot \epsilon_j \cdot \text{sen} \beta} + c$$

Donde :

t	Espeor del fondo	pulg
D_i	Diámetro interior del tanque	42.48 pulg
σ_e	Esfuerzo permisible de trabajo	12,650 PSI
ϵ_j	Eficiencia de la junta	0.80
c	Tolerancia por corrosión	1/16 pulg
β	Angulo entre la superficie cónica y la horizontal	30
P	Presión en el fondo	2.39 psi
P	$= G \cdot H \cdot 1.422$	

Reemplazando obtenemos :

$$t = 0.071 \text{ " } \approx 5/64 \in \langle 1/16, 3/32 \rangle$$

Sin embargo, por criterios de robustez y rigidez, se recomienda que el espesor no sea menor a 3/16" (5mm). Luego:

$$t = 5 \text{ mm}$$

Diseño del agitador :

El tipo de movimiento requerido para una buena mezcla es un modelo de flujo de recirculación con un buen movimiento desde el fondo hacia la parte superior. Los impulsores de flujo axial como los de álabes inclinados producen el movimiento deseado por lo cual se han escogido para este caso.

Una manera de medir la intensidad de agitación del líquido es por medio de la velocidad, para lo cual se usa el parámetro artificial denominado "velocidad en volumen" (V_v) que se define como el cociente entre la capacidad de bombeo del impulsor (Q) y el área transversal equivalente (A_{te}) :

$$V_v = \frac{Q}{A_{te}}$$

Si tenemos que :

Diámetro interior : $D_i = 1.08 \text{ m.}$

Altura : $H = 1.22 \text{ m.}$

Volumen procesado : $V_p = 1.10 \text{ m}^3.$

Altura de llenado :

respecto a la parte cilíndrica $Z_c = 1.10 \text{ m}$

respecto al total $Z_t = 1.41 \text{ m}$

altura media $Z = 1.25 \text{ m}$

El diámetro equivalente del tanque (T_e), correspondiente al lote cuadrado de igual volumen.

Puede calcularse como :

$$T_e = \left(\frac{4 \cdot V_p}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$T_e = 1.12 \text{ m}^3$$

Luego, el área transversal equivalente (A_{te}) será:

$$A_{te} = \frac{\pi}{4} \cdot T_e^2$$

$$A_{te} = 0.99 \text{ m}^2$$

El valor recomendado para la velocidad en volumen, considerando el tipo de operación es:

$$V_v = 0.18 \text{ m/s (0.6 pies/s)}$$

Luego la capacidad de bombeo del impulsor será :

$$Q = V_v \cdot A_{te}$$

$$Q = 0.178 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro del impulsor (D_p) :

Se sabe que asume valores entre :

$$D_p = 0.2 D_i \text{ a } 0.6 D_i$$

$$\text{si tomamos } D_p/D_i = 0.5$$

$$\text{entonces obtenemos } D_p = 0.54 \text{ m.}$$

Ancho del álabe (W) :

El ancho del alabe se asume alrededor del 20% de su diámetro :

$$W = 0.2 D_p$$

$$W = 0.11 \text{ m.}$$

Si elegimos un régimen de flujo turbulento que es el mas adecuado para una operación de mezcla como la deseada, entonces podemos estimar el número de bombeo N_q que se define como :

$$N_q = \frac{Q}{N \cdot D_p^3}$$

El número de bombeo puede estimarse con ayuda del siguiente gráfico que lo relaciona con el número de Reynolds y el cociente D_p/D_i :

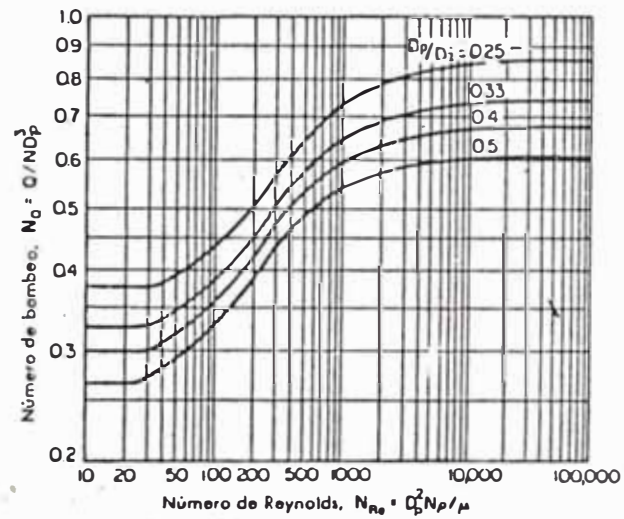


fig. 5. Número de bombeo en función del número de Reynolds del impulsor, para impulsores de álabes inclinados

para $Re > 10,000$ y $D_p/D_i = 0.50$

$$N_q = 0.61$$

Luego, calculamos la velocidad de giro (N) :

$$N = \frac{Q}{N_q \cdot D_p^3}$$

Q : Capacidad de bombeo 0.178 m³/s

Dp : Diámetro del impulsor 0.54 m

$$N = 1.85 \text{ rps}$$

$$N = 111.19 \text{ rpm}$$

Luego chequeamos el numero de Reynolds del impulsor:

$$Re = \frac{Dp^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu}$$

Dp	:	Diámetro del impulsor	0.54	m
N	:	Velocidad de giro	1.85	rps
δ	:	Densidad de la mezcla	1,097	kg/m ³
μ	:	Viscosidad de la mezcla	0.05	Pa•s
Re	=		11,836	

Selección de la velocidad standard del motor de accionamiento

A pesar de que en el cálculo se determinó que se requiere una velocidad de 111.19 rpm para el agitador, los reductores industriales de velocidad solo se encuentran disponibles con ciertas velocidades estándares de salida. En este caso la velocidad standard mas cercana es 113.33 rpm (con una velocidad de entrada de 1700 rpm y una relación de reducción de 15:1).

Si se utiliza esta velocidad en lugar de la calculada (111.19 rpm), podemos recalcular la velocidad en volumen :

$$Q = N \cdot Nq \cdot Dp^3$$

$$Q = 1.89 \text{ rev/s} \cdot 0.61 \cdot 0.54^3 \text{ m}^3$$

$$Q = 0.182 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Vv = Q / Ate$$

$$Vv = 0.183 \text{ m/s}$$

Como vemos la variación de la velocidad en volumen es insignificante, un cambio imperceptible en relación con el funcionamiento del agitador.

Selección de la potencia standard del motor de accionamiento :

Para el cálculo de la potencia se utiliza Número de potencia (N_p), una cifra adimensional que relaciona la potencia del impulsor (P) con algunas variables de operación :

$$N_p = \frac{P}{\delta \cdot N^3 \cdot Dp^5}$$

Para la configuración de álabes escogida y la relación W/Dp utilizada, el número de potencia adopta el valor de 1.70 , tal como se observa en la figura 6.

