

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

"Evaluación y diseño de instalación de percolador de café para
preparación del extracto de café"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Mauricio José Rojas Bravo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por haberme dado salud y sabiduría para culminar con éxito este arduo camino, y segundo a mi madre por haber sido mi guía y apoyo incondicional en todo momento.

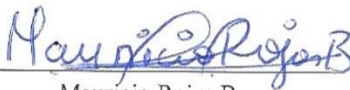
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Mauricio Rojas Bravo

Ing. Ernesto Martinez

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Mauricio Rojas B



Ing. Ernesto Martinez

RESUMEN

Una de las empresas productoras de café soluble con más de 50 años en el mercado, vio la necesidad de reestructurar su planta de extracción debido a que ya no trabaja en óptimas condiciones. Además de que la demanda de café se ha incrementado en los últimos años, por lo que esta organización se propuso realizar una evaluación de los procesos que se dan en esta planta, así como los cálculos para el dimensionamiento de tuberías y selección de equipos. Finalmente se realizó el diseño de un percolador de café adicional, para incrementar la producción. Se analizó el sistema de bombeo conociendo el caudal requerido y la velocidad recomendada del extracto de café en tuberías. Se calculó el diámetro ideal del manifold así como la caída de presión que se da en la línea y con esto se seleccionó la bomba adecuada para el proceso. Se seleccionó las válvulas según el requerimiento que se tenga del fluido. El diseño del percolador de café fue realizado siguiendo la norma ASME Sección VIII Div 1 para el diseño y construcción de recipientes a presión la cual establecía los parámetros de cálculos de presiones, espesor de paredes, tipos de soldaduras a utilizar y conexiones. Al final se obtuvo que el material a utilizar para el proceso debería ser acero inoxidable AISI 304 ya que es una industria alimenticia, donde el diámetro de la tubería óptimo fue 1 1/4", la caída de presión en todo el proceso fue 253,3 psi y se seleccionó una bomba centrífuga marca Grundfos modelo CRN-532. El espesor de pared para el percolador fue 8,97mm. La simulación realizada en Solidworks determinó que el aislamiento era de 100mm de espesor. Debido a que se incrementó el diámetro de la tubería las caídas de presión se redujeron. La fabricación del extractor puede ser realizada sin ningún problema en nuestro país ya que se puede encontrar todos los materiales necesarios para su construcción. Los costos totales por todo el proyecto fueron de \$37107,45.

Palabras clave: manifold, extractor, sólidos solubles, batch.

ABSTRACT

One of the companies producing soluble coffee with more than 50 years in the market, saw the need to restructure its extraction plant because it no longer works under optimal conditions. Besides the demand for coffee it has increased in recent years, so this organization proposed an evaluation of the processes that occur in this plant, and calculations for sizing of pipes and equipment selection. Finely designing a coffee percolator additional was performed to increase production. The pumping system required flow and knowing the recommended speed in pipes coffee extract was analyzed. The ideal diameter of the manifold and the pressure drop that occurs in the line and with it the right pump was selected for the process was calculated. The valves are selected according to the requirement that has the fluid. Design coffee percolator was enhanced following the ASME Section VIII Div standard 1 for the design and construction of pressure vessels which established the parameters of calculations of pressure, wall thickness, types of welds and connections to use. In the end it was found that the material used for the process should be AISI 304 stainless steel as it is a food industry, where the optimal pipe diameter was 1 1/4 "pressure drop in the entire process was 253.3 psi and a centrifugal pump brand Grundfos CRN-532 model was selected. The wall thickness for the percolator was 8,97mm. The simulation conducted in Solidworks determined that isolation was 100mm thick. Because the diameter of the pipe pressure drop decreased increased. Making extractor can be performed without any problems in our country and you can find all the materials needed for its construction. Total costs for the entire project was \$ 37107,45.

