

Memoria de Cálculo



PROYECTO FIN DE CARRERA

PLANTA DE ELABORACIÓN DE VINO TINTO ECOLÓGICO

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	52
1.1. Localización.....	52
1.2. Características del medio.....	52
1.2.1. Clima	52
1.2.2. Terreno	54
1.2.3. Variedad de vid implantada.....	54
1.2.4. Financiación. Incentivos regionales	55
Capítulo 2. Descripción del proceso.....	59
2.1. Diagrama de bloques	59
2.2. Equipos a instalar	60
2.2.1. Báscula	60
2.2.2. Toma-muestra	60
2.2.3. Tolla de recepción.....	60
2.2.4. Despalilladora-estrujadora	61
2.2.5. Aspirador de raspón	61
2.2.6. Bomba peristáltica.....	62
2.2.7. Bombas centrifugas.....	62
2.2.8. Prensas neumática.....	63
2.2.9. Depósitos de fermentación, descube y trasiego	64
2.2.10. Sulfitómetro manual	64
2.2.11. Clarificación	64
2.2.12. Filtro de tierra.....	65
2.2.1. Sistema de microfiltración.....	65
2.2.2. Depósito isoterma (estabilización)	66
2.2.3. Barricas de roble	66
2.2.4. Llenado-taponado	66

2.2.5. Lavadoras-secadoras de botellas crianza	67
--	----

2.2.6. Etiquetadora	67
---------------------------	----

Capítulo 3. Diseño equipo de fermentación 68

3.1. Recepción.....	68
---------------------	----

3.2. Número de depósitos de fermentación	68
--	----

3.3. Cálculo de depósito de fermentación de 10 m ³	69
---	----

3.3.1. Material de construcción.	72
---------------------------------------	----

3.3.2. Cálculo de espesores.....	74
----------------------------------	----

3.3.3. Cálculo del peso del depósito	87
--	----

3.4. Cálculo de tuberías	91
--------------------------------	----

3.4.1. Tubería de remontado	91
-----------------------------------	----

3.5. Cálculo de la bomba	93
--------------------------------	----

3.5.1. NPSH disponible	93
------------------------------	----

3.5.2. Cálculo de la altura de presión	97
--	----

3.5.3. Cálculo de la potencia teórica	98
---	----

3.5.4. Cálculo de la potencia real	99
--	----

3.5.5. Cálculo de la potencia a instalar	99
--	----

3.5.6. Potencia final de motor normalizado	100
--	-----

Capítulo 1. Introducción

1.1. Localización

La bodega se encuentran ubicadas en Cazalla de la Sierra (Sevilla).

Esta elección es debido a que reúne los requisitos para sentar las bases para la obtención de un vino de calidad: laderas, suelo poco fértil, (pizarroso, calizo...), 700 m. de altitud, fuerte oscilación térmica entre el día y la noche, sol y pluviosidad suficiente.

La Sierra Norte de Sevilla siempre ha sido una de las tres comarcas vitivinícolas de la provincia de Sevilla, junto con el Bajo Guadalquivir, Lebrija, Los Palacios, y El Aljarafe, la más cercana a capital. Esta comarca, está formada por una serie de pueblos situados en lo que otros llaman la Sierra Morena Sevillana, entre los que destacan por sus características para el cultivo de la vid, Alanís, Cazalla de la Sierra, Constantina y Guadalcanal.

1.2. Características del medio

1.2.1. Clima

Hay en verano una diferencia entre la temperatura diurna y nocturna de unos 18º lo que favorece la formación de polifenoles y la maduración equilibrada de la uva. Todas estas condiciones del terreno, propician la consecución de vendimias de uvas sanas, maduras y equilibradas que posibilitan la obtención de buenos vinos.

El clima es templado y cálido en Cazalla de la Sierra. En invierno hay en Cazalla de la Sierra mucho más lluvia que en verano. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Csa (templado con verano seco y caluroso). La temperatura media anual en Cazalla de la Sierra se encuentra a 15.5 °C. La precipitación es de 670 mm al año.

El mes más seco es julio, con 3 mm. 91 mm, mientras que la caída media en diciembre. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año, como podemos ver en la Figura 1.1

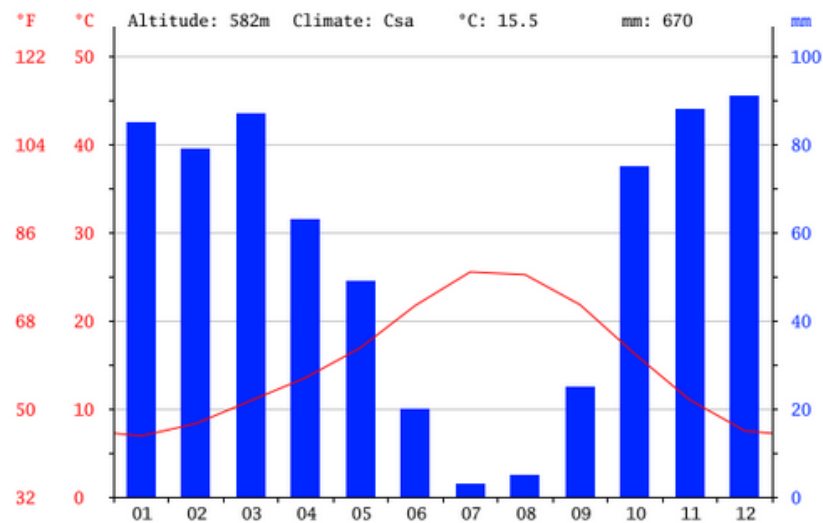


Figura 1.1. Climograma [20]

El mes más caluroso del año con un promedio de 25.5 °C de julio. El mes más frío del año es de 6.9 °C en el medio de enero, tal y como se muestra en la figura 1.2

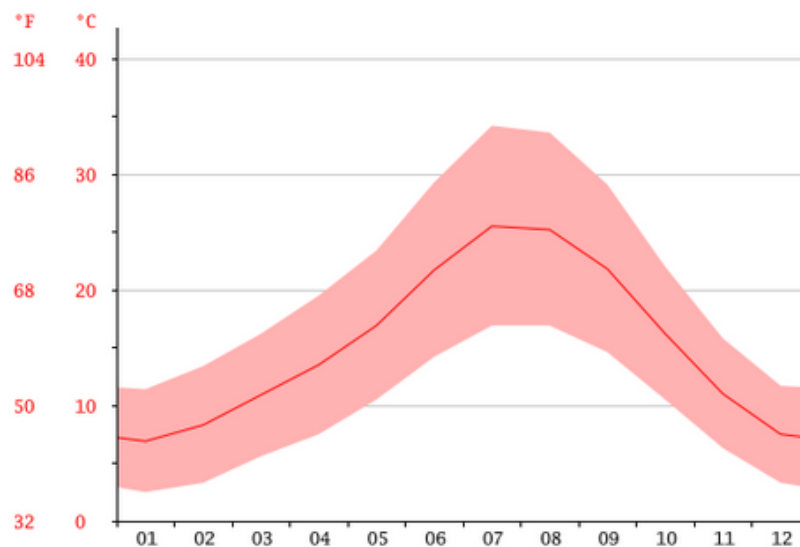


Figura 1.2. Diagrama de temperatura [20]

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 88 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 18.6 °C. (Tabla 1.1)

Tabla 1.1.Tabla climática [20]

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	85	79	87	63	49	20	3	5	25	75	88	91
°C	6.9	8.3	10.9	13.5	16.9	21.7	25.5	25.2	21.8	16.2	11.0	7.5
°C (min)	2.5	3.3	5.6	7.5	10.5	14.2	16.9	16.9	14.6	10.5	6.3	3.3
°C (max)	11.4	13.4	16.2	19.5	23.4	29.3	34.2	33.6	29.1	22.0	15.8	11.7

1.2.2. Terreno

Los viñedos se encuentran en el Parque Natural de la Sierra Norte de Sevilla a 80 km de la capital dirección norte, se trata de la Sierra Morena Sevillana. Las viñas siguen las ondulaciones del terreno y se disponen siguiendo las curvas de nivel a fin de evitar la erosión, con pendientes medias del 20% y una altitud de 700 m.

Con el paso del tiempo se han producido terrazas, que con el mantenimiento de una cubierta vegetal se ha conseguido mejorar la capacidad de retención de agua de lluvia, la estructura del suelo y evitar la erosión. Los suelos son de textura arenosa, pobres en materia orgánica con un fondo de piedra pizarrosa, con buena capacidad de retención de la humedad.

Son suelos propios para el cultivo de la vid. Para la implantación del viñedo se han tenido en cuenta la orientación, pendiente, insolación y altura de las distintas parcelas, adecuándolas a la distinta vid implantada.

La superficie de los viñedos es de 25 ha, con una producción media de 6000 kg/ha, con lo que se prevé una producción de una total de 150000 kg/año.

1.2.3. Variedad de vid implantada

Syrah

Variedad procedente del Ródano. Tiene una muy buena adaptación en climas cálidos, Sicilia, Australia, Andalucía, Chile... De fruto pequeño y racimo suelto, aromas a frambuesa y aceituna negra, da vinos finos y con tanicidad suficiente para asegurarles larga vida. En la zona tiene una excelente adaptación, dando vinos de un color rojo azulado intenso y buena acidez.

1.2.4. Financiación. Incentivos regionales

Los incentivos regionales son ayudas financieras que concede el Estado a la inversión productiva para fomentar la actividad empresarial, orientando su localización hacia las zonas más deprimida y contribuyendo así a paliar los desequilibrios interterritoriales, a través de proyectos incentivables como:

- La creación de nuevos establecimientos.
- La ampliación de una actividad ya establecida o iniciación de una nueva por la empresa solicitante.
- La modernización de las instalaciones (siempre que no se trate de una mera inversión de reposición).