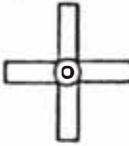
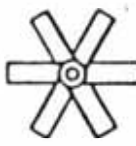
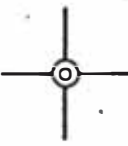
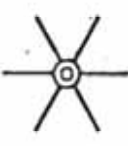
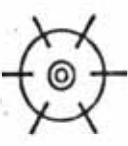





				
				
$w/D = 1/5$	$w/D = 1/5$	$w/D = 1/6$	$w/D = 1/6$	$w/D = 1/5$
Alabe inclinado (P-4) $N_p = 1,37$	Alabe inclinado (P-6) $N_p = 1,70$	Alabe recto (S-4) $N_p = 2,96$	Alabe recto (S-6) $N_p = 3,86$	Tipo disco (D-6) $N_p = 5,46$

fig.6. Valores del Número de Potencia para diferentes configuraciones de alabes en un agitador

Luego la potencia en el eje requerida para girar el impulsor será :

$$P = N_p \cdot \delta \cdot N^3 \cdot D_p^5$$

N_p :	Número de potencia	1.70
δ :	Densidad de la mezcla	1,097 kg/m ³
N :	Velocidad de giro	1.89 rps
D_p :	Diámetro del impulsor	0.54 m

$$P = 578.11 \text{ W}$$

$$P = 0.58 \text{ kW}$$

$$P = 0.78 \text{ hp}$$

Considerando que el motor trabaje a solo el 85 % de su carga, como margen de reserva y seguridad (este factor toma en cuenta las pérdidas a través del reductor que en forma característica son del orden del 3 al 8%), la potencia requerida en el motor de accionamiento será :

$$P_{\text{mot}} = 0.57 / 0.85$$

$$P_{\text{mot}} = 0.68 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mot}} = 0.91 \text{ hp}$$

El motor eléctrico disponible mas próximo en el comercio es de 1.2 hp y podría corresponder a una unidad con las características siguientes :

Marca : Delcrosa

Modelo : NV 80 b 4

Velocidad : 1700 rpm

En el apéndice A se muestran algunas características técnicas del motor seleccionado

Reductor de velocidad :

Para seleccionar una unidad comercial, hallamos la potencia nominal del reductor :

$$HP_n = HP \cdot fs$$

HPn 0.91

fs 1.5 (servicio medio, mas de
10 hr/día de operación)

HPn 1.37

y considerando una reducción de 15:1, el reductor podría ser una unidad de las características siguientes :

Marca : Hidromar

Modelo : 3 HV 15

En el apéndice A se muestran algunas características de la unidad de reducción seleccionada.

Verificación del número de impulsores y ubicación :

Se ha visto que un agitador operando en las condiciones descritas proporciona la agitación suficiente para resolver el problema.

Esto se confirma si se observa la guía que se da en la figura 7 para determinar el número y ubicación de impulsores

Viscosidad Pa•s	Nivel max. Z/Di	Número de impulsores	Claro del impulsor	
			inferior	superior
< 25	1.4	1	Z/3	—
< 25	2.1	2	Di/3	2 Z/3
> 25	0.8	1	Z/3	—
> 25	1.6	2	Di/3	2 Z/3

fig.7. Número y ubicación de impulsores para agitadores en función de la relación Z/Di.

En nuestro caso :

$$\mu = 0.05 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$Z/Di = 1.16$$

luego bastará con un solo agitador colocado a una distancia media del fondo del equipo igual a :

$$Z/3 = 1.25 / 3$$

$$Z/3 = 0.42 \text{ m}$$

Placas desviadoras :

Se requiere la disposición de 4 placas deflectoras colocadas verticalmente e igualmente espaciadas a 90°. Estas placas deberán tener un ancho (Wpd) igual a :

$$Wpd = 1/12 Di \text{ a } 1/10 Di$$

$$Wpd = 0.09 \text{ a } 0.11 \text{ m}$$

Wpd 0.10 m

Y además deberán estar espaciadas a medio ancho (50 mm) de las paredes verticales, para evitar la acumulación de melaza :

4.4.8.3 Resumen.-

Peso :

Equipo vacío : 225 kg

Equipo lleno : 1,434 kg

Altura del tanque :

Parte cilíndrica : 1,220 mm

Parte cónica : 312 mm

Diámetro parte cilíndrica : 1,080 mm

Espesor del casco : 5 mm

Espesor del fondo : 5 mm

Motor de accionamiento :

Eléctrico asíncrono trifásico del tipo jaula de ardilla, para una tensión nominal de 440 V. y 60Hz.

Marca : Delcrosa

Modelo : NV 80 b 4

Velocidad : 1700 rpm

Reductor :

del tipo sin fin y corona

Marca : Hidromar

Modelo 3 HV 15

En el plano DA-PV-008 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.9 Tanque de almacenamiento intermedio de mosto.-

4.4.9.1 Descripción.-

El proceso de dilución de la melaza se realiza en el nivel 2,500 del edificio, de modo que para llevar el mosto al tanque de almacenamiento en el nivel 12,000 se utiliza una bomba del tipo centrífuga.

El tanque de almacenamiento intermedio de mosto es un recipiente de paso ubicado en el nivel 0 que recibe el mosto homogeneizado del diluidor y alimenta la bomba que luego lo lleva hasta el tanque de almacenamiento elevado, de modo que opere sin problemas. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.9.2 Dimensionamiento.-

Siendo este tanque un recipiente de almacenamiento intermedio, el requerimiento de volumen no es grande y su determinación se hace en base a la

experiencia. El volumen de un equipo diluidor para este tamaño de planta es de 1 m³.

Volumen total :

$$V = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot \left(H_{ci} + \frac{D_i}{6} \cdot \operatorname{tg} \beta \right)$$

Donde :

V : Volumen total

D_i : Diámetro interior

H_{ci} : Altura del cuerpo cilíndrico

β : Angulo que forma la superficie
cónica con la horizontal

El volumen total V es 1 m³.

Asumimos H_{ci} igual a 1.22 m, esto es el ancho de una plancha comercial.

El ángulo característico β se asume igual a 30°, recomendado para evacuar con facilidad el mosto.

Despejando obtenemos :

D_i = 985 mm

Luego, podemos calcular la altura del cuerpo cónico como :

$$H_{co} = \frac{D_i}{2} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

Hco 285 mm

La altura total del equipo será entonces :

H Hci + Hco

H 1,505 mm

Espesor del casco :

Debido a su relativo pequeño tamaño, los esfuerzos debidos a presión hidrostática no son grandes, de modo que el espesor del casco se fija con criterios de robustez y tolerancias por corrosión en 5 mm (3/16").

4.4.9.3 Resumen.-

Capacidad	1 m3
Peso vacío	200 kg
Peso lleno	1,080 kg
Diámetro interior	985 mm
Altura	1,505 mm
Espesor del casco y fondo	5 mm

En el plano DA-PV-009 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.10 Tanques pre-fermentadores.-

4.4.10.1 Descripción.-

En estos equipos se lleva a cabo la preparación del pie de cuba o fermento requerido en la etapa de fermentación, cultivando y tratando la levadura recuperada con agua y aditivos, suministrándose aire para facilitar la multiplicación del microorganismo.

Están provistos de un agitador montado en un eje que gira a baja velocidad accionado por un motor y una reducción, ambos montados en un soporte colocado en la parte superior del equipo.