Keywords: manifold, extractor, soluble solids, batch

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS	VIII

Contenido

CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivos generales.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Marco teórico.....	2
1.3.1. El café.....	2
1.3.2. Producción de café en el Ecuador	3
1.3.3. Proceso para obtención del café soluble	3
1.3.4. Lixiviación	8
1.3.5. Tipos de recipientes a presión.....	9
1.3.5.1. Por su uso	9
1.3.5.1. Por su forma	9
CAPÍTULO 2	11
2. METODOLOGIA DE DISEÑO.....	11
2.1. Análisis del sistema de extracción de café actual para la obtención del extracto de café	11
2.2. Descripción del proceso de extracción de la empresa solubles instantáneos	11
2.2.1. Calentamiento del agua	12
2.2.2. Recirculación del extracto por los extractores.....	12
2.2.3. Enfriamiento del extracto de café para almacenamiento.....	13
2.3. Evaluación del sistema de extracción actual.....	13
2.3.1. Estudio de temperaturas y presiones a lo largo del proceso	13
2.3.2. Estudio de las caídas de presión que se dan en todo el proceso	16
2.3.3. Evaluación del estado actual de los equipos.....	16
2.3.4. Válvulas utilizadas en el proceso actual.....	17
2.4. Selección y evaluación de alternativas para el nuevo sistema de extracción	19
2.4.1. Selección de material para tuberías y válvulas	19
2.4.2. Cálculo del diámetro de la nueva tubería y válvulas.....	21
2.4.3. Selección de válvulas para nuevo manifold	23
2.4.4. Cálculo de la caída de presión en el nuevo sistema de extracción	24
2.5. Datos e información técnica disponible acerca del diseño del percolador.....	30
2.5.1. Condiciones de trabajo utilizadas	30
2.5.2. Formas de modelar el extractor.....	31
2.5.3. Planilla de datos básicos de diseño	32
2.6. Dimensiones y forma del recipiente	32

2.7.	Cálculos y consideraciones para el diseño del extractor	32
2.7.1.	Cálculo de la presión interna y de diseño	33
2.7.2.	Cálculo de espesor en cada una de las secciones	34
2.7.3.	Cálculo por presión externa	35
2.7.4.	Cálculo de la tapa superior	37
2.7.5.	Cálculo de presión por peso propio	38
2.7.6.	Cálculo por presión del viento	40
2.7.7.	Cálculo por sismo	40
2.7.8.	Cálculo por vibraciones	40
2.8.	Cálculo de esfuerzos combinados	41
2.9.	Tipos de uniones en el extractor	41
2.9.1.	Uniones soldadas	41
2.9.2.	Uniones bridadas.....	43
2.9.3.	Diseño de pernos para unión bridada del cono inferior	46
2.10.	Selección del material aislante.....	50
2.10.1.	Lana de vidrio o Lana de roca.....	50
2.11.	Recubrimiento exterior del recipiente	53
CAPÍTULO 3		54
3.	RESULTADOS	54
3.1.	Resumen de parámetros seleccionados para el sistema de extracción.....	54
3.2.	Resumen de cálculos obtenidos para el diseño del percolador.....	54
3.2.1.	Presiones a considerar para el diseño.....	55
3.2.2.	Espesores calculados para el recipiente.....	55
3.2.3.	Soldaduras a utilizar	55
3.2.4.	Tubos para cuellos de bridas.....	56
3.2.5.	Aislamiento	56
3.3.	Análisis de costos	57
CAPÍTULO 4		61
4.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	61
4.1.	Conclusiones	61
4.2.	Recomendaciones	63

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
SICA	Solubles instantáneos Compañía Anónima.
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CSE	Eléctrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
MPY	Milésimas de pulgadas por año
AISI	American Iron and Steel Institute