Se trata de subvenciones a fondo perdido, cuya cuantía se expresa en porcentajes sobre los costes considerados elegibles y cuyo beneficiario es el sector empresarial: en general, la industria transformadora; particularmente, las de tecnología avanzada, servicios de apoyo a la industria y los que mejoren significativamente las estructuras comerciales, así como, alojamientos turísticos e instalaciones complementarias de ocio.

La Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, colabora con el Ministerio de Economía y Hacienda, en la gestión y tramitación de los expedientes, cuyas solicitudes se deben presentar en las Delegaciones Territoriales de la citada Consejería, donde se realice la inversión. El órgano Gestor de la Comunidad Autónoma de Andalucía es la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo.

- ***Inversiones Subvencionables***

Los conceptos de inversión que podrán incentivarse serán los activos fijos de carácter material nuevos o de primer uso, referidos a los siguientes elementos de inversión:

- Obra Civil.
- Bienes de Equipo, excluidos los elementos de transporte exterior.
- Estudios previos de viabilidad.
- Otros conceptos, excepcionalmente.

- ***Zona de promoción económica***

Todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía está considerado como zona de Promoción Económica de Tipo I. Esto quiere decir que:

- A este tipo de zona le corresponden las máximas ayudas permitidas por la Unión Europea.
- Concesión de subvenciones hasta un máximo del 40% (2007-2010); 30% (2011-2015) de la inversión aprobada.
- Los proyectos ubicados en los municipios que son los señalados en el Real Decreto 162/2008, de 8 de febrero, por el que se delimita la zona de promoción económica de Andalucía serán considerados prioritarios.

- ***Requisitos a cumplir***

Los proyectos deberán cumplir, entre otras y principalmente, las condiciones de no inicio de la inversión antes del momento en que el órgano competente de la comunidad autónoma haya confirmado por escrito al solicitante que el proyecto es, a primera vista, susceptible de ser elegible; autofinanciación mínima del 30% y viabilidad económica, técnica y financiera. La dimensión mínima del proyecto será de 600 mil euros en inversión aprobada.

- ***Normativa***

- Ley 50/1985, de 27 de diciembre, para la corrección de desequilibrios económicos interterritoriales (BOE nº 3, de 3 de enero de 1986).
- Real Decreto 899/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley de 27 de diciembre de 1985 (BOE nº 172, de 19 de julio de 2007).
- Real Decreto 162/2008, de 8 de febrero, por el que se delimita la zona de promoción económica de Andalucía.
- Orden EHA/2874/2009, de 15 de octubre, por la que se aprueban normas complementarias para la tramitación y gestión de los incentivos regionales previstos en la Ley 50/1985, de 27 de diciembre (BOE nº 261, de 29 de octubre de 2009).
- Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

- ***Plazo de Solicitud***

Hasta Julio de 2015.

- ***Documentación a presentar por las empresas que soliciten acogerse a los beneficios de incentivos económicos regionales (Ley 50/85 de 03/01/1986)***

7 Copias de:

- Instancia de Solicitud.
- Resumen de datos básicos, según modelo normalizado.
- Memoria del proyecto de inversión, según modelo normalizado.
- Anexo "Cuestionario Medioambiental".
- Plano de Situación y Emplazamiento a escala mínima 1:2000.
- Plano de Distribución en Planta.
- Mediciones y Presupuesto de la Obra Civil.
- Factura Proforma del resto de la inversión.
- Balance y Cuenta de Resultados de los últimos tres ejercicios, en el caso de que la sociedad haya tenido actividad (impuesto de Sociedades).
- Autorización a la Consejería para petición de Informe de Vida Laboral.
- Copia de la Solicitud de Inscripción en el Registro de Establecimientos y Actividades Turísticas en al caso de tratarse de esta actividad.
- D.N.I. del solicitante.
- Escritura de Constitución de la Sociedad y Estatutos debidamente inscritos en el Registro Mercantil, o compromiso de constitución de la misma.
- Tarjeta C.I.F. de la sociedad en caso de ser constituida.
- Certificado de la Seguridad Social de estar al corriente en sus obligaciones y Certificado de la Administración de Hacienda del Estado de estar al corriente en las obligaciones fiscales.
- Autorización a Fondos Comunitarios para la solicitud de datos.
- Declaración de otras Ayudas Públicas solicitadas para este mismo proyecto.
- Declaración de la existencia de efecto incentivador según modelo, en el caso de grandes empresas.
- Declaración de estar al corriente en el Reintegro de Subvenciones.
- Declaración de Renuncia a ayudas de FEADER (solo agroalimentarias)
- Declaración de no inicio de las inversiones. (No podrá entregarse hasta que no se le remita la carta de Elegibilidad).

NOTAS:

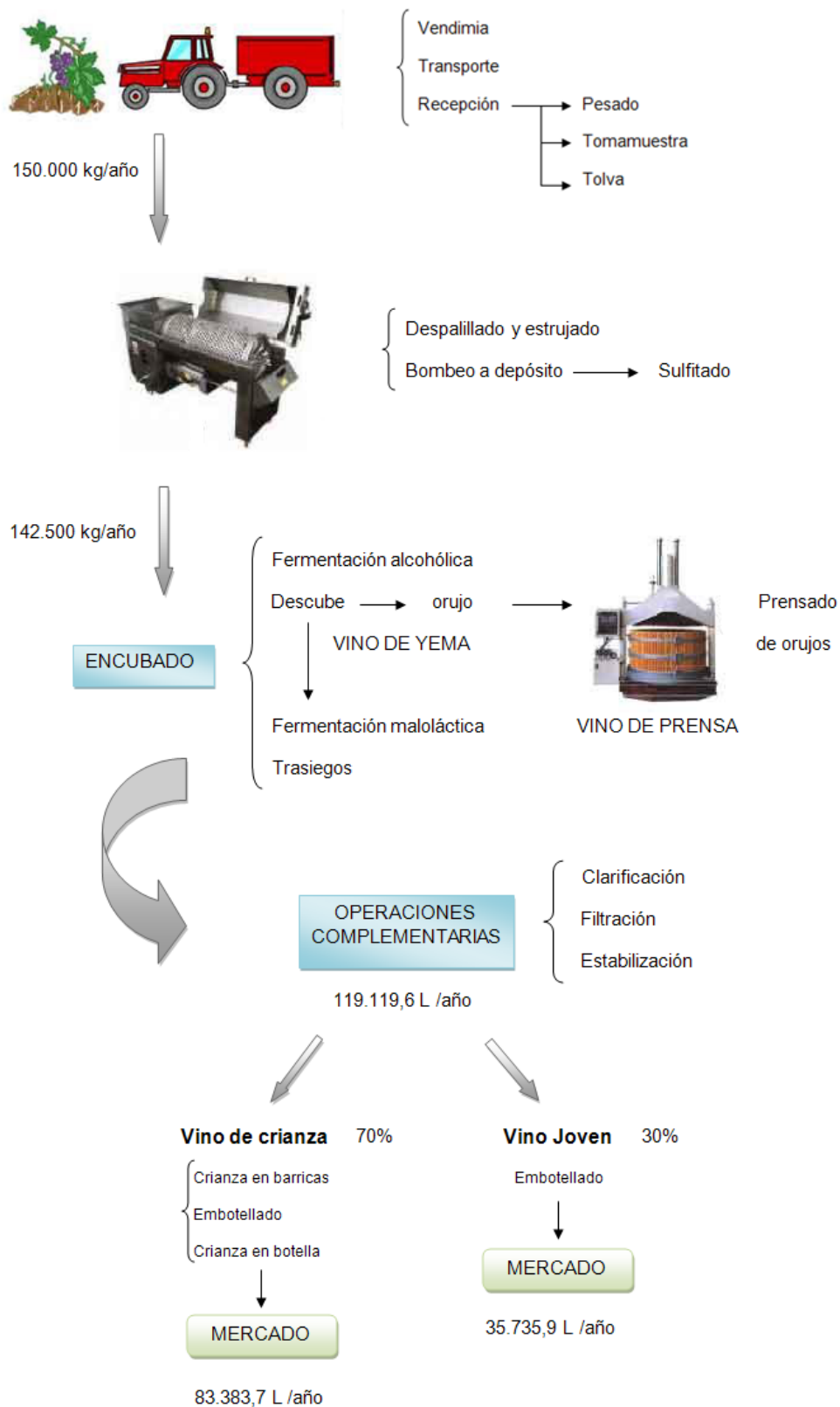
Cuando se trate de una Industria Agroalimentaria o Turística se entregará una copia adicional.

Si la sociedad no hubiese tenido actividad con anterioridad a la fecha de solicitud, los Certificados de Seguridad Social, Hacienda y Trabajo se sustituirán por una Declaración Jurada del apoderado de la misma haciendo constar esta circunstancia.

De todos los documentos se presentarán los originales para su compulsa.

Capítulo 2. Descripción del proceso

2.1. Diagrama de bloques



2.2. Equipos a instalar

2.2.1. Báscula

Para determinar el peso de la uva que llegará a la bodega mediante los remolques cargados, se utilizará una báscula de pesaje electrónico de capacidad 60 toneladas, sin mecanismos que requieran mantenimiento. La plataforma de pesaje se apoya directamente en las células de carga y soportes; con topes de seguridad regulables.

Las células de pesaje son de acero inoxidable, que no necesitan mantenimiento. Además las plataformas también son metálicas, de tipo modular, ensambladas por tornillos de rápido y fácil montaje y desmontaje para su traslado. El visor también estará acabado en acero inoxidable, con teclado de PC y programa pesa camiones e impresora incorporada de 40 columnas.