Un eje auxiliar o contraeje conecta al reductor con el eje del agitador. El contraeje descansa sobre una chumacera de rodamientos del tipo brida. El eje del agitador gira, en su parte inferior en una guía con un cojinete de deslizamiento.

La inyección de aire puede hacerse a través de diversos dispositivos. El sistema adoptado es un conjunto de anillos tubulares a modo de dispersor de aire instalado en el fondo del tanque, así el agitador se encarga de romper las burbujas de aire difundiendo el oxígeno.

Los tanques pre-fermentadores poseen un cuerpo o casco cilíndrico vertical abierto por su parte superior. Están provistos además con conexiones de descarga drenaje en su parte inferior. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.10.2 Dimensionamiento.-

El pie de cuba producido es suministrado a las cubas de fermentación hasta cubrir el 30 % de su volumen, por tanto considerando un volumen efectivo de 95% , el requerimiento de volumen en los tanques pre-fermentadores será:

$$V = 32 \cdot 0.98 \cdot 0.30 / 0.95$$

$$9.90 \text{ m}^3$$

$$10.0 \text{ m}^3$$

De la práctica se ha determinado que los tiempos mas adecuados para el llenado de leche de levadura, reposo, acondicionamiento, descarga y lavado son :

recepción de leche de levadura	2.2	hr
reposo, acondicionamiento y descarga	1.2	hr
lavado	- 1.0	hr
	4.4	hr

Luego, el número de tanques que es necesario instalar es :

$$N = \frac{4.4}{2.2} = 2.0 \text{ tanques}$$

Sus dimensiones aproximadas serán :

$$H = Di = \left[\frac{4 \times 10}{\pi} \right]^{1/3} = 2.33 \text{ m}$$

luego, si se fija la altura H en 2.44 m. por razones constructivas, entonces :

$$Di = \left[\frac{4 \times 10}{\pi \times 2.44} \right]^{1/2} = 2.284 \text{ m}$$

Espesor del casco :

El espesor mínimo del casco se calcula según la siguiente relación :

$$t_s = \frac{2.6 \cdot Di \cdot (H-1) \cdot G}{\sigma_w \cdot \epsilon_j} + c$$

Donde :

t	Espesor del casco		pulg
Di	Diámetro interior del tanque	7.49	pies
H	Altura	8.00	pies
G	Gravedad específica	1.06	
σ_w	Esfuerzo permisible de trabajo	12,650	psi
ϵ_j	Eficiencia de la junta	0.80	
c	Tolerancia por corrosión	1/16	pulg

$t_s = 0.076 \text{ " } \approx 5/64 \in (1/16, 3/32)$

Pero la práctica común recomienda no usar espesores menores a $3/16 \text{ "}$ (5mm), por criterios de robustez y rigidez. Luego :

$t_s = 5 \text{ mm}$

Espesor del fondo :

El fondo se encuentra apoyado en todo su contorno el espesor de modo que no tiene requerimientos particulares. El espesor se fija en 6.4 mm según recomendaciones para tanques verticales de este tipo.

Dimensionamiento del agitador :

El tipo de movimiento de líquido requerido es un modelo de flujo de recirculación con un buen movimiento desde el fondo hacia la parte superior. Los impulsores de flujo axial como los de álabes inclinados producen el movimiento deseado por lo cual se han escogido para este caso.

Como sabemos, una manera de medir la intensidad de agitación del líquido es por medio de la velocidad, para lo cual se usa el parámetro artificial "velocidad en volumen" (Vv) que se define como :

$$V_v = \frac{Q}{A_{te}}$$

Si tenemos que :

Diámetro interior : $D_i = 2.284 \text{ m.}$

Altura efectiva : $H = 2.29 \text{ m.}$

Volumen procesado : $V_p = 9.38 \text{ m.}$

Luego el diámetro equivalente del tanque (T_e), correspondiente al lote cuadrado de igual volumen puede calcularse como :

$$T_e = \left(\frac{4 \times V_p}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$T_e = 2.29 \text{ m}^3$$

El área transversal equivalente (A_{te}) será:

$$A_{te} = \frac{\pi}{4} T_e^2$$

$$A_{te} = 4.12 \text{ m}^2$$

El valor recomendado para la velocidad en volumen :

$$V_v = 0.183 \text{ m/s} \quad (0.6 \text{ pies/s})$$

Luego la capacidad de bombeo del impulsor será :

$$Q = V_v \cdot A_{te}$$

$$Q = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro del impulsor (D_p) :

$$D_p = 0.2 D_i \text{ a } 0.6 D_i$$

si tomamos $D_p/D_i = 0.5$

entonces :

$$D_p = 1.10 \text{ m.}$$

Ancho del álabe (W)

$$W = 0.2 D_p$$

$$W = 0.22 \text{ m.}$$

Si elegimos un régimen turbulento en el proceso de agitación, que es el mas adecuado para el tipo de acondicionamiento deseado, entonces, de la figura 5 podemos estimar el número de bombeo como :

$$N_q = f (Re, D_p/D_i)$$

para $Re > 10,000$ y $D_p/D_i = 0.50$

$$N_q = 0.61$$

Luego, calculamos la velocidad de giro (N) :

$$N = \frac{Q}{N_q \cdot D_p^3}$$

Q Capacidad de bombeo 0.75 m³/s

D_p Diámetro del impulsor 1.10 m

$$N = 0.92 \text{ rps}$$

$$N = 55.42 \text{ rpm}$$

Luego chequeamos el número de Reynolds del impulsor (Re) :

$$Re = \frac{Dp^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu}$$

Dp	Diámetro del impulsor	1.10	m
N	Velocidad de giro	0.92	rps
δ	Densidad de la mezcla	1,140	kg/m ³
μ	Viscosidad de la mezcla	0.05	Pa•s

$$Re = 25,483$$

Selección de la velocidad standard del motor de accionamiento :

A pesar de que en los cálculos se determinó que se requiere una velocidad de 55.42 rpm para el agitador, los reductores industriales de velocidad solo se encuentran disponibles con ciertas velocidades estándares de salida. En este caso la velocidad standard mas cercana es 60 rpm (con una velocidad de entrada de 1,800 rpm y una relación de reducción de 30:1).

Si se utiliza esta velocidad en lugar de la calculada (55.42 rpm), podemos reajustar la velocidad en volumen :

$$Q = N \cdot Nq \cdot Dp^3$$

$$Q = 1 \text{ rev/s} \cdot 0.61 \cdot 1.1^3 \text{ m}^3$$

$$Q = 0.812 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_v = Q / A_{te}$$

$$V_v = 0.20 \text{ m/s}$$

Como vemos, un cambio de poca significación e imperceptible en relación con el funcionamiento del agitador.

Selección de la potencia estandard del motor de accionamiento :

Para el cálculo de la potencia se utiliza Número de potencia (N_p) :

$$N_p = \frac{P}{\delta \cdot N^3 \cdot D_p^5}$$

Para la configuración de álabes escogida y la relación W/D_p utilizada, el Número de potencia N_p adopta el valor de 1.70 según se muestra en la figura 6.