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama para la obtención de café soluble	4
Figura 2. Tipos de recipientes a presión, Fuente (León, 2001)	9
Figura 3. Perfil de temperaturas a la salida de los extractores	14
Figura 4. Perfil de presiones a la salida de los extractores.....	16
Figura 5. Bomba centrífuga marca Grundfos.....	29
Figura 6. Curva de operación de la bomba.....	29
Figura 7. Forma exterior del recipiente	51
Figura 8. Forro aislante del recipiente	51
Figura 9. Temperaturas en el recipiente obtenidas de la simulación	52
Figura 10. Distribución de temperaturas en el recipiente	52
Figura 11. Tipos de soldadura a utilizar en el recipiente	56
Figura 12. Metodología de diseño a seguir	65
Figura 13. Dimensiones estándares para tuberías	81
Figura 14. Relación longitud-diámetro-espesor para recipiente cilíndricos sujetos a cargas externas (ASME, 2010).....	82
Figura 15. Curva Sf-N, ciclos de falla vs esfuerzo a la fluencia. (Norton, 2014)	83
Figura 16. Esfuerzo de fluencia de diferentes materiales en función de la temperatura de diseño. (ASME, 2010)	83
Figura 17. Valores de factor B en función del factor A, previamente obtenido en función del esfuerzo de fluencia del material (ASME, 2010).....	84
Figura 18. Cuellos para boquillas recomendados por la norma ASME (ASME, 2010) ..	85
Figura 19. Longitudes recomendadas para cuellos de bridas en recipientes a presión (ASME, 2010)	86
Figura 20. Composición de electrodo según la combinación del material base (Inoxidable, 2014).....	86
Figura 21. Tipos de alambre para soldadura TIC (Inoxidable, 2014).....	87
Figura 22. Tipos uniones soldadas para recipientes a presión (ASME, 2010)	88
Figura 23. Propiedades de materiales aislantes (Ludwig, 1965)	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones y tipos de válvulas utilizadas	18
Tabla 2. Propiedades generales de los aceros inoxidables	20
Tabla 3. Matriz de decisión para selección de tipo de acero inoxidable	20
Tabla 4. Velocidades recomendadas en tuberías de proceso.	22
Tabla 5. Matriz de decisión para selección de válvulas reguladoras	24
Tabla 6. Datos para cálculo de cabezal de la bom (Vemacero)ba requerida para el proceso.....	27
Tabla 7. Accesorios menores a considerar para el cálculo	27
Tabla 8. Especificaciones de la bomba seleccionada	28
Tabla 9. Medidas para el diseño del recipiente	32
Tabla 10. Propiedades de electrodo para soldadura 304-304.....	43
Tabla 11. Propiedades de electrodo para soldaduras 304- acero al carbono.....	43
Tabla 12. Propiedades de aislantes térmicos	51
Tabla 13. Propiedades consideradas para la simulación	52
Tabla 14. Resultados obtenidos para el manifold.....	54
Tabla 15. Presiones calculadas para el diseño del recipiente	55
Tabla 16. Espesores del recipiente calculados para cada sección.....	55
Tabla 17. Dimensiones para tuberías para cuellos de bridas	56
Tabla 18. Costos de nuevo manifold	57
Tabla 19. Costos de materiales para construcción de extractor	58
Tabla 20. Costo por mano de obra para fabricación de extractor	59
Tabla 21. Costo total por proyecto.....	60
Tabla 22. Elementos en un extractor de café	66
Tabla 23. Datos para el balance de masa	66
Tabla 24. Propiedades del acero AISI 304 según la norma ASTM.....	68
Tabla 25. Resultados del ensayo de tracción	68

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Planchas para sección cilíndrica.....	70
Plano 2. Desarrollo para cono superior.....	71
Plano 3. Desarrollo para cono inferior	72
Plano 4. Unión de brida y perno	73
Plano 5. Conjunto extractor y soldaduras	74
Plano 6. Conexiones y vistas del extractor.....	75
Plano 7. Balance de masa en extractor de café.....	76
Plano 8. Planta de extracción actual.....	77
Plano 9. Manifold de la planta de extracción.....	78
Plano 10. Sistema de bombeo para la planta de extracción.....	79
Plano 11. Presiones y temperaturas en el proceso de extracción.....	80

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

Actualmente una de las empresas dedicadas a la producción de café soluble tanto para el mercado local como internacional (Perú, China y Japón), se ve en la necesidad de incrementar la producción de café de 8 a 10 ton/día de sólidos soluble. Y a su vez mejorar el rendimiento de la producción actual, es decir que con la misma cantidad de materia prima producir mayor cantidad de sólidos solubles, el sistema de extracción está compuesto de 6 extractores, en donde debido a la baja producción y daño frecuente de los mismos se desea implementar un séptimo extractor. Este sistema está compuesto por todo el sistema de válvulas conocido como Manifold, 2 intercambiadores de calor y la bomba que suministra el caudal y la presión para el proceso. El tiempo de uso es aproximadamente 40 años desde que se lo adquirió por lo que muchas veces el Manifold ya no funciona en óptimas condiciones donde existe recirculación de agua en la alimentación lo que produce una pérdida de energía elevada y un gasto innecesario de dinero. Existen varios procesos involucrados en la producción de café soluble siendo los más importantes: la planta de spray o secado en caliente, planta de liofilización o secado en frío y la encargada de la extracción de los sólidos solubles del café llamada extracción, esta última es la más importante ya que aquí es donde se determina la producción total de la fábrica y si este proceso mejora los otros dos procesos también lo harán.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

- Diseño de extractor de café para ser instalado en la actual línea de producción

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar el nuevo extractor que cumpla con los requerimientos de presión y temperatura,
- selección de válvulas y tuberías, material, diámetro que cumpla con las condiciones del proceso.
- Determinar la caída de presión y el caudal requerido para seleccionar la bomba adecuada para el correcto funcionamiento de los 7 extractores.