2.2.2. Toma-muestra

El equipo de toma-muestra existente en la bodega está formado por:

- Columna soporte con disposición para su colocación fija a una altura de 3.30 m lo que permite desarrollar el trabajo con facilidad.
- Brazo móvil, con movimiento mediante cilindros hidráulico, que permite tanto su giro horizontal como vertical y un desplazamiento telescópico.
- Sonda toma-muestra tubular provista de una hélice que eleva la materia y una paleta de rotura en tambor perforado de acero inoxidable.
- Equipo con mandos centralizados para el acondicionamiento de todos los movimientos hidráulicos eléctricos.
- Motor eléctrico directamente acoplado.

2.2.3. Tolva de recepción

Se dispondrá de una tolva de recepción con capacidad de 12.000 kg construida en chapa de acero inoxidable AISI-304 con boca de descarga del mismo material.

Este equipo tiene por función recibir el material a granel volcado de alguna cinta, tornillo sinfín o directamente desde una pala y por estar dotada de un sistema de

sensores que registra el peso del material vertido y con esto poder dosificar las cantidades.

Por el interior de la tolva discurre un sinfín cuya hélice estará construida con un acero inoxidable AISI-304.



Figura 2.1. Tolva de recepción [21]

2.2.4. Despalilladora-estrujadora

La bodega tendrá un conjunto despalilladora- estrujadora con un rendimiento de 2000 kg/h, accionado por un motor de la cual será de rodillos y el despalillado horizontal. El estrujado realizado será mínimo.



Figura 2.2. Despalilladora- estrujadora [22]

2.2.5. Aspirador de raspón

Aspiradores neumáticos idóneos para alejar los escobajos que salen de las despalilladoras en el tratamiento de la uva. Estas máquinas se montan normalmente sobre una armadura de algunos metros de altura y están conectadas por medio de una tubería de PVC, a una tolva para los escobajos provenientes de la descarga de una o varias despalilladoras.



Figura 2.3. Aspirador de raspón [22]

2.2.6. Bomba peristáltica

Se utilizan para enviar la uva despalillada y/o estrujada a los depósitos de fermentación o a su prensado, dependiendo del tipo de uva. Normalmente están compuestas en su aspiración de una tolva de recepción alimentada por tornillo sinfín, todo construido en acero inoxidable, para cuidar al máximo el producto, girando a pocas revoluciones.



Figura 2.4 Bomba peristáltica [21]

2.2.7. Bombas centrífugas

➤ Para remontado

Bomba centrífuga mono - fase, cuerpo inox de superficie completamente lisa y fina, sin porosidad por dónde se podría filtrar el líquido. Especial para remontados, para su uso con líquidos limpios ó con sólidos. De desmontaje fácil, facilita las labores de limpieza de la bomba y sus componentes



Figura 2.5. Bomba centrífuga ideal para remontados.[22]

- Para descube, trasiego y estabilizador

Bomba inox modelo CDX especial para trasegar líquidos limpios, turbina inox. Cuerpo de bomba, impulsor, difusor y base porta cierre AISI 304, soporte carcasa motor en aluminio.



Figura 2.5. Bomba centrífuga para trasiego y estabilización [22]

2.2.8. Prensas neumática

Prensa neumática modelo PST5 Prensa de membrana tubular para la producción de vinos. Caracterizadas por un prensado suave y regulable gracias garantizando la obtención de un mosto de elevada calidad.

Prensado a tanque cerrado



Figura 2.6. Prensa neumática [22]

2.2.9. Depósitos de fermentación, descube y trasiego

Depósitos inox 304, estándar fondo cónico, con junta de caucho natural, pudiéndose utilizar para distintos procesos en la bodega.

Capacidad: 10 m³ (fermentación) y 35 m³ (descube y trasiego)

2.2.10. Sulfitómetro manual

Su fitómetro manual de Dióxido de Azufre (SO₂), para su dispensación fácil y segura. Para utilizar de manera portátil o fijado en una superficie. Conexión directa de la botella de SO₂



Figura 2.8. Sulfitómetro manual [22]

2.2.11. Clarificación

La tecnología escogida es la de clarificación por encolado mediante albúmina de huevo. La albúmina de huevo tiene origen proteico y desde siempre se ha considerado el mejor clarificante de vinos de gran calidad, ya que muchos otros aditivos arrastran consigo compuesto deseados para el vino.

Una vez añadido el clarificante se mantendrá el vino en reposo y sin oscilaciones de temperatura, aproximadamente dos semanas. La eliminación se llevará a cabo mediante filtración por tierras.

2.2.12. Filtro de tierra

Filtros de tierras descarga manual mod. DCOM/4

Producción de 100 hl / h



Figura 2.9. Filtro de tierra [22]

2.2.1. Sistema de microfiltración

La microfiltración del vino antes de su embotellado es el único sistema que garantiza con absoluta seguridad la total ausencia de microorganismos indeseables que pueden producir una posterior alteración del producto una vez embotellado. El equipo permite, mediante la elección de los cartuchos adecuados, adaptarse a las exigencias de cada tipo de vino, lo que la convierte en una instalación muy versátil.



Figura 2.10. Sistema de microfiltración [21]

2.2.2. Depósito isoterma (estabilización)

Depósitos que mantienen a una determinada temperatura, el producto que almacenan dentro. Los vinos permanecen en ellos durante aproximadamente una semana y luego son trasladados nuevamente a los depósitos de almacenamiento.

Con camisa de refrigeración interior, válvula seguridad, puerta inferior aislada térmicamente con doble puerta, boca, termómetro y grifo saca muestras, entrada producto limpio y salida con vaciado total, fondo cónico.

2.2.3. Barricas de roble

En la bodega tanto las barricas como las botellas se almacenarán en salas a temperatura y a humedad relativa controlada.

En cuanto a las condiciones de las salas, ambas se mantendrán entre 12-15°C de temperatura y la humedad relativa será de 92-95% en la sala de barricas de roble de 225 l y de 80-85% en la sala de crianza en botella.

2.2.4. Llenado-taponado

Modelo MONDIAL/S. Los Monoblocs de llenado y taponado son la solución para las exigencias de embotellado de las bodegas de pequeña y gran capacidad de producción. Son ideales para vinos tranquilos. El sistema de llenado es por gravedad o por gravedad con ligera depresión.

Es ideal para vinos tranquilos, con producciones de 1.500 a 1.800 bot/h de tipo bordelesa de 0,75 cl. El sistema de llenado es por gravedad, con opción depresor



Figura2.11.Llenado-taponado [21]

2.2.5. Lavadoras-secadoras de botellas crianza

Modelo LABI. Máquina automática para el lavado, enjuagado y secado de botellas llenas de crianza, fabricada en acero inoxidable AISI-304 con una construcción compacta y de fácil manejo y regulación.

2.2.6. Etiquetadora

Modelo ET 1500. Etiquetadoras autoadhesivas con distribución de las etiquetas mediante control de fotocélula que pueden leer en todo el alto de la etiqueta.



Figura 2.12. Etiquetadora autoadhesiva [21]

Capítulo 3. Diseño equipo de fermentación

3.1. Recepción

La entrada total de uva será de 150000 kg uva tinta en una campaña de 15 días, por lo que entrarán 10000 kg diariamente.

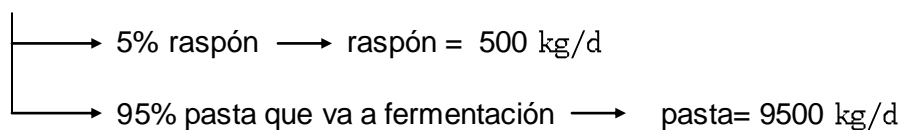
La tolva de recepción y la despalladora-estrujadora deberá estar preparada para una capacidad de:

$$Q = \frac{10000 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{8 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Ya que trabajarán 8 horas diarias.

- Cálculo de la porción de raspón y pasta:

Una vez sale de la despalladora-estrujadora



3.2. Número de depósitos de fermentación

La pasta formada después de la estrujadora y despalladora entra en el depósito de fermentación.

85% de 9500 kg = 8075 kg van destinados al vino de yema

$$\rho_{mosto} = 1,07 \text{ kg/L} \longrightarrow 8075 \text{ kg} \frac{1 \text{ L}}{1,07 \text{ kg}} = 7546,7 \text{ L vino de yema}$$

Cálculo de la porción de orujo:

$$15\% \text{ de } 9500 \text{ kg} = 1425 \text{ kg son orujos} \quad \left\{ \begin{array}{l} 10\% \text{ de } 9500 \text{ kg} = 950 \text{ kg } 1^{\text{a}} \text{ prensada} \\ 5\% \text{ de } 9500 \text{ kg} = 475 \text{ kg } 2^{\text{a}} \text{ prensada} \end{array} \right.$$

Los orujos pasan a la prensa, la primera prensada es suave y se obtiene un vino de calidad el cuál puede ser mezclado con el vino de yema.

$$1^{\text{a}} \text{ prensada: } 950 \text{ kg} \frac{1 \text{ L}}{1,07 \text{ kg}} = 887,8 \text{ L vino de prensa para mezclar}$$

$$\text{Vino de yema} + 1^{\text{a}} \text{ prensada: } 7546,7 \text{ L} + 887,8 \text{ L} = 8437,5 \text{ L}$$

$$\text{Vino de prensa: } 475 \text{ kg} \frac{1 \text{ L}}{1,099 \text{ kg}} = 443,9 \text{ L}$$

Total de vino contenido en los depósitos de fermentación:

$$8437,5 \text{ L} + 443,9 \text{ L} = 8880,9 \text{ L}$$

El depósito se llena al 80% aproximadamente, ya que el espacio restante se deja libre para poder trabajar sobre la vendimia, introduciendo un aditivo sulfuroso, que es antioxidante y que frena a las bacterias mientras permite que las levaduras funcionen, así como para los remontados y otros procesos.