Luego la potencia en el eje requerida para girar el impulsor será :

$$P = N_p \cdot \delta \cdot N^3 \cdot D_p^5$$

N_p : Número de potencia 1.70

δ : Densidad de la mezcla 1,140 kg/m³

N : Velocidad de giro 1.0 rps

D_p : Diámetro del impulsor 1.1 m

$$P - 3,121.17 \text{ W}$$

$$P - 3.12 \text{ kW}$$

$$P - 4.19 \text{ hp}$$

Considerando que el motor trabaje a solo el 85 % de su carga, como margen de reserva y seguridad (este factor toma en cuenta las pérdidas a través del reductor que en forma característica son del orden del 3 al 8 %), la potencia requerida en el motor de accionamiento será :

$$P_{\text{mot}} - 3.12 / 0.85$$

$$P_{\text{mot}} - 3.67 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mot}} - 4.93 \text{ hp}$$

El motor eléctrico disponible mas próximo en el comercio es de 6.6 hp y podría corresponder a una unidad con las características siguientes:

Marca : Delcrosa

Modelo : NV 112 M 4

Velocidad : 1750 rpm

En el apéndice A se muestran algunas características técnicas del motor seleccionado.

Reductor de velocidad :

Para seleccionar una unidad comercial, hallamos la potencia nominal del reductor :

$$HP_n = HP \cdot fs$$

$$HP_n = 4.93$$

$$fs = 1.5 \quad (\text{servicio medio, mas de} \\ 10 \text{ hr/día de operación})$$

$$HP_n = 7.40$$

y considerando una reducción de 30:1, el reductor podría ser una unidad de las características siguientes :

Marca : Hidromar

Modelo : 5 HV 30

En el apéndice A se muestran algunas características de la unidad de reducción seleccionada.

Número de impulsores y ubicación :

Se ha visto que un agitador operando en las condiciones descritas proporciona la agitación suficiente para resolver el problema.

Esto se confirma si se observa la guía para determinar el número y ubicación de impulsores que se muestra en la figura 7.

En nuestro caso :

$$\mu = 0.05 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$Z/D_i = 1.12$$

luego bastará con un solo agitador colocado a una distancia del fondo del equipo igual a

$$Z/3 = 2.44/3$$

$$Z/3 = 0.82 \text{ m}$$

Placas desviadoras

Se requiere la disposición de 4 placas deflectoras colocadas verticalmente e igualmente espaciadas a 90° . Estas placas deberán tener un ancho W_{pd} igual a :

$$W_{pd} = 1/12 D_i \text{ a } 1/10 D_i$$

$$W_{pd} = 0.19 \text{ a } 0.23 \text{ m}$$

$$W_{pd} = 0.20 \text{ m}$$

Dispensor de aire :

La cantidad de aire que se requiere inyectar se determina por la experiencia en operación. De la práctica se sabe que un anillo de dispersión de aire debe producir en la superficie del equipo una velocidad de gas de 6 pies/minuto (1.83 m/min).

El área transversal del tanque es

$$A = \pi \cdot D_i^2 / 4$$

$$A = 44.06 \text{ pies}^2$$

Luego el volumen de aire requerido para una adecuada aereación considerando un 10% de cobertura del area transversal total, sería :

$$V = 44.06 \text{ pies}^2 \cdot 6 \text{ pies/min} \cdot 0.10$$

$$V = 26.43 \text{ pies}^3/\text{min}$$

La presión de aire necesaria es mínima. La presión requerida para vencer la columna de fluido sobre el distribuidor es 2.44 m. de Pie de cuba, lo que equivale a 2.59 m.C.Agua o 3.7 psig, lo usual es utilizar aire comprimido a 10 psig de presión.

Para dimensionar el dispersor , consideramos un conjunto de tres anillos tubulares concéntricos cubriendo áreas o coronas similares, luego tendremos que

$$A_{c3} = \pi \cdot R_i^2 / 3 = \pi \cdot (R_i^2 - R_a^2)$$

$$R_a = 0.816 R_i$$

$$R_3 = (R_a + R_i) / 2 = 0.908 R_i \quad D_3 = 2.07 \text{ m}$$

$$A_{c2} = \pi \cdot R_i^2 / 3 = \pi \cdot (R_a^2 - R_b^2)$$

$$R_b = 0.577 R_i$$

$$R_2 = (R_a + R_b) / 2 = 0.697 R_i \quad D_2 = 1.70 \text{ m}$$

$$A_{c1} = \pi \cdot R_i^2 / 3 = \pi \cdot R_b^2$$

$$R_b = 0.577 R_i$$

$$R_1 = R_b / 2 = 0.289 R_i$$

$$D_1 = 0.66 \text{ m}$$

Considerando una velocidad recomendada de flujo de aire comprimido en tuberías de 1,500 pies/min (7.62 m/seg), y que en el caso mas desfavorable se requiere conducir un 46 % del volumen total de aire ($D_3/(D_1+D_2+D_3)$), se requiere un área de paso de

$$A_p = 26.43 \text{ pies}^3/\text{min} \cdot 0.46 / 1,500 \text{ pies}/\text{min}$$

$$A_p = 0.81 \cdot 10^{-2} \text{ pies}^2 = 7.53 \text{ cm}^2$$

y por tanto, usando distribuidores tubulares, el diámetro requerido será :

$$D_i = \sqrt{(A_p \cdot 4 / \pi)}$$

$$D_i = 3.10 \text{ cm} = 1.22 \text{ pulg.}$$

Usaremos entonces, tuberías de $1 \frac{1}{4}$ " \varnothing .

Y considerando agujeros de inyección taladrados en la parte inferior de estos, con un paso P de 2.5 cm, el número de agujeros N_{ag} será :

$$N_{ag} = \pi \cdot (D_1 + D_2 + D_3) / P$$

$$N_{ag} = 556$$

Considerando además una velocidad recomendada de 1,500 pies/min, y una distribución uniforme del flujo de aire en todos lo agujeros, el área de agujero requerida será

$$A_{ag} = 26.43 \text{ pies}^3/\text{min} / 556 / 1500 \text{ pies}/\text{min}$$

$$A_{ag} = 3.17 \cdot 10^{-5} \text{ pies}^2 = 0.029 \text{ cm}^2$$

y por tanto, el diámetro de agujero requerido será:

$$D_{ag} = \sqrt{(A_{ag} \cdot 4/\pi)}$$

$$D_{ag} = 0.19 \text{ cm} > 1/16" \varnothing \quad D_{ag} = 1/8" \varnothing$$

4.4.10.3 Resumen.-

Volumen	.	10	m ³
Altura del tanque	:	2,440	mm
Diámetro parte cilíndrica	:	2,284	mm
Espesor del casco	:	5	mm
Espesor del fondo	:	6.4	mm
Peso del tanque vacío		1,070	kg
Peso del tanque lleno	:	11,045	kg

Motor de accionamiento :

Eléctrico asíncrono trifásico del tipo jaula de ardilla, para una tensión nominal de 440 V. y 60Hz.

Marca : Delcrosa
 Modelo : NV 112 M 4
 Velocidad : 1,750 rpm

Reductor :

del tipo sin fin y corona

Marca : Hidromar
 Modelo : 5 HV 30

En el plano DA-PV-010 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.11 Tanques fermentadores.-

4.4.11.1 Descripción.-

En estos tanques se lleva a cabo la fermentación del mosto. Como el proceso de fermentación requiere de un período de tiempo determinado, y el volumen de mosto a fermentar es grande, lo usual es instalar varios tanques o cubas de fermentación que puedan operar consecutivamente de modo que el suministro de vino o mosto fermentado al proceso de destilación sea continuo.