1.3. Marco teórico

1.3.1. El café

Pertenece a la familia Rubiácea del género *coffea*. Se desarrolla entre los 400 y 2000 metros de altitud, a una temperatura entre 20°C y 25°C. Existen dos especies de gran importancia comercial, *coffea arábica* y *coffea canephora* los cuales son conocidos como arábica y robusta respectivamente. El primero se cultiva desde más antiguamente, y representa el 75% de la población mundial de café. Produce un café fino y aromático y necesita un clima más fresco el café robusta ofrece una bebida rica en cafeína fuerte y más acida usualmente utilizado para la fabricación de café soluble.

1.3.2. Producción de café en el Ecuador

Ecuador posee una gran capacidad como productor de café, y es uno de los pocos países en el mundo que exporta todas las variedades de café: arábigo lavado, arábigo natural y robusta.

Debido a su ubicación geográfica, Ecuador produce uno de los mejores cafés de América del Sur y con buena demanda en Europa. Los diferentes ecosistemas que posee el Ecuador permiten que los cultivos de café se den a lo largo y ancho del país llegando a cultivarse inclusive en las Islas Galápagos. Las épocas de cosecha se dan desde marzo hasta octubre, mientras la de robusta se da desde febrero hasta noviembre. (Proecuador, 2014)

Entre las principales variedades producidas en Ecuador están:

- Arábigo Lavado
- Arábigo Natural
- Robusta
- Industrializado (Soluble)

1.3.3. Proceso para obtención del café soluble

En la figura 1 se muestra un diagrama en donde se resume el proceso para la obtención de café soluble.



SOLUBLES INSTANTANEOS C.A.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CAFÉ SOLUBLE