La fermentación dura de 8 a 10 días por los que los tanques a los 10 días como máximo se quedarán libres para más recepción.

$$8880,9 \frac{\text{L}}{\text{d}} \cdot 10 \text{ d} = 88809 \text{ L}$$

Por lo tanto necesitamos:

- 11 depósitos de 10 m^3 donde se almacenará en cada uno de ellos de $8 \pm 0,01 \text{ m}^3$

3.3. Cálculo de depósito de fermentación de 10 m^3

$$V_T = V_{cil.+cono} + 20 \% \text{ de seguridad} \quad (1)$$

$$V_T = 8 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3 = 10 \text{ m}^3$$

Los depósitos cilíndricos de fondo cónico están formados por tres partes:

- Cabeza: semielipsoide → Espacio de seguridad es un 20% (h_1)
- Carcasa: cilíndrica → Espacio donde se almacena la mayor parte del mosto. (h_2)
- Fondo: cónico → Espacio donde se recogen las levaduras, hollejos, sólidos... tras la fermentación, así como espacio donde también se almacena el mosto durante el proceso. (h_3)

Una forma esquemática de representarlo sería como muestra la Figura 3.1:

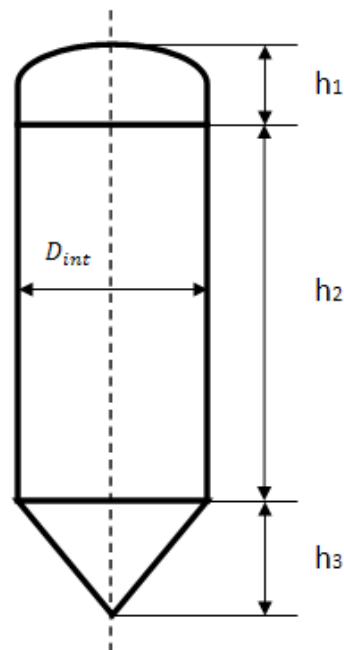


Figura 3.1. Esquema depósito cilíndrico de fondo cónico.

Por lo que podemos deducir:

$$V_T = V_{semielipsoide} + V_{cilindro} + V_{cono} \quad (2)$$

Aplicando por tanto (1,2), obtenemos que:

$$V_{semielipsoide} + V_{cilindro} + V_{cono} = 5 \text{ m}^3$$

Donde,

$$V_{semielipsoide} = \frac{2}{3} \pi r^2 h_1 \quad (3)$$

$$V_{cilindro} = \pi r^2 h_2 \quad (4)$$

$$V_{cono} = \frac{\pi r^2 h_3}{3} \quad (5)$$

Y además sabemos la relación entre la altura del cilindro y la altura del cono:

$$\frac{h_2}{h_3} = 2 \quad (6)$$

También deducimos la relación entre la h_{cono} y el ángulo que este forma en su fondo:

$$tg \frac{\alpha}{2} = \frac{r_{cono}}{h_{cono}} \quad (7)$$

A continuación, utilizando la ecuación (3, 4, 5), los volúmenes de cada forma geométrica y la ecuación (6):

$$V_{mosto} = V_{cilindro} + V_{cono} \quad (8)$$

$$V_{mosto} = \pi r^2 h_2 + \frac{\pi r^2 h_3}{3} = 8 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_{mosto} &= \pi r^2 2h_3 + \frac{\pi r^2 h_3}{3} = \pi r^2 \left(2h_3 + \frac{1}{3} h_3 \right) = \pi r^2 \left(\frac{2r}{tg \frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{3} \frac{r}{tg \frac{\alpha}{2}} \right) \\ &= \frac{\pi r^3}{tg \frac{\alpha}{2}} \left(2 + \frac{1}{3} \right) = \frac{7 \pi r^3}{3 tg \frac{\alpha}{2}} \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_{mosto} \cdot tg \frac{\alpha}{2}}{7 \cdot \pi}} \end{aligned}$$

Como datos tenemos:

$$V_{mosto} = 8 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Por tanto despejando obtenemos el radio interno del tanque de fermentación:

$$r_i = 0,85 \text{ m}$$

Y por consiguiente el diámetro:

$$D_i = 1,7 \text{ m}$$

Sabiendo el radio interno del depósito podemos sacar las diferentes alturas:

$$h_{cabeza} = h_1 \rightarrow \text{ecuación 3} \rightarrow h_{cabeza} = \frac{2 \text{ m}^3 \cdot 3}{2 \cdot \pi \cdot (0,85 \text{ m})^2} = 1,3 \text{ m}$$

$$h_{cono} = h_3 \rightarrow \text{ecuación 7} \rightarrow h_{cono} = \frac{0,85 \text{ m}}{\tan \frac{60}{2}} = 1,47 \text{ m}$$

$$h_{cilindro} = h_2 \rightarrow \text{ecuación 6} \rightarrow h_{cilindro} = 2 \cdot 1,47 \text{ m} = 2,94 \text{ m}$$

Por lo que podemos saber la altura total del tanque, h_T :

$$h_T = 1,3 \text{ m} + 1,47 \text{ m} + 2,94 \text{ m} = 4,7 \text{ m}$$

Ya tenemos por tanto el dimensionado del depósito:

$$D_{interior} = 1,7 \text{ m}$$

$$h_T = 4,7 \text{ m}$$

3.3.1. Material de construcción.

El material elegido para la construcción de nuestro tanque de fermentación será de **acero inoxidable AISI 304**. A continuación vemos las diferentes características de este acero [25]:

- ✓ **Descripción:** éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso

continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

✓ **Normas involucradas:** ASTM A 276

✓ **Propiedades mecánicas:**

- Resistencia a la fluencia 310 MPa
- Resistencia máxima 620 MPa
- Limite elástico 200 MPa
- Alargamiento 30 %
- Reducción de área 40 %
- Módulo de elasticidad $2 \cdot 10^{11}$ Pa

✓ **Propiedades físicas:**

- Densidad 7800 kg/m³

✓ **Propiedades químicas:**

- 0.08 % C
- 2.00 % Mn
- 1.00 % Si
- 18.0 – 20.0 % Cr
- 8.0 – 10.5 % Ni
- 0.045 % P
- 0.03 % S

✓ **Usos:** Sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

- ✓ **Tratamientos térmicos:** Éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente.

3.3.2. Cálculo de espesores

Pasamos al cálculo del espesor de las paredes del depósito. Calcularemos por separado cada una de las diferentes partes geométricas de las que está formada el tanque:

- Espesor del cono.
- Espesor del cilindro.
- Espesor de la cabeza.

Pero antes de calcular estos espesores, vamos a calcular los datos que nos son necesarios para el cálculo de éstos, son los llamados datos de diseño, de los cuáles depende el espesor y son comunes en todas las ecuaciones de cálculo del mismo.

3.2.3.1. Datos de diseño

- **Radio interior del tanque:** $R_i = 0,85 \text{ m}$
- **Diámetro interior del tanque:** $D_i = 1,7 \text{ m}$
- **Temperatura de operación:** $T_{\text{fermentación}} = 28^\circ\text{C}$
- **Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (P)**

Un recipiente se debe diseñar para soportar la presión máxima a la sea probable que esté sometido durante la operación. Ésta normalmente será un 5 a 10% por encima de la presión normal de trabajo.

Básicamente está establecido que todos los recipientes, en los cuales se puede producir una sobrepresión de más de 0,1 bar sobre el nivel del líquido, deben ser considerados como recipientes a presión y deben aplicarse las disposiciones de la correspondiente reglamentación [14,15].

La presión de diseño es la presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 p.s.i o 10 % más que la presión de trabajo, la que sea mayor. También debe tomarse en consideración la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente [14].

Por tanto nos queda que la presión de diseño debe ser la mayor de los siguientes requisitos:

$$1) P = (P_o + P_H) + 10 \% (\text{seguridad}) \text{ (p.s.i)} \quad (9)$$

Ó

$$2) P = 30 \text{ p.s.i}$$

Siendo:

P_o = Presión de operación

P_H = Presión hidrostática del producto

$$P_H = P_e \cdot h \quad (10)$$

P_e =Peso específico del producto

h =Altura de la columna de producto.

Para el cálculo de la presión de operación que no es otra que la que ejerce el CO_2 durante el proceso fermentativo, al no trabajar a presiones elevada podemos tomar como referencia la presión atmosférica (1 atm).

Pasamos a p.s.i ya que a continuación usaremos fórmulas que requieren estas unidades.

$$1 \text{ atm} \cdot \frac{1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1 \text{ atm}} \cdot \frac{2,205 \text{ Lb}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{10^4 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ pulg}^2} = 14,7 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}^2} \text{ (p.s.i)}$$

Calculamos a continuación la presión hidrostática que provoca el mosto dentro del depósito por (10):

$$\begin{aligned} P_{H.\text{mosto}} &= P_{\text{espec.mosto}} \cdot h_{\text{mosto}} = 1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,54 \text{ m} = 46243,3 \text{ Pa} \\ &= 6,7 \text{ p.s.i} \end{aligned}$$

Por tanto aplicando las 2 condiciones primeras:

$$1) P = (P_o + P_H) + 10 \% = (14,7 \text{ p.s.i} + 6,7 \text{ p.s.i}) + 10 \% = 23,54 \text{ p.s.i}$$

$$2) P = 30 \text{ p.s.i}$$

$$\text{Presión de diseño} = 30 \text{ p.s.i}$$

- **Valor de esfuerzo o tensión máxima admisible (S)**

Para este cálculo es bueno saber dos características de nuestro material [14]

- Tensión de rotura (σ_r) = 517 MPa = 75000 p.s.i
- Límite elástico (σ_e) = 210 MPa = 30000 p.s.i
- El cálculo de la tensión máxima admisible según el código ASME, sección VIII se puede hacer a partir de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\sigma_e}{1,5} \quad (11)$$

Siendo la tensión máxima admisible:

$$S = 20000 \text{ p. s. i}$$

- **Eficiencia de la junta (E)**

Para obtener el valor de la eficiencia de junta nos vamos a la NORMA UW-12 del código ASME [15] por la cual nos dice que para juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza, que es la que utilizaremos para nuestro reactor, tiene un valor de 0,85.