Como se sabe, la fermentación del mosto es un proceso de naturaleza exotérmica, por lo cual, para alcanzar un alto rendimiento en la producción de alcohol, el mosto debe ser mantenido en un rango de temperaturas óptimo para asegurar una alta y continua actividad de la levadura y evitar accidentes en el proceso fermentativo. Los métodos tradicionales para refrigeración de fermentadores son : refrigeración de paredes, serpentines internos y, uso de intercambiadores de calor externos para enfriamiento del mosto. El uso particular de alguno de estos esquemas es

dependiente del tamaño del proceso y de una ponderación entre la relación de costos de inversión y las mejoras en el rendimiento que puedan lograrse.

En nuestro caso, los fermentadores están provistos de un sistema de refrigeración por película sobre las paredes exteriores con canaletas de distribución en la parte superior, y recepción del agua de enfriamiento en la parte inferior.

Cada tanque cuenta además con conexiones de alimentación de pie de cuba, descarga de vino y drenaje. La alimentación de mosto se hace por la boca de las cubas. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.11.2 Dimensionamiento.-

De la práctica se ha determinado que los tiempos mas adecuados para el llenado y fermentación, descarga y lavado son :

llenado y fermentación	14.0	hr
descarga	2.2	hr
lavado	2.2	hr
	<hr/>	
	18.4	hr

De modo que el número de cubas a destilar durante un día, sabiendo que la cantidad de vino a producir es de 341.023 m³/día, será :

$$N = 24 \text{ hr/día} / 2.2 \text{ hr descarga}$$

$$N = 10.9 \text{ cubas/día}$$

Y el número de cubas a instalar será :

$$N \text{ Cubas} \geq \frac{\text{tiempo proceso completo}}{\text{tiempo descarga o destilación}}$$

$$\geq 18.4 \text{ hr} / 2.2 \text{ hr}$$

$$\geq 8.4$$

tomando un margen para la operación entre cuba y cuba :

$$\text{Número de cubas} = 10$$

Por tanto el volumen requerido en cada cuba, considerando que la cantidad total de vino a producir es de 341.023 m³/día y un volumen efectivo de aproximadamente 98 % en cada tanque, será :

$$V = 341.023 \text{ m}^3/\text{día} / 24 \text{ hr/día} \cdot 2.2 \text{ hr} / 0.98$$

$$V = 32 \text{ m}^3$$

El tipo de tanque mas apropiado para este uso es el de cuerpo cilíndrico vertical, fondo plano y

abierto por arriba. Estos tanques se apoyan sobre una base de concreto a 1.5 m. de altura.

Sus dimensiones aproximadas serán entonces :

$$H = D_i = \left[\frac{4 \times 32}{\pi} \right]^{1/3} = 3.44 \text{ m}$$

luego, si se fija la altura en $H = 3.66$ m. por razones constructivas, entonces :

$$D_i = \left[\frac{4 \times 32}{\pi \times 3.66} \right]^{1/2} = 3.336 \text{ m}$$

Espesor del casco :

El espesor mínimo del casco se calcula según la siguiente relación :

$$t_s = \frac{2.6 \cdot D_i \cdot (H-1) \cdot G}{\sigma_B \cdot E_J} + c$$

Donde :

t_s	Espesor del casco		pulg
D_i	Diámetro interior del tanque	10.94	pies
H	Altura	12.00	pies
G	Gravedad específica	1.02	
σ_B	Esfuerzo permisible de trabajo	12,650	psi

En el plano DA-PV-011 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.12 Tanque volante.-

4.4.12.1 Descripción.-

Este tanque almacena el vino ya depurado y centrifugado, y que está listo para destilarse y rectificarse en las columnas de una planta destiladora.

El tanque volante es, de manera similar a los tanque fermentadores, del tipo cilíndrico vertical, de fondo plano y abierto por su parte superior.

El tanque volante está provisto de conexiones de descarga y drenaje. La alimentación se hace por la boca superior. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.12.2 Dimensionamiento.-

Como la planta de vinos se ha proyectado para suministrar permanentemente este producto a la planta destiladora, la cuba o tanque volante se concibe como un tanque pulmón que garantice un suministro continuo al proceso de destilación.

Por esto, se considera que su capacidad debe ser igual a la de un tanque fermentador, esto es :

$$V = 32 \text{ m}^3$$

Sus dimensiones básicas serán entonces, al igual que en los tanques fermentadores :

$$H = 3.66 \text{ m}$$

$$D_i = 3.336 \text{ m}$$

Y de manera similar a estos, el tanque volante se apoya sobre una base de concreto a 1.5 m. de altura.

Espesor del casco y fondo :

Los espesores de las paredes del casco y fondo serán entonces iguales a los de los tanques fermentadores.

4.4.12.3 Resumen.-

Peso del tanque vacío	:	2,554 kg
Peso del tanque lleno	:	34,842 kg
Capacidad :		32 m ³
Altura del tanque	:	3,660 mm
Diámetro interior	:	3,336 mm
Espesor del casco	:	5.0 mm

Espesor del fondo : 6.4 mm

En el plano DA-PV-012 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.13 Tanque de colección de lodos.-

4.4.13.1 Descripción.-

El tanque de colección de lodos es un tanque en el que se captan los lodos drenados de los fermentadores cuando estos se lavan después de cada operación, aunque también recibe el agua de lavado de los pre-fermentadores, centrífugas y filtros. Todos estos residuos de lavado contienen alcohol el que se recupera cuando estos se envían al tanque volante, luego de la decantación y eliminación de las impurezas gruesas.

Este es un tanque cilíndrico vertical de fondo plano, abierto por arriba y de tamaño relativamente pequeño; tiene conexiones de alimentación, descarga y drenaje. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.13.2 Dimensionamiento.-

El requerimiento de volumen de este tanque es relativamente pequeño. De la práctica se ha

determinado que para una planta de este tamaño es suficiente con una capacidad de 1.5 m³.

Si se fija la altura (H) del tanque como un múltiplo del ancho de una plancha comercial, por ejemplo 1.22 m., el diámetro interior (Di) resultará ser :

$$Di = \sqrt{\left(\frac{4 \times V}{\pi \times H}\right)}$$

$$Di = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 1.5}{\pi \cdot 1.22}\right)}$$

$$Di = 1.25 \text{ m}$$

Espesor del casco :

Debido a su relativo pequeño tamaño y a que rara vez este tanque se llena en toda su volumen, los esfuerzos inducidos debidos a presión hidrostática no son grandes, de modo que el espesor del casco se fija con criterios de robustez y tolerancias por corrosión en 5 mm (3/16").

Espesor del fondo :

Aún cuando el tanque va apoyado en una base de concreto y no tiene mayores requerimientos, no se recomienda en la práctica común que su espesor sea menor que 1/4" (6.4 mm).