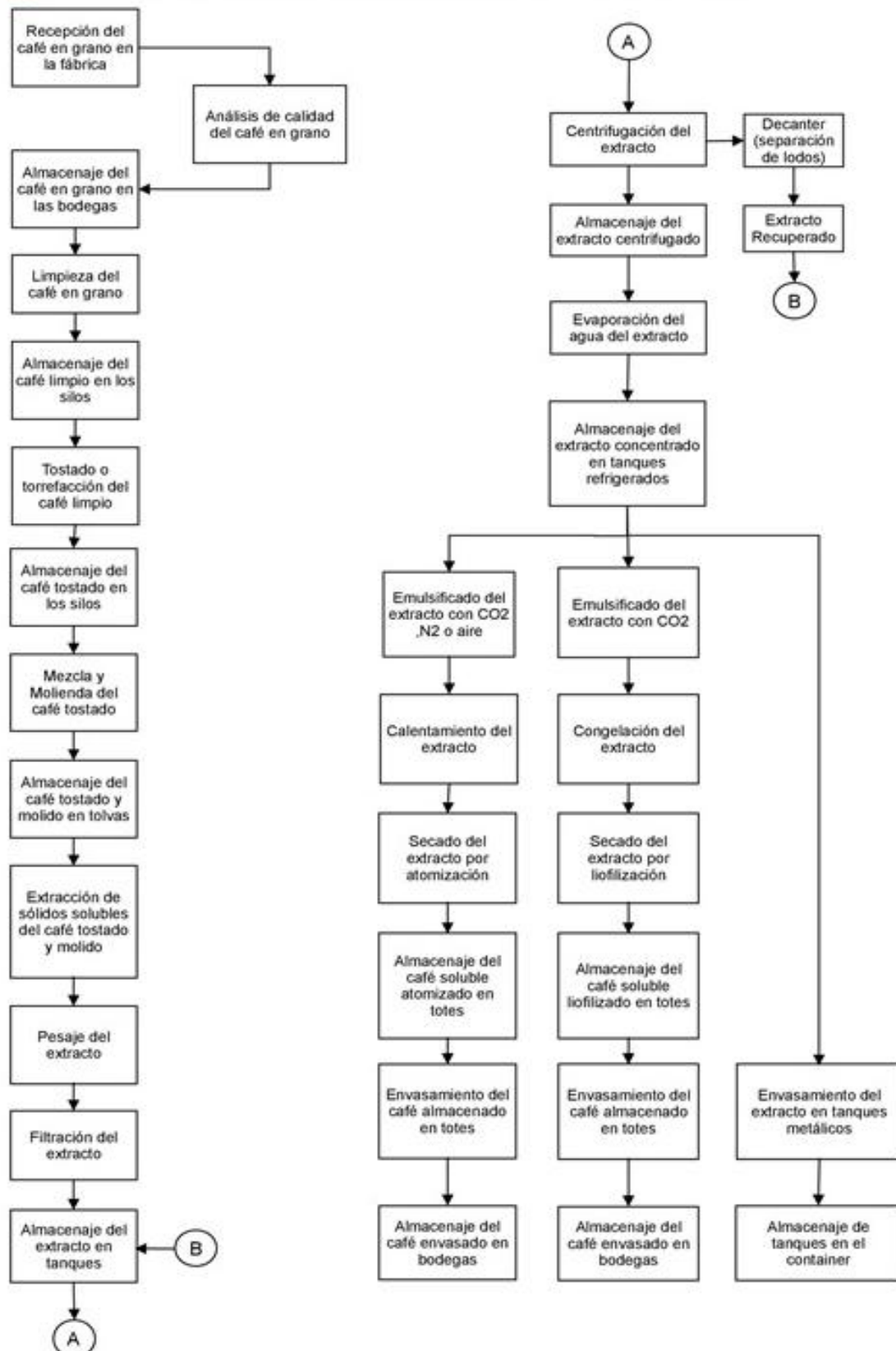


Figura 1. Diagrama para la obtención de café soluble (Solubles Instantáneos, 2015)

1.- Recepción y Almacenamiento del café en grano

En esta primera fase del proceso, el café en grano que cumple las especificaciones de la empresa, es aceptado y se lo coloca en sacos y es almacenado en pallets en la Bodega asignada.

2.- Beneficio (Limpieza del grano de Café)

Después el Café en grano sale de la bodega, antes de su procesamiento se lo somete al maquinado (proceso de limpieza) donde por medio de una catadora, una zaranda y una despedradora, hace la separación de polvo, clavos, piedras y cualquier otro material extraño. Una vez limpio el grano, se lo envía por transportadores neumáticos a los Silos de almacenamiento.

3.-Torrefacción (Tostado)

El café en grano es transportado desde los silos hasta un equipo Tostador que trabaja en forma continuo a temperaturas entre 220° y 240 °C durante un tiempo de 7 a 12 minutos; luego de lo cual el café tostado se almacena en Tolvas.

4.-Molienda

Previo al proceso de extracción de los sólidos solubles, el café tostado es triturado con una granulometría adecuada en molinos de rodillos.

5.- Extracción

La Extracción propiamente dicha, es la obtención a partir del café tostado y molido de los sólidos solubles presentes en los grano de café.

El café tostado y molido es introducido en los extractores por medio de una tolva de alimentación móvil (línea de 6 extractores), luego de que el extractor ha sido cargado, se procede a la extracción de los sólidos solubles, poniendo en contacto el café tostado y molido con agua caliente.

Los residuos generados del proceso de extracción, denominado bagazo, son descargados a través de una tubería a un ciclón, el cual separa el vapor de agua que sale a la atmósfera y el bagazo es

depositado en una tolva para luego ser recolectado por la compañía recolectora de basura municipal.

6.-Almacenamiento del extracto bruto

El extracto de café que sale del proceso de extracción con una concentración de 18° a 20°Brix, es enfriado de 100 °C a 50 °C; luego es pesado, filtrado enfriado y almacenado en tanques de acero inoxidable a una temperatura entre 18 y 20 °C.

7.-Centrifugación del extracto

La fase de centrifugado sirve para separar los sólidos no solubles presentes en el extracto de café. Los residuos sólidos son descargados a un tanque de separación sólido / líquido.

El extracto centrifugado es almacenado en otro tanque acero inoxidable y los residuos sólidos (lodos) del tanque de separación sólido / líquido son recogidos por limpieza y enviados al sistema de recolección de basura municipal.

8.-Concentración por evaporación del extracto

En esta fase del proceso se incrementa o enriquece la concentración de sólidos solubles provenientes en la etapa de extracción. Para esto, se utiliza en un evaporador centrífugo al vacío, que permite evaporar el agua presente en el extracto de café a baja temperatura (60° 70°C).

La concentración de sólidos en el extracto del café se incrementa de 18° a 20 °Brix a 41° a 43°brix para la línea de secado por liofilización y 50° a 52°Brix para el secado por atomización.

El agua evaporada es condensada y eliminada como una descarga líquida al sistema de tratamiento de aguas residuales

Enfriamiento del extracto concentrado

El extracto concentrado final es enfriado a una temperatura entre 16° a 18 °C, por medio de un intercambiador de placas.