- **Margen por corrosión (C.A)**

Por tratarse de un material del tipo inoxidable austenítico AISI 304 no se considerará una capa de pérdida de espesor por corrosión.

Teniendo los datos de diseño ya determinados, pasamos al cálculo de los diferentes espesores. Todos ellos basándonos en el código A.S.M.E. para recipientes a presión interna [14]:

3.2.3.2. Espesor del cono

Para el cálculo del espesor del cono nos basamos en la siguiente ecuación:

$$t_{cono} = \frac{P D_i}{2 \cos \alpha (SE - 0,6P)} + C.A \quad (12)$$

Donde,

$$P = 30 \text{ p.s.i}$$

$$D_i = 1,7 \text{ m}$$

$$S = 20000 \text{ p.s.i.}$$

$$E = 0,85$$

$$\alpha = (\text{Valor de la mitad del ángulo en el vértice}) = 30^\circ$$

$$C.A = \text{no es necesario}$$

$$t_{cono} = \frac{30 \text{ p.s.i.} \cdot 1,71 \text{ m}}{2 \cos 30^\circ (20000 \text{ p.s.i.} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30 \text{ p.s.i.})} = 0,0017 \text{ m}$$

$$= 1,7 \text{ mm}$$

De acuerdo al diámetro del depósito la norma especifica un espesor mínimo nominal (Tabla 3.1):

Tabla 3.1. Espesores nominales de lámina (Fuente: Norma API 620)

D[ft]	t[in]		D[m]	t[mm]
D<50	3/16		D<15	4.76
50<D<120	¼		15<D<37	6.35
120<D<200	5/16		37<D<61	7.94
D>200	3/8		D>61	9.52

En un catálogo de espesores de chapa (Tabla 3.2) buscamos el espesor que mas se aproxime a 4,76 mm y obtenemos:

Tabla 3.2. Chapas de acero inoxidable. (Fuente proinox S.A) [24]

Espesor	FORMATOS					
	2000x1000	3000x1200	3000x1250	3000x1500	6000x1500	6000x2000
0,4	6,4	***	***	***	***	***
0,5	8	***	***	***	***	***
0,6	9,6	17,28	18	***	***	***
0,8	12,8	23,04	24	***	***	***
1	16	28,8	30	36	***	***
1,2	19,2	34,56	36	43,2	***	***
1,5	24	43,2	45	54	***	***
2	32	57,6	60	72	***	***
2,5	40	72	75	90	***	***
3	48	86,4	90	108	216	***
4	64	115,2	120	144	288	384
5	80	144	150	180	360	480
6	96	172,8	180	216	432	576
8	128	230,4	240	288	576	768
10	160	288	300	360	720	960
12	192	345,6	360	432	864	1152
15	240	432	450	540	1080	1440
18	288	518,4	540	648	1296	1728
20	320	576	600	720	1440	1920
22	352	633,6	660	792	1584	2112
25	400	720	750	900	1800	2400
30	480	864	900	1080	2160	2880
35	560	1008	1050	1260	2520	3360
40	640	1152	1200	1440	2880	3840
50	800	1440	1500	1800	3600	4800
60	960	1728	1800	2160	4320	5760
70	1120	2016	2100	2520	5040	6720

Por tanto adoptaremos por el valor de espesor nominal que nos dé una mayor seguridad en el depósito, y como no vamos a trabajar a presiones muy elevadas éste es suficiente:

$$t_{adoptado} = 5 \text{ mm}$$

A continuación pasamos a comprobar si el espesor adoptado es válido para nuestro reactor. Para ello se calculan la tensión radial y la tensión longitudinal y se hace de la siguiente forma:

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D_i}{4 \cdot t_{adoptado} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (13)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot t_{adoptado} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (14)$$

Una vez calculadas, la condición para que el espesor sea válido es:

$$\sigma_m < \sigma_\theta < E \cdot S \quad (15)$$

Tabla 3.3. Soluciones al cálculo de la tensión radial y longitudinal del cono

σ_m	σ_θ	$E \cdot S$	$\sigma_m < \sigma_\theta < E \cdot S$
2961,8 p. s. i	5923,6 p.s.i	17000 p.s.i	$t_{adoptado} = 5 \text{ mm}$ Es válido

3.2.3.3. Espesor del cilindro

Para el cálculo del espesor del cilindro nos volvemos a basar en el código ASME [14] por el cual nos dice que:

$$t_{cilindro} = \frac{P R_i}{SE - 0,6P} \quad (16)$$

Donde,

$$P = 30 \text{ p.s.i}$$

$$R_i = 0,85 \text{ m}$$

$$S = 20000 \text{ p.s.i}$$

$$E = 0,85$$

Siendo el espesor del cilindro:

$$t_{cilindro} = \frac{30 \text{ p.s.i} \cdot 0,85 \text{ m}}{20000 \text{ p.s.i} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 30 \text{ p.s.i}} = 0,0015 \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$$

Igual que antes, según tabla 3.1 y tabla 3.2 el espesor necesario será:

$$t_{adoptado} = 5 \text{ mm}$$

A continuación vamos a determinar si el espesor adoptado es válido. Para ello se utiliza las siguientes ecuaciones, donde se calcula la tensión radial (σ_θ) y la tensión longitudinal (σ_z):

$$\sigma_z = \frac{P \cdot D_i}{4 \cdot t_{adoptado}} \quad (17)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot t_{\text{adoptado}}} \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_{\theta}^2} \quad (19)$$

El espesor será válido si:

$$\sigma_z, \sigma_{\theta}, \sigma < S \cdot E \quad (20)$$

Tabla 3.4. Soluciones al cálculo de la tensión radial y longitudinal del cilindro

σ_z	σ_{θ}	σ	$E \cdot S$	$\sigma_z, \sigma_{\theta}, \sigma < S \cdot E$
2565 p. s. i	5130 p. s. i	5735,5 p. s. i	17000 p. s. i.	$t_{\text{adoptado}} = 5 \text{ mm}$ Es válido

Una vez calculados los espesores del cuerpo y del fondo tenemos que determinar si se necesita refuerzo entre la unión cilindro-cono. Para esto nos basamos en el código A.S.M.E. [14] según el cual para valores de ángulo en el vértice del cono $\leq 30^\circ$ será:

1. Determinar el factor x.
2. Calcular P/x y obtener el valor de Δ de las Tabla 3.5
3. Cuando Δ es menor que α , se debe considerar un refuerzo.
4. Determinar el refuerzo en la unión de cono y cilindro.

1) Determinar el factor x

X es el menor valor entre SS y SR, siendo SS el esfuerzo permisible del material del casco y SR el del cono. Al ser ambos del mismo material:

$$X = E \cdot S = 17000 \text{ p. s. i} \quad (21)$$

2) Determinar Δ

En primer lugar hay que determinar la relación P/x :

$$\frac{P}{x} = \frac{30 \text{ p.s.i}}{17000 \text{ p.s.i}} = 0.00176$$

Calculado esto, pasamos a mirar las Tablas:

Tabla 3.5. Valores de Δ para uniones en el extremo grande (arriba) y pequeño (abajo)
(Fuente: EUGENE F.MEGYESY)

P/x	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009*
Δ , grados	11	15	18	21	23	25	27	28,5	30
P/x		0.002	0.005	0.010	0.005	0.040	0.080	0.100	0.1249*
Δ , grados		4	6	9	12,5	17,5	24	27	30

* $\Delta = 30$ grados para un valor mayor de P/x

Como podemos observar, para obtener nuestro valor de Δ tendremos que interpolar:

$$x = 11 + \frac{15 - 11}{0,002 - 0,001} (0,00176 - 0,001) = 14^\circ$$

$$\Delta = 14^\circ$$

3) Cuando Δ es menor que α , se debe considerar un refuerzo.

Como vemos es menor que el valor del semiángulo del cono (30°):

$$14^\circ < 30^\circ \longrightarrow \boxed{\text{Necesitamos refuerzo}}$$

3.2.3.4. Refuerzo en la unión cono-cilindro

En el código A.S.M.E. [14] donde nos indica los siguientes pasos:

1) Cálculo del factor k

$$k = \frac{y}{S_r \cdot E_r} \quad (22)$$

Dónde,

$$y = S_{s,c} \cdot E_{s,c} \quad (23)$$

Siendo:

S_r = Esfuerzo máximo admisible del material del anillo (p.s.i)

E_r = Módulo de elasticidad del material del anillo (p.s.i)

$S_{s,c}$ = Esfuerzo máximo admisible del material del cilindro y del cono (p.s.i)

$E_{s,c}$ = Módulo de elasticidad del cilindro o del cono (p.s.i)

$$E_{s,c} = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} = 29006000 \text{ p.s.i}$$

Por tanto, el valor de y:

$$y = 20000 \text{ p.s.i} \cdot 29006000 \text{ p.s.i} = 5,8 \cdot 10^{11} \text{ p.s.i}^2$$

Una vez calculado este valor, pasamos al cálculo de k, por lo que consultando el código A.S.M.E., encontramos que el material del anillo de refuerzo debe mejorar la resistencia del acero inoxidable que hemos utilizado para la construcción del tanque o, por lo menos, igualarlo, por tanto usaremos el mismo material (acero AISI 304) para el refuerzo. Por tanto S_r y E_r tendrán los mismos valores que $S_{s,c}$ y $E_{s,c}$

$$k = \frac{y}{S_r \cdot E_r} = \frac{S_{s,c} \cdot E_{s,c}}{S_r \cdot E_r} = 1$$