4.4.13.3 Resumen.-

Peso del tanque vacío	:	262 kg
Peso del tanque lleno	:	1,576 kg
Capacidad	:	1.5 m ³
Altura del tanque	:	1,220 mm
Diámetro interno	:	1,250 mm
Espesor del casco	:	5 mm
Espesor del fondo	:	6.4 mm

En el plano DA-PV-013 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.14 Tanque de anti-incrustante.-

4.4.14.1 Descripción.-

El vino clarificado o centrifugado contiene partículas que tienden a incrustarse en las columnas de destilación, para evitar lo cual es tratado con una solución anti-incrustante que se prepara en este tanque y se agrega al vino almacenado en el tanque volante.

El tanque de anti-incrustante es un recipiente cilíndrico vertical de fondo cónico, abierto por su parte superior. Su construcción es en acero al carbono estructural.

4.4.14.2 Dimensionamiento.-

Este tanque es entonces un recipiente de preparación de una solución anti-incrustante, por lo cual no tiene requerimientos particulares y su tamaño y forma son resultado de la experiencia.

La práctica común recomienda el uso de un tanque de una capacidad aproximada de 0.50 m³.

Volumen total :

$$V = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot \left(H_{ci} + \frac{D_i}{6} \cdot \text{tg } \beta \right)$$

Donde :

V : Volumen total

D_i : Diámetro interior

H_{ci} : Altura del cuerpo cilíndrico

β : Angulo que forma la superficie
cónica con la horizontal

El volumen total V es 0.50 m³.

Asumimos H_{ci} igual a 0.95 m.

El ángulo característico β se asume igual a 15 °, recomendado para evacuar con facilidad el contenido.

Despejando obtenemos :

$$D_i = 0.80 \text{ m}$$

Luego, podemos calcular la altura del cuerpo cónico como :

$$H_{co} = \frac{D_i}{2} \cdot \text{tg } \beta$$

$$H_{co} = 110 \text{ mm}$$

La altura total del equipo será entonces :

$$H = H_{ci} + H_{co}$$

$$H = 1,060 \text{ mm}$$

Espesor del casco :

Debido a su relativo pequeño tamaño, los esfuerzos debidos a presión hidrostática no son grandes, de modo que el espesor del casco se fija con criterios de robustez y tolerancias por corrosión en 5 mm (3/16").

4.4.14.3 Resumen.-

Peso vacío	125 kg
Peso lleno	522 kg
Capacidad	0.50 m ³
Diámetro interior	0.80 m
Altura cuerpo cilíndrico	950 m
Altura cuerpo cónico	110 m

Espesor del casco y fondo 5 mm

En el plano DA-PV-014 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

4.4.15 Centrífugas.-

4.4.15.1 Requerimientos de operación .

El proceso Melle-Boinot involucra el uso repetido de las células de levadura, las que son recuperadas a partir del vino o mosto fermentado. En la industria, la centrífuga ha probado ser el sistema mas eficiente para la separación de las levaduras de los mostos fermentados. Centrífugas de alta velocidad especialmente diseñadas y del tipo de boquillas son de un uso muy difundido en el medio.

Con células de levadura en un rango de tamaños de 5 a 20 micrones se puede alcanzar una remoción altamente eficaz dado que la capacidad de separación es proporcional, entre otros factores, al cuadrado del tamaño de la partícula. Esto significa que en cualquier infección donde los micro-organismos tengan un tamaño mucho menor que el de las levaduras, no son separados sino que pasan a la sección de destilación como vino clarificado. Las células muertas también tienden a

permanecer en el mosto clarificado. La separación es hecha por diferencia de densidades, la densidad de la levadura es del orden de 1.18 mientras que la del vino centrifugado o deslevadurizado es del orden de 1.02 y la de las bacterias es muy próxima a la de los vinos, por eso durante la centrifugación gran parte de las bacterias producto de las contaminaciones del mosto durante la fermentación son arrastradas con el vino, condicionando de esta manera una alta pureza de la leche de levadura.

Por consiguiente, una centrífuga separadora de levaduras es en sí misma un sistema mecánico para mantener la levadura relativamente limpia y libre de microorganismos indeseables.

El diámetro de los agujeros es variable y va de 0.65 a 1.45 mm., estando su adopción condicionada a la concentración celular del mosto.

4.4.15.2 Selección.-

Varias variables tales como la cantidad y tipo de sólidos en la alimentación, temperatura, viscosidad y grado requerido de clarificación o concentración, influyen en la selección final de la centrífuga. Sin embargo algunos fabricantes poseen una línea completa de separadores para aplicación en

destilerías de alcohol basada fundamentalmente en capacidad de recepción de flujo.

Considerando que el tiempo de centrifugación es de 2.2 hr y que el volumen a centrifugar es el correspondiente a una cuba de fermentación, los requerimientos de capacidad de las centrífugas serán :

Cap. - $32 \text{ m}^3 / 2.2 \text{ hr}$

Cap. - $14.5 \text{ m}^3/\text{hr}$

De acuerdo a ello, se han seleccionado dos unidades, las que operarán alternativamente. Los equipos seleccionados tienen las características siguientes :

Marca : Alfa Laval

Modelo : DX 309

Capacidad : $35 \text{ m}^3/\text{hr}$ de recepción de mostos

Motor acc.: 25 hp

Peso neto : 870 kg

En este modelo, la separación tiene lugar en la cámara con toberas, la misma que descarga los sólidos. La alimentación es continua hacia el centro de la cámara y es distribuida a la periferia mediante un cono distribuidor. La alta velocidad de rotación fuerza al líquido problema a pasar por un

sistema vertical de discos cónicos donde es separado por la fuerza centrífuga en sólidos y una fase líquida. El concentrado, conteniendo las células de levaduras y una pequeña cantidad de líquidos, es forzado a la pared de la cámara.

La crema concentrada de levaduras pasa de la periferia a la tubuladura de descarga. La fase líquida es desplazada hacia el centro y sale por la parte superior del separador.

En el apéndice A se muestra una hoja de información con el espectro de modelos presentado por el fabricante con sus campos de aplicación respectivos, la que ha servido de guía en la selección; así como las características básicas y especificaciones técnicas del modelo seleccionado.

4.3.16 Filtros.-

4.4.16.1 Descripción.-

Cuando se trabaja con mostos que pueden arrastrar impurezas gruesas, como por ejemplo bagacillo u otros, estas se deben eliminar antes de llevar el mosto fermentado a las centrífugas. Los filtros llevan a cabo esta depuración, retirando las partículas que puedan obstruir las boquillas o toberas de las centrífugas.

Los equipos de filtrado utilizados en la industria del alcohol son del tipo estático. Una malla metálica sujeta a una superficie cónica agujereada sirve como elemento filtrante y se instala en el interior de un recipiente cilíndrico vertical.

El mosto ingresa al interior del cono y circula hacia afuera atravesado la superficie filtrante: Dado que el filtrado es estrictamente un efecto de superficie y existe un número dado de aberturas por unidad de superficie, el cedazo tiende a taponearse en un período de tiempo dado. Para recuperar la superficie filtrante, se hace un lavado con agua en contracorriente de manera periódica, esta es introducida por conexiones dispuestas adecuadamente, descargándose por una conexión de drenaje hacia el tanque de colección de lodos.