9.-Almacenamiento del extracto

Luego del enfriamiento del extracto concentrado se procede al almacenamiento en tanques de acero inoxidable manteniéndolos a temperatura de 18°C para posteriormente alimentar a los procesos de secado.

10.-Secado por atomización (spray dried)

El extracto concentrado es emulsificado con gas CO₂ y luego es atomizado en partículas muy pequeñas, que al ponerse al contacto con una corriente de aire caliente, se produce la evaporación del agua del extracto, quedando sólidos solubles en forma de polvo.

11.-Secado por liofilización (freeze dried)

La liofilización es un proceso de secado, donde el extracto de café, es emulsificado con CO₂ luego congelado a -40 °C, es granulado, dosificado en bandejas y enviado a un túnel de secado con alto vacío. Dentro del túnel, el agua congelada que se encuentra en estado sólido en el extracto del café es removida como vapor de agua (sublimación).

12.-Empaque del café soluble

El café secado por atomización y liofilización es finalmente envasado tanto para el consumo local como para la exportación. Las presentaciones del producto son:

- Café liofilizado y atomizado en fundas de Polietileno de 25 kilos (exportación)
- Café liofilizado en sobres de folio-aluminio de 25 gramos
- Café liofilizado en frascos de 85 gramos
- Café atomizado en sobres de folio-aluminio de 10 gramos y 50 gramos
- Café concentrado líquido en tambores metálicos de 200 kilos

El producto terminado y empacado es finalmente almacenado en bodegas hasta su despacho para los diferentes mercados.

13.-Control de Calidad

Durante todo el proceso el Departamento de Control de Calidad efectúa análisis físico-químicos, sensoriales y bacteriológicos tanto de la materia prima, producto semi-elaborado, producto terminado, agua de proceso, etc; y monitorea estrictamente todas las especificaciones requeridas por nuestros clientes.

14.-Sistema de Seguridad Alimentaria

La empresa tiene implementado un Sistema de Seguridad Alimentaria basada en Buenas Prácticas de Manufactura y HACCP, para garantizar la inocuidad de nuestros productos.

(Solubles Instantáneos, 2015)

1.3.4. Lixiviación

Es la disolución de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido, ambas fases entran en contacto íntimo y los solutos se difuminan desde el sólido a la fase líquida lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

En la industria alimenticia se puede usar la lixiviación para obtener azúcar de la remolacha usando agua caliente, aceites vegetales a partir de semillas con disolventes orgánicos, colorantes con alcohol, y en infinidad de procesos químicos dentro de la industria farmacéutica para preparar pociones, metalúrgica y agroindustrial.

Las industrias metalúrgicas son las que más utilizan las operaciones de lixiviación, debido a que la mayoría de los minerales útiles se encuentran en forma de mezclas, con grandes proporciones de componentes indeseables por dicha razón la lixiviación del material valioso es un método de separación aplicado con frecuencia, en el caso del café las condiciones necesarias para que ocurra este fenómeno son presión de 200 psi y una temperatura de 180 °C.

1.3.5. Tipos de recipientes a presión

Los recipientes a presión que existen se clasifican de la siguiente manera:

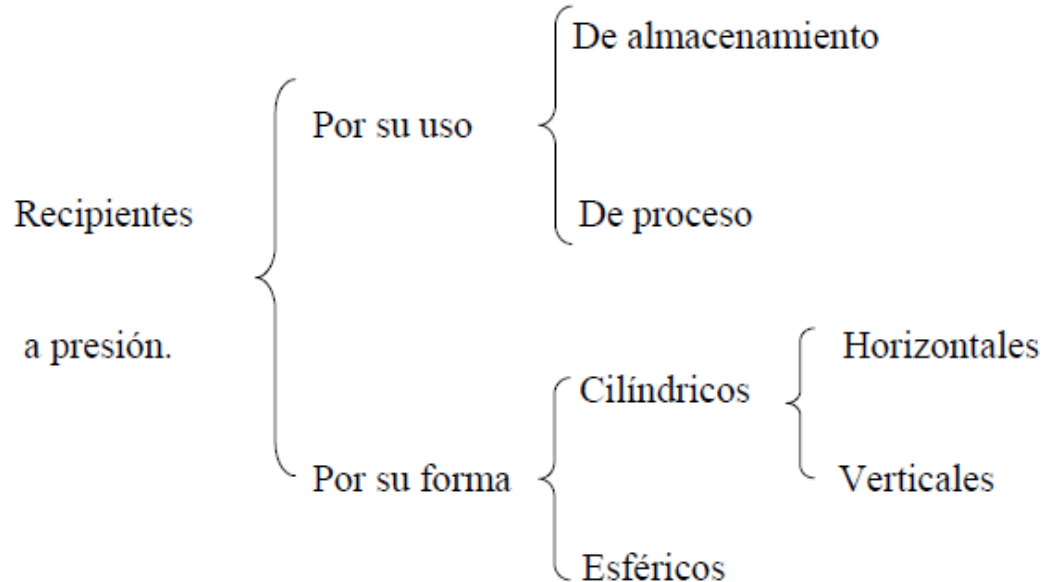


Figura 2. Tipos de recipientes a presión, Fuente (León, 2001)

1.3.5.1. Por su uso

Por su uso se pueden dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de proceso. Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc. Los recipientes a presión de proceso tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, etc.

1.3.5.1. Por su forma

Por su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos.

Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso.

Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones.

Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DE DISEÑO

2.1. Análisis del sistema de extracción de café actual para la obtención del extracto de café

En esta sección se procede a explicar los pasos a seguir para la realización del proyecto, que como ya se describió en el marco teórico consistió en la evaluación del proceso de extracción de café de la empresa solubles instantáneos. Para posteriormente realizar una evaluación de los parámetros que afectan este proceso, se muestra primero el proceso de extracción de café con el que cuenta la empresa actualmente con 6 e percoladores, también se realiza un estudio de los perfiles de temperatura del proceso y evaluar los tiempos de operación del proceso ya que de esto depende de la producción y rendimiento del proceso.

Primero se inició con el conocimiento del proceso de extracción de café realizado en la planta, se realiza un levantamiento detallado del proceso, evaluando cada uno de los equipos y pasos que se deben realizar. Con esto se elabora un diagrama de flujo y los respectivos planos, lo cual sirve de ayuda para cuando se tenga que evaluar el proyecto a realizar.

La metodología de diseño a seguir se encuentra en el apéndice A.

2.2. Descripción del proceso de extracción de la empresa solubles instantáneos

Actualmente el proceso de extracción que la empresa posee está formado por 6 extractores conectados en serie de $2m^3$ cada uno con una capacidad de carga de 500 kg de café tostado y molido obteniéndose 1400 lt de extracto de café con una concentración de sólidos solubles de 17 %, luego de que se obtiene el primer batch o extracción se le baja la temperatura en un tanque enchaquetado con agua helada para mantenerlo a $15^{\circ}C$ y de esta manera no se dañe, y finalmente su respectivo almacenamiento.

Se puede evaluar el proceso en tres etapas que son:

- Calentamiento del agua
- Recirculación del extracto por los percoladores

- Enfriamiento del extracto de café para su almacenamiento.

Los equipos utilizados en la producción del extracto de café son los siguientes:

- Intercambiador de calor de placas
- Bomba centrífuga
- Manifold de válvulas
- Percoladores o extractores de café
- Tanques de pesaje y almacenamiento

2.2.1. Calentamiento del agua

El agua que previamente ha sido ablandada entra a un tanque el cual alimenta a un distribuidor que tiene una conexión a una bomba centrífuga que es la encargada de bombear el agua hacia la planta de extracción (ver plano 8, anexos) a un caudal de 5000 lt/hr, pero primero se la debe hacer pasar por un intercambiador de calor el cual es el encargado de calentar el agua de una temperatura de 25°C a 190°C a una presión de 300 psi donde esta circula por los tubos y el vapor proveniente de la caldera pasa por la coraza.

2.2.2. Recirculación del extracto por los extractores

El agua que ha sido calentada hasta 190 C entra por la parte inferior del extractor y sale por la parte superior absorbiendo los sólidos solubles del café, y luego este mismo extracto entra al siguiente extractor por la parte inferior y vuelve a salir por la parte superior, donde también absorbe sólidos solubles, este proceso se repite hasta que llega al quinto extractor que es cuando ya el agua a arrastrado la mayor cantidad de sólidos es decir la mayor concentración posible de café en el agua, una vez que el quinto extractor ha sido completamente llenado de extracto se abre la válvula y el contenido es depositado en tanques de almacenamiento.

2.2.3. Enfriamiento del extracto de café para almacenamiento.

Una vez que se abrió la válvula para dar salida al extracto de los percoladores, este sale a alta temperatura (110°C), y para evitar la evaporación del mismo antes de ser almacenado y pesado se lo pasa por un enfriador de placas donde circula agua de torre para bajarle la temperatura hasta 80°C . Luego de pesado el extracto se lo almacena en un tanque de 12 m³ enchaquetado con agua helada donde se le baja la temperatura hasta 10°C.