2) Cálculo del área de sección transversal requerida.

$$A = \frac{P \cdot R_i^2 \cdot k}{2 \cdot x} \left(1 - \frac{\Delta}{\alpha} \right) \tan \alpha \quad (24)$$

Donde R_i deberá ir en pulgadas:

$$A = \frac{30 \text{ p.s.i.} \cdot (33,4 \text{ pulg})^2 \cdot 1}{2 \cdot 17000 \text{ p.s.i.}} \left(1 - \frac{14^\circ}{30^\circ} \right) \tan 30^\circ = 0,3 \text{ pulg}^2$$

3) Cálculo del área excedente del casco disponible para refuerzo.

$$A_e = 4 \cdot t_e \sqrt{R_i \cdot t_s} \quad (25)$$

$$t_e = \text{el menor de } (t_s - t) \text{ o } \left[t_c - \left(\frac{t}{\cos \alpha} \right) \right] (\text{pulg})$$

Dónde:

t_e = espesor excedente

t_s = espesor real del cilindro

t_c = espesor real del cono

t = espesor nominal del cilindro

$$t_e = (t_s - t) = 5 \text{ mm} - 4,76 \text{ mm} = 0,24 \text{ mm}$$

$$t_e = t_c - \left(\frac{t}{\cos \alpha} \right) = 5 \text{ mm} - \left(\frac{4,76 \text{ mm}}{\cos 30^\circ} \right) = -0,496 \text{ mm}$$

Por tanto, dado que el segundo da negativo, nos quedaremos con el primer valor de t_e :

$$t_e = 0,24 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25,4 \text{ mm}} = 0,0094 \text{ pulg}$$

$$\begin{aligned} A_e &= 4 \cdot t_e \sqrt{R_i \cdot t_s} = 4 \cdot 0,24 \text{ mm} \sqrt{850 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}} = 62,6 \text{ mm}^2 \\ &= 0,097 \text{ pulg}^2 \end{aligned}$$

4) Cálculo área de la sección transversal requerida en el anillo de compresión

El área de la sección transversal será igual al área de la sección transversal requerida menos el área excedente del casco:

$$A - A_e = 0.3 \text{ pulg}^2 - 0,097 \text{ pulg}^2 = 0,203 \text{ pulg}^2$$

Al usar una barra de 0,625 pulgadas de espesor:

$$\text{ancho del anillo} = \frac{0,203 \text{ pulg}^2}{0,625 \text{ pulg}} = 0.32 \text{ pulg} = 8 \text{ mm}$$

La longitud del anillo de compresión será igual que el perímetro exterior del cilindro:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot r_{ext} \quad (26)$$

Si el radio exterior del cilindro es:

$$r_{ext} = r_{int} + 2 \cdot t_{cilindro} \quad (27)$$

$$r_{ext} = 0,85 \text{ m} + 2 \cdot 0,005 \text{ m} = 0,86 \text{ m}$$

Por tanto, la longitud de la barra de compresión utilizada como anillo de compresión es:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot 0,86 \text{ m} = 5,4 \text{ m}$$

5) Ubicación del anillo de compresión

$$\text{Distancia máxima a la unión} = \sqrt{R_i \cdot t_s} \quad (28)$$

$$Dist_{max.1} = \sqrt{850 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}} = 65,2 \text{ mm} = 2,56 \text{ pulg}$$

Siendo:

$$\text{Distancia máxima del centro de gravedad a la unión} = 0,5\sqrt{R_i \cdot t_s} \quad (29)$$

$$Dist_{máx.2} = 0,5 \cdot 2,56 \text{ pulg} = 1,3 \text{ pulg}$$

3.2.3.4. Espesor de la semielipsoide

El cabezal de forma semielíptica más utilizado es el que tiene una relación 2:1, el cual cumple la siguiente igualdad [14] :

$$\frac{D}{2h} = 2 \quad (30)$$

Donde:

H: es la profundidad interna de la cabeza sin faldón, mitad del eje menor de la elipse.

D: es el diámetro interno de la cabeza

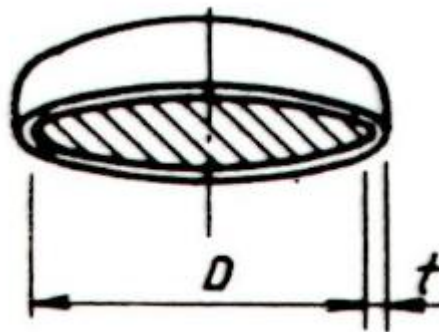


Figura 3.2.Esquema de un cabezal semielíptico

(Fuente: Eugene F.Megyesy)

Antes de pasar a calcular el espesor requerido para la cabeza, tenemos que comprobar si cumple la igualdad anterior:

$$\frac{1,71 \text{ m}}{2 \cdot 1,32 \text{ m}} = 0,65 \neq 2$$

Como vemos no cumple la relación de ejes, por lo que para las cabezas elipsoidales cuya relación del eje mayor al eje menor sea diferente de 2:1, tenemos que irnos al Apéndice 1-4 (c) de las normas [14], donde nos dice que el espesor mínimo requerido será igual a:

$$t_{semielip.} = \frac{P \cdot D_i \cdot k}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C.A \quad (31)$$

Siendo $k = \frac{1}{6} \cdot \left[2 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right] \quad (32)$

$$a = R$$

$$b = h_{semielip.}$$

$$k = \frac{1}{6} \cdot \left[2 + \left(\frac{0,68 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right)^2 \right] = 0.40$$

La presión de diseño será la de operación, ya que no debe haber líquido en la cabeza del tanque puesto que ésta sirve como protección contra la sobrepresión.

$$P = 14,7 \text{ p.s.i}$$

$$D_i = 1,71 \text{ m}$$

$$S = 20000 \text{ p.s.i}$$

$$E = 0,85$$

$$C.A = \text{no es necesario}$$

Por tanto el espesor para la cabeza será según (31):

$$t = \frac{14,7 \text{ p.s.i} \cdot 1,7 \text{ m} \cdot 0,40}{2 \cdot 20000 \text{ p.s.i} \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 14,7 \text{ p.s.i}} = 0.00029 \text{ m} = 0,29 \text{ mm}$$

Al igual que por los motivos citados anteriormente usando la Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 tomaremos un espesor de 5 mm y comprobaremos si el espesor elegido es válido utilizando (17, 18, 19 y 20)

Tabla 3.6. Soluciones al cálculo de la tensión radial y longitudinal para cabeza

σ_z	σ_θ	σ	$E \cdot S$	$\sigma_z, \sigma_\theta, \sigma < S \cdot E$
1256,8 p. s. i	2513,7 p. s. i	2810,4 p. s. i	17000 p. s. i	$t_{adoptado} = 5 \text{ mm}$ Es válido

3.3.3. Cálculo del peso del depósito

3.3.3.1. Peso del armado

El peso del armado estará formado por el peso del recipiente más la sobrecarga por los accesorios del tanque:

$$P_{armado} = P_{semielip.} + P_{cilindro} + P_{cono} + P_{accesorios}$$

✓ Peso de la semielipsoide

La cabeza al ser una Figura semielipsoide, tendremos que calcular el área a través de la siguiente fórmula:

$$A_{semielip.} \approx 2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{a^p \cdot b^p + a^p \cdot c^p + b \cdot c^p}{3} \right]^{\frac{1}{p}} \quad (36)$$

Donde:

$$a = b = r = 0,85 \text{ m}$$

$$c = h_1 = 1,32 \text{ m}$$

$$p \approx 1,6075$$

$$A_{semielip.} \approx 6,4 \text{ m}^2$$

Consultando con diferentes catálogos [17, 28] hemos encontrado que el peso de una chapa de acero inoxidable AISI 304 de 5 mm por m^2 es de 40 kg:

$$P_{semielip.} = A_{semielip.} \times \frac{P_{chapa}}{\text{m}^2} = 6,4 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ kg/m}^2 = 256 \text{ kg}$$

En la tabla 3.2 observamos que las chapas normalizadas de 5 mm de espesor, y tomamos la superior más cercana a 256 kg, por lo que utilizaremos una chapa de 6 m x 1,5 m (9 m²) de acero inoxidable AISI 304 de espesor 5 mm y la acoplaremos a nuestro depósito de fermentación.

✓ **Peso del cilindro**

Siendo el área del cilindro:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \text{ (m}^2\text{)} \quad (33)$$

Donde,

$$r = \text{radio del cilindro}$$

$$L = \text{altura del cilindro}$$

Así que:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot 0,85 \text{ m} \cdot 2,94 \text{ m} = 15,7 \text{ m}^2$$

Como en el procedimiento anterior, y tratándose del mismo material:

$$P_{cilindro} = A_{cilindro} \cdot \frac{P_{chapa}}{\text{m}^2} = 15,7 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ kg/m}^2 = 628 \text{ kg}$$

Que tendríamos que comprar dos chapas de 6 m x 1,5 m (9 m²) (Tabla 3.2) y acoplarla a nuestro depósito.