Para lograr una operación continua y sin problemas se utilizan dos filtros que trabajan alternativamente.

Su construcción es en acero al carbono estructural, a excepción del cono y malla filtrante los que para una mayor duración se fabrican en acero inoxidable.

4.4.16.2 Dimensionamiento.-

Elemento filtrante :

Las centrífugas seleccionadas poseen toberas de 1 mm \varnothing , de modo que para separar las impurezas gruesas que puedan obturar dichas boquillas se puede utilizar una malla de acero inoxidable tamaño Tyler 20, que posee aberturas de 0.833 mm (0.0328 pulg) y una relación de área de paso a superficie total de 0.43 .

Cono soporte :

El cono soporte, es una superficie metálica agujereada tronco-cónica, construida por rolado a partir de una plancha perforada de dimensiones y forma calculadas para obtener un perfil con una pendiente adecuada.

El cono se fabrica de plancha perforada de acero inoxidable con agujeros de 1/2" \varnothing separados 3/4", esta posee una relación área de paso a superficie total de 0.4031 .

Dimensiones básicas :

Sabemos que el flujo de mosto fermentado es de:

$$Q_v = 341.023 \text{ m}^3/\text{día} = 1.42 \cdot 10^{10} \text{ mm}^3/\text{hr}$$

La concentración C_v en volumen de impurezas gruesas en el vino es muy pequeña y se estima en alrededor de $2.5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ de vino, de modo que el volumen de impurezas gruesas que fluye en la unidad de tiempo Q_i será :

$$Q_i = Q_v \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_i = 35,500 \text{ mm}^3/\text{hr}$$

Asumiendo un tiempo t de operación continua de :

$$t = 8 \text{ hr}$$

El volumen acumulado V_i en este periodo sería:

$$V_i = Q_i \cdot t$$

$$V_i = 284,000 \text{ mm}^3$$

Luego, considerando que la capa de impurezas gruesas que se forma al taponera el elemento filtrante tendría un espesor e similar al de la plancha, esto es 1.59 mm ($1/16''$), el área de paso requerida será :

$$A_p = V_i/e$$

$$A_p = .178,616 \text{ mm}^2$$

Y conociendo que la relación de áreas de paso a área total de una malla Tyler 20 es 0.43 y de la plancha agujereada utilizada en el cono es 0.4031 , el área total requerida será :

$$A_t = A_p / (0.43 \cdot 0.4031)$$

$$A_t = 1.03 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 1.03 \text{ m}^2.$$

Luego, si consideramos un tronco de cono de pendiente α igual a 75° y radio menor r igual a 80 mm, tendremos que :

$$A_t = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \tan \alpha$$

despejando calculamos el radio mayor R :

$$R = \sqrt{ (A_t / (\pi \cdot \tan \alpha) + r^2) }$$

$$R = 307 \text{ mm}$$

y por tanto, la altura del tronco de cono h será :

$$h = (R - r) \cdot \tan \alpha$$

$$h = 847 \text{ mm}$$

Luego, dimensionamos el recipiente que contiene al elemento filtrante de manera que este pueda instalarse y funcionar con holgura:

$$D_i = 750 \text{ mm}$$

$$H = 900 \text{ mm}$$

$$Vol = 0.40 \text{ m}^3$$

[Espesor del casco y tapas :

Del mismo modo que otros equipos pequeños, el filtro posee un casco en donde los esfuerzos inducidos por presión hidrostática y otros no son significativos; de modo que el espesor del casco y tapas se fija por criterios de robustez, rigidez y tolerancias por corrosión. En equipos de este tipo con poca frecuencia se usa espesores menores a 5 mm (3/16"), de modo que :

ts 5 mm

4.4.16.3 Resumen.-

Peso filtro vacío	:	156 kg
Peso filtro lleno	:	564 kg
Volumen	:	0.4 m ³
Elemento filtrante	:	malla Tyler N°20
Cono soporte :		
Altura	:	847 mm
Diámetro tope	:	160 mm
Diámetro base	:	614 mm
Casco :		
Altura	:	900 mm
Diámetro interior	:	750 mm
[Espesor del casco y tapas	:	5 mm

En el plano DA-PV-016 se muestra la geometría y dimensiones básicas del equipo.

CAPITULO 5 ANALISIS DE COSTOS

Los componentes mas importantes del costo total son los correspondientes al material y a la mano de obra, equipo y herramientas y consumibles.

La mayoría de los componentes del costo de los equipos pueden estimarse en la práctica a partir de índices por kilogramo de peso de equipo a fabricar.

Por ejemplo, el acero al carbono estructural ha tenido un costo histórico de alrededor de 1 US\$/kg, mientras que el acero inoxidable tiene un costo aproximado de 2 US\$/kg.

A continuación, se hace un análisis de los costos de fabricación de cada equipo, indicando los índices utilizados para el cálculo de cada componente del costo, así como el costo estimado de la inversión global en equipamiento. Los valores indicados no incluyen impuestos, y en el caso de las centrífugas corresponde al valor CIF mas todos los gastos de importación adicionales. Para la estimación de costos se ha considerado alrededor de un 10 % de peso adicional en cada equipo para tomar en cuenta soportes y accesorios diversos.

1	Tanque de melaza				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	684	1	684	
	M.O.,E&H y cons.	684	1.3	889	
	Total			1,573	1,573
2	Tanque de agua de dilución				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	798	1	798	
	M.O.,E&H y cons.	798	1.3	1,037	
	Total			1,835	1,835
3	Tanque de agua de enfriamiento				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	1,317	1	1,317	
	M.O.,E&H y cons.	1,317	1.3	1,712	
	Total			3,029	3,029
4	Tanque de mosto				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	684	1	684	
	M.O.,E&H y cons.	684	1.3	889	
	Total			1,573	1,573

5 Tanque de ácido sulfúrico concentrado cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	433	2	866	
M.O.,E&H y cons.	433	2.6	1,126	
Total			1,993	1,993

6 Tanque de transferencia de ac.sulfurico cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	83	2	167	
M.O.,E&H y cons.	83	2.6	217	
Total			384	384

7 Tanque de ácido sulfúrico diluido cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	83	2	167	
M.O.,E&H y cons.	83	2.6	217	
Total			384	384

8 Diluidor cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	225	1	225	
M.O.,E&H y cons.	225	1.3	292	
Equipamiento				
Motor NV80b4			157	
Reductor 3HV15			865	
Otros			500	
Total			2,039	2,039

9 Tanque de almac.intermedio de mosto cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	201	1	201	
M.O.,E&H y cons.	201	1.3	262	
Total			463	463

10 Tanques pre-fermentadores cant.: 2

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	984	1	984	
M.O.,E&H y cons.	984	1.3	1,279	
Equipamiento				
Motor NV112M4			429	
Reductor 5HV30			1,710	
Otros			500	
Total			4,901	9,802

11 Tanques fermentadores cant.: 8

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	2,142	1	2,142	
M.O.,E&H y cons.	2,142	1.3	2,784	
Total			4,926	39,411

12 Tanque volante cant.: 1

	kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
Material	2,142	1	2,142	
M.O.,E&H y cons.	2,142	1.3	2,784	
Total			4,926	4,926

13	Tanque de colección de lodos				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	275	1	275	
	M.O.,E&H y cons.	275	1.3	358	
	Total			633	633
14	Tanque de anti-incrustante				cant.: 1
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material	126	1	126	
	M.O.,E&H y cons.	126	1.3	163	
	Total			289	289
15	Centrífugas				cant.: 2
				US\$	Total US\$
	Valor puesto en Lima			85,900	
	Total				171,800
16	Filtros				cant.: 2
		kg	US\$/kg	US\$	Total US\$
	Material				
	Acero al carbono	130	1	130	
	Acero inoxidable	40	2	52	
	M.O.,E&H y cons.	170	2.0	340	
	Otros			102	
	Total			624	1,248

* Para efectos de estimación de costos, se ha considerado para el acero inoxidable, el peso del material antes de procesarse.