✓ **Peso del cono**

Para el peso del cono comenzamos calculando el área del cono, siendo está igual a:

$$A_{cono} = \pi \cdot g \cdot r \text{ (m}^2\text{)} \quad (34)$$

Siendo:

$$g = \sqrt{r^2 + h^2} \quad (35)$$

Dónde:

g = generatriz del cono

r = radio del cono

h = altura del cono

Sustituyendo:

$$g = \sqrt{(0,85 \text{ m})^2 + (1,47 \text{ m})^2} = 1,7 \text{ m}$$

$$A_{\text{cono}} = \pi \cdot 1,7 \text{ m} \cdot 0,85 \text{ m} = 4,5 \text{ m}^2$$

Por tanto igual que hicimos antes el peso del cono será:

$$P_{\text{cono}} = A_{\text{cono}} \times \frac{P_{\text{chapa}}}{\text{m}^2} = 4,5 \text{ m}^2 \cdot 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 180 \text{ kg}$$

Para el cono optaremos por adquirir una chapa de 3 m x 1,5 m (4,5 m²) de acero inoxidable AISI 304 de 5 mm de espesor, obtenida de la Tabla 3.2 y la acoplaremos a nuestro depósito

✓ **Peso de los accesorios**

Los accesorios que tendrá el depósito son los siguientes:

- Anillo de compresión.
- Patas de sujeción: Serían cuatro patas de perfiles en L-U-I soldados por encima de la línea de soldadura, bien directamente a la cubierta o bien a una placa de refuerzo soldada sobre el recipiente.
- Válvulas de entrada y salida, conexiones, bridas, etc.

Por tanto el sobrepeso que se tiene en cuenta por los accesorios se estima en exceso:

$$P_{\text{accesorios}} = 110 \text{ kg}$$

Una vez calculados todos los pesos de los que está formado el armado, sustituimos y pasamos al cálculo del peso del mismo:

$$P_{armado} = P_{semielip.} + P_{cilindro} + P_{cono} + P_{accesorios}$$

$$= 256 \text{ kg} + 628 \text{ kg} + 180 \text{ kg} + 110 \text{ kg} = 1184 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso del armado, se le añade un 6% de exceso en concepto de sobrepeso de las placas y de la soldadura utilizada para unir a éstas:

$$P_{armado} = P_{armado} + 6\% = 1255 \text{ kg}$$

3.3.3.2. Peso de operación

El peso de operación está formado por el peso del recipiente ya instalado más el peso del líquido de operación:

$$P_{operación} = P_{armado} + P_{líquido} \quad (37)$$

Siendo el peso del líquido:

$$P_{líquido} = P_{mosto} = \rho_{mosto} \cdot V_{mosto} = 1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ m}^3 = 8560 \text{ kg}$$

Por tanto el peso de operación será:

$$P_{operación} = 1255 \text{ kg} + 8560 \text{ kg} = 9815 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de operación vamos a comprobar que el peso del recipiente no provoque esfuerzos que no soporten los espesores calculados.

Según el código A.S.M.E. los esfuerzos deben de ser menores a E-S:

$$\sigma_{depósito} = \frac{P_{operación}}{A_{apoyo \text{ del depósito}}} < E \cdot S (17000 \text{ p.s.i}) \quad (38)$$

El área de apoyo del depósito es su diámetro como mínimo, por lo que vamos a hacer los cálculos suponiendo $D = 1,36 \text{ m}$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (39)$$

$$A = \pi \cdot 0,85^2 = 2,27 \text{ m}^2$$

Por tanto, sustituyendo:

$$\sigma_{tanque} = \frac{9815 \text{ kg}}{2,27 \text{ m}^2} = 4323,8 \text{ kg/m}^2$$

$$4323,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} \cdot \frac{14,22 \text{ p.s.i}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 6,15 \text{ p.s.i}$$

Vemos se cumple la condición:

$$\sigma_{tanque} = 6,15 \text{ p.s.i} < 17000 \text{ p.s.i}$$

Por lo tanto, los espesores son válidos.

3.4. Cálculo de tuberías

3.4.1. Tubería de remontado

En primer lugar tenemos que determinar el caudal y el tiempo en el que queremos que se lleve a cabo el remontado. Teniendo en cuenta que se llegará a hacer 2 veces al día, debe ser un proceso rápido.

Hemos determinado que el tiempo de remontado de los depósitos sea de una hora, remontado la mitad del depósito, ya que con eso es suficiente para mojar el sombrero. Se realizara con una bomba y tuberías móviles para ahorra en gastos.

$$Q = \frac{V_{vino}}{t_{vaciado}} = \frac{4000 \text{ L}}{1 \text{ h}} = 3000 \frac{\text{L}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (40)$$

A continuación para el cálculo de la sección de tubería requerida para la carga de producto utilizamos la siguiente ecuación:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (41)$$

$$A = \pi r^2 = \frac{Q}{v} \quad (42)$$

Siendo v la velocidad máxima de líquido (diseño). Por lo que para obtener este dato consultamos [13] y utilizamos la siguiente Tabla 3.7:

Tabla 3.7. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías (Fuente: McCabe, 2007)

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Por lo que optaremos por una velocidad de líquido de 1,5 m/s. Así que utilizando (41) y (42) obtenemos el diámetro de la tubería.

$$\frac{Q}{v} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad \longrightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 1,5 \text{ m/s}}} = 0,03 \text{ m}$$

$$D = 0,03 \text{ m}$$

Una vez obtenido el diámetro interno, nos basamos en las normas UNE EN ISO 3994

Expresamos la tubería escogida en la Tabla 3.8:

Tabla 3.8. Tubería fabricada por coextrusión de compuestos vinílicos, según la norma UNE EN ISO 3994, en color cristal violáceo transparente con espiral en color rojo [26]

Ø INT Ø I.D. Ø INT INNEN-Ø mm	ESPEJOR PARED WALL THICKNESS ÉPAISSEUR PAROI WANDSTÄRKE mm	PESO WEIGHT GEWICHT g/m	VACÍO VACUUM VIDE VAKUUM m H ₂ O	PRESIÓN TRABAJO WORK PRESSURE PRESSION DE TRAVAIL BETRIEBDRUCK bar	PRESIÓN ROTURA BURSTING PRESSURE PRESSION ÉCLAT BERSTDRUCK bar	RADIO CURVATURA CURVATURE RADIUS RAYON COURBURE BIEGERADIUS mm
25	3,5	390	8	8	24	125
30	4,0	480	8	8	24	150
32	4,0	500	8	8	24	160
35	4,2	580	8	8	24	175
38	4,2	670	8	8	24	190
40	4,3	685	8	8	24	200
45	4,5	850	8	8	24	225
50	5,0	1020	8	8	24	250
51	5,0	1040	8	8	24	250
55	5,0	1190	8	7	21	275
60	5,2	1260	8	7	21	300
65	5,2	1375	8	7	21	315
70	5,8	1615	8	6	18	350
75	5,8	1700	8	6	18	375
80	6,0	1870	8	5	15	400
90	6,5	2156	8	5	15	450
100	7,0	2680	7	4	12	500
102	7,2	2700	7	4	12	510
110	7,3	3060	7	4	12	550
120	7,4	3320	6	4	12	600
125	7,6	3485	6	4	12	625
152	8,5	5355	6	3	9	760

Tomaremos como diámetro interior normalizado 30 mm.

3.5. Cálculo de la bomba

3.5.1. NPSH disponible

La fórmula para el cálculo será la siguiente:

$$NPSH_{disp} = \pm z_1 + \frac{p_1 - p_v}{\rho \cdot g} - h_f \quad (43)$$

Siendo:

Z_1 = Altura de aspiración (m) = 1 m

P_1 = presión del depósito de aspiración $\left(\frac{N}{m^2}\right) = 1 \text{ atm} = 103323 \left(\frac{N}{m^2}\right)$

P_v = presión de vapor del fluido $\left(\frac{N}{m^2}\right) = 0,0373 \text{ atm} \frac{103323 \left(\frac{N}{m^2}\right)}{1 \text{ atm}} = 3853,9 \frac{N}{m^2}$

Tomamos de referencia la P_v del agua a 28°C ya que las densidades del agua y del vino son muy similares

$$\rho = \text{densidad del fluido} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = \text{fuerza de la gravedad} = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$h_f = \text{perdidas de carga en aspiración (m)}$$

Antes de nada tendremos que calcular las pérdidas de carga en la tubería de aspiración de la bomba (h_f):

- Pérdidas de carga tubería de aspiración:

Para calcular las pérdidas de carga en una conducción se suele utilizar la ecuación de Fanning, que expresada en términos de altura es la siguiente:

$$h_f = \left(f \cdot \frac{L_{\text{tubería}}}{D_i} + \sum L_{\text{accesorios}} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (44)$$

Donde:

f = es un coeficiente de fricción adimensional

L = es la longitud de la tubería, m

D_i = es el diámetro interior de la tubería, m

v = es la velocidad del fluido, m/s

g = es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

$\sum L_{\text{accesorios}}$ = coeficiente de pérdida de carga en accesorio (m)

El coeficiente de fricción " f " es función del tipo de flujo y se calcula del modo siguiente:

- Si el flujo es laminar ($Re \leq 2000$):

$$f = \frac{16}{Re} \quad (45)$$

- Si el flujo es turbulento ($Re \geq 4000$) o pertenece a la llamada zona de transición ($2000 < Re < 4000$) se recurre a diagramas como el de Moody que expresa la relación entre "f", el número de Reynolds (Re) y un parámetro conocido como rugosidad relativa de la conducción, que se representa como ε/d (d sigue siendo el diámetro interno de la conducción) y que se encuentra tabulado para distintos materiales.