El costo de inversión global en el equipamiento básico necesario asciende entonces a la siguiente suma :

	US\$
Costo equipamiento básico	241,382

CONCLUSIONES

- El proyecto y la construcción de una planta de vinos como componente de una destilería integral, puede ir optimizándose progresivamente a la luz de las experiencias que se vayan acumulando. Queda como sugerencia el complementar este esfuerzo por delinear los criterios para el proyecto de una planta de vinos con el desarrollo de una tesis similar sobre el proyecto de la planta de destilación en columnas e intercambiadores de calor que, como sabemos, cierra el proceso de producción de alcohol.

- Las destilerías poseen un potencial importante en el procesamiento y producción a escala industrial de subproductos del proceso de producción de alcohol entre los que se cuentan :
 - 1) Anhídrido carbónico, el que se libera en cantidades significativas durante el proceso de fermentación; no olvidemos que solo en nuestro caso se generan 15.954 ton/día de CO₂. El CO₂

puede ser recuperado del sistema por diversas tecnologías, basadas fundamentalmente en el lavado, deshumidificación, compresión y purificación de los gases a la salida de la etapa de fermentación. El CO_2 licuado es envasado en cilindros de acero cuya capacidad es, usualmente de 20 a 80 lb de gas.

El anhídrido carbónico puede ser utilizado en estado sólido, líquido y gaseoso, para carbonatación de bebidas, conservación de alimentos, extinción de incendios, terapéutica, fabricación de sustancias químicas, minería, etc.

- 2) La levadura *Saccharomyces* , constituye un producto valioso por su interés para la nutrición animal y humana a causa de su alto contenido de proteínas, vitaminas, trazas de minerales y por su adecuado espectro de aminoácidos. La levadura que va a ser recuperada durante el proceso de pre-fermentación es procesada y concentrada, por último se lleva a un proceso de secado obteniéndose el producto en forma de polvo fino de color amarillo claro que es envasado en sacos de 25 kg.

3) El aceite fusel constituye un subproducto de la etapa de destilación de alcohol, con carácter aceitoso y que se forma durante el propio proceso de fermentación, principalmente a partir de los aminoácidos presentes. Tiene diferentes usos en la industria química tales como la fabricación de pintura, barnices, ceras, lacas, plásticos de celulosa, etc. Además se utiliza como solvente y en perfumería.

El futuro empleo del alcohol como materia prima para la industria química o como combustible, descansará en los resultados de los diferentes esfuerzos, que se realicen para asegurar una mayor eficiencia en la utilización de materias primas, mayores productividades que minimicen las inversiones y la disminución de los requerimientos energéticos del proceso de producción.

- Si se analiza este caso como típico, los insumos necesarios para producir 100 lt de alcohol serían los siguientes :

Melaza	362.50	kg
Agua de dilución	1.25	m ³
Agua de enfriamiento	5.60	m ³
Acido sulfúrico	2.33	kg

- Al hacer el análisis de la potencialidad de usar la caña de azúcar para producir alcohol por fermentación, debe considerarse, adicionalmente la utilización del jugo de caña y de los residuos lignocelulósicos como el bagazo y las hojas de cogollo. Sin embargo habrá que ser extremadamente cuidadoso en la valoración de estas otras alternativas, pues debe tenerse en cuenta que el uso de estos elementos en la producción de alcohol es competitivo con la producción de alimento para consumo humano y la fabricación de papel entre otros.

- El uso de la melaza como materia prima para la obtención de alcohol está muy difundido por sus características idóneas en lo referente a contenido de azúcares, aminoácidos y minerales. No obstante, la utilización a gran escala de la melaza está siempre limitada por la demanda de este producto para la alimentación animal directa, así como para la obtención de productos de interés bioquímico e industrial. Por cada tonelada métrica de caña procesada se obtienen alrededor de 44 kg de melaza, de los cuales se pueden producir 12.14 lt de alcohol. Esto significa alrededor de 2.75 hl de alcohol por tonelada de melaza.

- En los planos DA-PV-17, DA-PV-18, DA-PV-19 y DA-PV-20, se muestran vistas isométricas y elevaciones generales de la planta industrial, así como vistas de planta de cada nivel, en donde se sugiere una disposición de los equipos dimensionados compartiendo el espacio disponible con los equipos de la planta de destilación.

El proceso Melle-Boinot, que involucra el uso repetido de las células de levadura, elimina el largo periodo de reproducción de las células y hace posible una alta eficiencia de conversión sobrepasando el rendimiento de Pasteur. Azúcar, que en otra forma habría sido consumida en el crecimiento de la levadura, puede ser convertida en alcohol adicional debido a que las células solas manifiestan su capacidad fermentativa. Rendimientos en el rango de 60 lt de alcohol a 100 °GL por 100 ton de azúcar (en glucosa equivalente) son por tanto posibles.

BIBLIOGRAFIA

1. LA INDUSTRIA DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR
Instituto Cubano de investigaciones de los
derivados de la caña de azúcar ICIDCA.
Editorial científico técnica. La Habana, 1986.
2. MANUAL DE OPERACIONES DE DESTILERIAS
Codistil Dedini. Brasil.
3. PROCESS EQUIPMENT DESIGN
Brownell, Lloyd ; Young, Edwin. Process Equipment
Design. John Wiley & sons Inc.. New York, 1959.
4. SUPPORTS AND MOUNTINGS FOR HORIZONTAL VESSELS
British Standards.
5. WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE. API STANDARD
650
American Petroleum Institute. Division of
Refining. Washington D.C., 1970.
6. MANUAL DE CALCULOS DE INGENIERIA QUIMICA
Chopey, Nicholas; Hicks, Tyler. Mc Graw Hill
México, 1986.
7. MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Perry, John. Unión tipográfica editorial Hispano
Americana. México, 1981.
8. FERMENTACIONES INDUSTRIALES - TOPICOS SELECTOS
Instituto de Microbiología U.N.M.S.M.. Lima,
1979.
9. INDUSTRIAS DE PROCESO QUIMICO.
Shreve, Norris. [Editorial] Dossat. Madrid, 1954.

10. MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
Baumeister, Theodore; Avallone, Eugene. Mc Graw
Hill. México, 1982.
11. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS
Hori, Juan.
12. MANUAL DEL INGENIERO AZUCARERO
Hugot.