Por tanto para calcular las pérdidas de carga se hace necesario caracterizar el tipo de flujo que se da en la conducción, para lo que es preciso conocer el número de Reynolds, el cual se calcula de la expresión siguiente:

$$Re = \frac{D_i \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (46)$$

Siendo:

ρ = densidad del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido = $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ (kg/(m} \cdot \text{s}^2) \cdot \text{s)}$

Por tanto,

$$Re = \frac{0,03 \text{ m} \cdot 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1070 \text{ kg/m}^3}{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 32100$$

Como vemos tenemos un $Re > 4000$ por lo que nuestro flujo será turbulento así que para calcular el coeficiente de fricción tendremos que irnos al diagrama de Moddy. Las dos variables que nos hacen falta para entrar en el diagrama son el Re y el valor de rugosidad absoluta.

$$k = \frac{\varepsilon}{d_i} \quad (47)$$

$$k = \frac{0,02 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 0,00067$$

Una vez que tenemos los dos valores pasamos a la Figura 3.3:

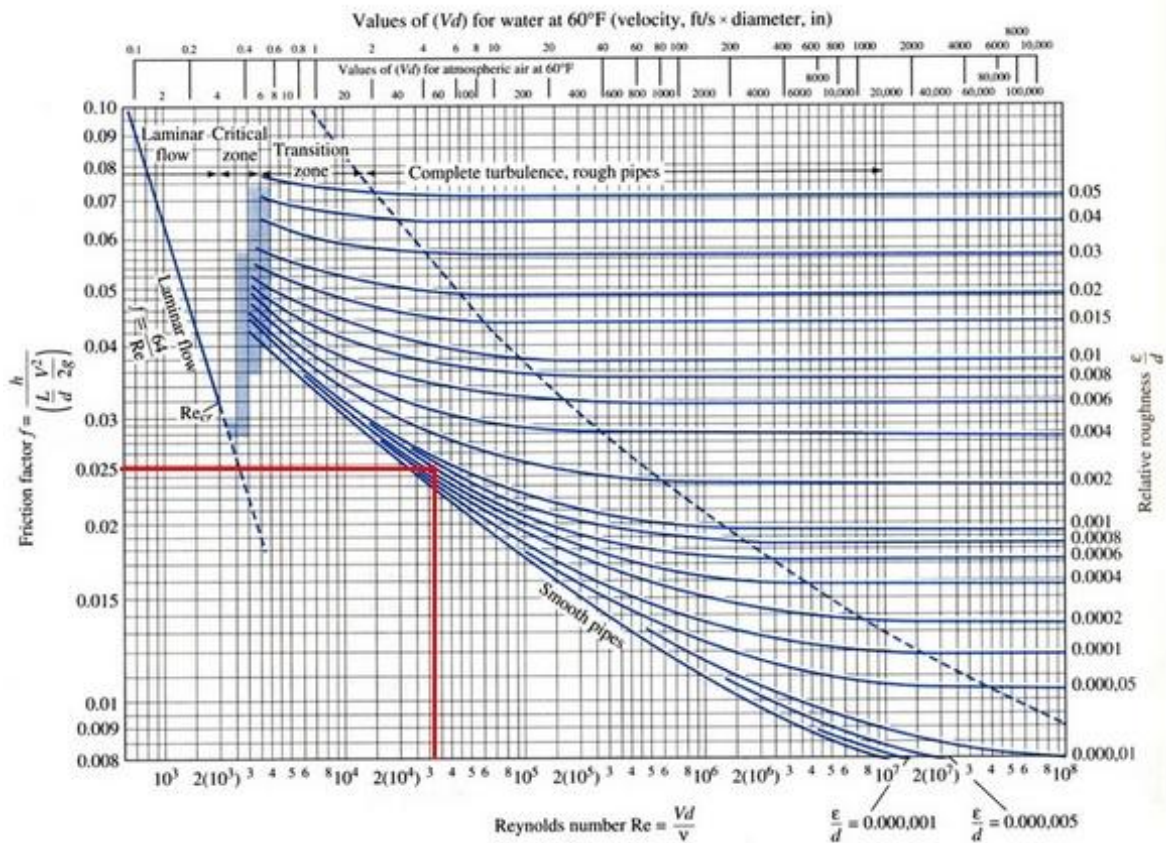


Figura 3.3. Diagrama de Moody

Como vemos el factor de fricción será de $f = 0,025$

Pasamos a continuación al cálculo de L y $\sum L_{\text{accesorios}}$:

Siendo $L_{\text{tubería}} = 2 \text{ m}$

$$\sum L_{\text{accesorios}} = L_{\text{válvulasdecompuesta}} = 0,8$$

$$h_f = \left(0.025 \cdot \frac{2 \text{ m}}{0.03 \text{ m}} + 0,8 \text{ m} \right) \cdot \frac{(1,5 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,28 \text{ m}$$

Teniendo todos los datos, sustituimos en (43):

$$NPSH_{\text{disp}} = 2 \text{ m} + \frac{103323 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 3853,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} - 0,28 \text{ m} = 11,2 \text{ m}$$

3.5.2. Cálculo de la altura de presión

Para este cálculo, utilizaremos la siguiente expresión:

$$H_w = H + (h_f + h_i) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \quad (48)$$

Siendo:

H = altura de impulsión – altura de aspiración = (5,23 m)– (1 m) = 4,23 m

ρ = densidad del fluido = 1070 kg/m³

P_2 = presión donde va el fluido = 103323 N/m²

P_1 =presión de donde viene el fluido = 103323 N/m²

h_f = pérdida de carga en la tubería de aspiración

h_i = pérdida de carga en la tubería de impulsión

- Pérdidas de carga tubería de impulsión:

Para calcular las pérdidas de carga utilizamos de nuevo la ecuación (44), donde nos hacen falta los siguientes datos:

f = es un coeficiente de fricción adimensional de impulsión. En éste caso es igual a la calculada anteriormente ya que se trata de la misma tubería.

L = es la longitud de la tubería, 6 m

Di = es el diámetro interior de la tubería, 0,03 m

v =es la velocidad del fluido, 1,5 m/s

g = es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

$\sum L_{accesorios}$ = coeficiente de pérdida de carga en accesorio (m)

Re tiene el mismo valor que en el cálculo anterior ya que son tuberías idénticas.

Pasamos ahora al cálculo de L y $\sum L_{\text{accesorios}}$:

Siendo

$$L_{\text{tubería}} = 6 \text{ m}$$

$$\sum L_{\text{accesorios}} = L_{\text{válvulasdecompuesta}} = 0,8 \text{ m}$$

Despejando en (44):

$$h_i = \left(0,025 \cdot \frac{6 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} + 0,8 \text{ m} \right) \cdot \frac{(1,5 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,66 \text{ m}$$

Sustituimos por tanto en (48):

$$H_w = 4,23 \text{ m} + (0,28 \text{ m} + 0,66 \text{ m}) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} = 5,2 \text{ m}$$

0; ya que se trata del mismo depósito

3.5.3. Cálculo de la potencia teórica

$$P = Q \cdot H_w \cdot \rho \cdot g \quad (49)$$

$$Q = \text{Caudal volumétrico} = 1,11 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

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

$$\rho = 1070 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Por lo que sustituyendo en (49):

$$P = 60,24 \text{ W}$$

3.5.4. Cálculo de la potencia real

$$P_{real} = P_{teorica} / \eta$$

Suponiendo un rendimiento de bombeo del 65%:

$$P_{real} = 60,24 \text{ W} / 0,65 = 92,7 \text{ W} \approx 0,093 \text{ kW}$$

3.5.5. Cálculo de la potencia a instalar

Teniendo en cuenta la reserva para posibles sobrecargas, el motor para la bomba debe instalarse con una potencia algo mayor que la consumida.

El coeficiente de reserva β se toma dependiendo de la magnitud de W (ver Tabla 3.9):

Tabla 3.9. Coeficiente β en relación con la potencia real de la bomba

Pot. (kW)	< 1	1-5	5-50	>50
β	2-1,5	1,5-1,2	1,2-1,15	1,1

Mirando la Tabla 3.9 para Pot. < 1 kW podemos elegir entre 2 y 1,5. Se elige 2 por ser la situación más desfavorable:

$$P_{ins} = \beta \cdot P_{real} = 2 \cdot 0,093 \text{ kW} = 0,18 \text{ kW}$$

3.5.6. Potencia final de motor normalizado

Debemos mirar cual es la potencia normalizada más próxima para esta potencia obtenida. Para ello consultamos la siguiente Tabla:

Tabla 3.10. Potencias de bombas normalizadas

(Fuente: D.J. García, L. J. Lozano, J.J. Aguera, 2005)

Potencias normalizadas		Corriente trifásica			Corriente bifásica	Corriente monofásica	Corriente continua
Kw	C.V	220 v	380 v		220 v	220 v	220 v
0.37	0.5	1.8	1.03	0.8	1.56	3.12	2.26
0.55	0.75	2.75	1.54	1.21	2.38	4.76	3.3
0.75	1	3.5	2	1.5	3	6.01	4.29
1.1	1.5	4.4	2.6	2	3.8	7.6	6.35
1.5	2	6	3.5	2.6	5.2	10.4	8.25
2.2	3	8.7	5	3.8	7.5	15.1	12.3
3	4	11.5	6.6	5	10	20	16.2
4	5.5	14.5	8.5	6.5	12.5	25.1	21.6
5.5	7.5	20	11.5	9	17.5	34.6	29.2
7.5	10	27	15.5	12	23.5	46.8	38.4
10	13.5	35	20	15	30	60	52
11	15	39	22	17	34	68	57
15	20	52	30	23	45	90	76
18.5	25	64	37	25.5	55	111	94
22	30	75	44	33	65	130	113
30	40	103	60	45	89	178	150
37	50	126	72.5	55	109	218	186
45	60	147	85	65	127	254	221
55	75	182	105	80	157	315	276
75	100	289	138	105	206	414	364
90	125	295	170	129	255	511	450
110	150	356	205	156	309	617	540
132	175	415	236	179	354	710	630
160	220	520	300	228	450	900	791
200	270	640	370	281	550	1108	971
220	300	710	406	310	612	1230	1079
250	350	826	475	360	710	1426	1239
315	430	1000	584	442	864	1728	1547

Es la mínima para motores según la norma por lo que con un motor de baja potencia (0,37 kW) nos será suficiente.

$$P_{normalizada} = 0,37 \text{ kW}$$