2.3. Evaluación del sistema de extracción actual

Para evaluar el desempeño actual del proceso se seleccionó una serie de parámetros y equipos utilizados en dicha planta como son:

- Estudio de las temperaturas a lo largo de todo el proceso
- Estudio de las caídas de presión que se dan en todo el proceso
- Evaluación del estado actual de los equipos

2.3.1. Estudio de temperaturas y presiones a lo largo del proceso

Se realizó un estudio de las variaciones de las temperaturas y presiones lo largo de todo el proceso. La temperatura es un factor importante en la extracción de los sólidos solubles del café tostado y molido ya que si la temperatura es muy baja no se producirá la hidrólisis, y por el contrario si la temperatura es muy elevada se puede dar una sobre extracción que es donde se obtienen componentes indeseables del café que podrían afectar su sabor. La presión es otro punto muy importante a considerar puesto que si esta decae cuando se encuentre a una temperatura muy alta podría darse una evaporación del extracto de café lo que produciría un incremento de presión en los extractores y una contrapresión a la bomba lo cual podría hacer que esta se apague debido a la seguridad que esta posee.

2.3.1.1. Pruebas para la elaboración del perfil de temperaturas en los percoladores

Con la ayuda de los manómetros y termocuplas que se encuentran en el manifold de cada extractor se tomó varios valores de presión y temperatura en condiciones normales de operación, a diferentes instantes con los cuales se tomó sus valores promedio y con estos datos generar el perfil característico que se da en todo el proceso. En el siguiente grafico se muestran el perfil de temperaturas obtenido en todo el proceso de extracción de los sólidos solubles del café:

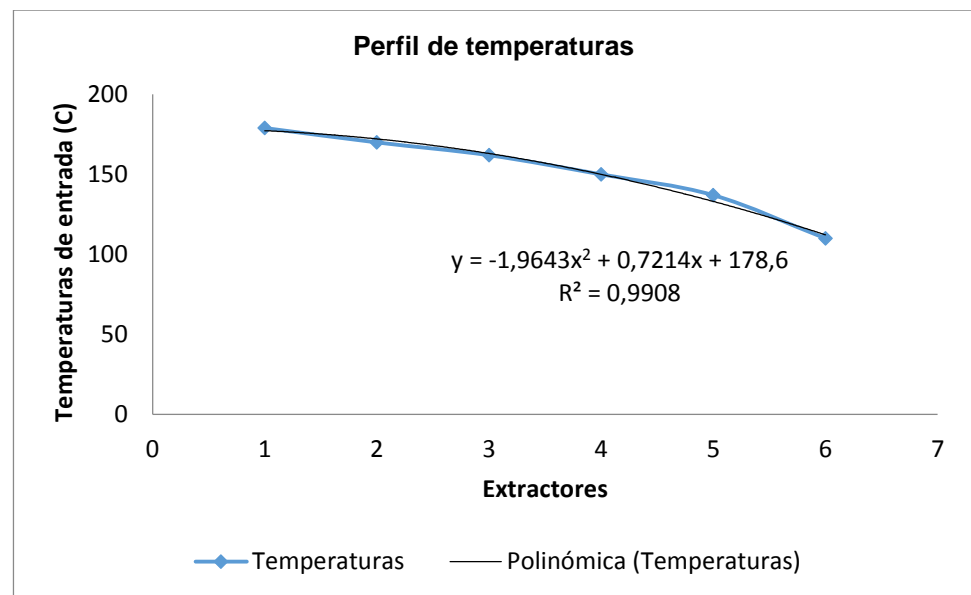


Figura 3. Perfil de temperaturas a la salida de los extractores

En este grafico puede observar como decae la presión a medida que paso por cada uno de los extractores, puesto que la temperatura de salida de uno será la temperatura de entrada del siguiente.

También se puede observar la ecuación de la recta de dicha curva en donde se encontró que un polinomio de grado dos fue una muy buena aproximación para su comportamiento puesto que el valor de R es aproximadamente 1.

Dicha ecuación será utilizada para aproximar la temperatura que tendrá el séptimo extractor una vez sea instalado, evaluamos y nos queda:

$$y = -1,9643x^2 + 0,7214x + 178,6$$
$$y = -1,9643(7)^2 + 0,7214(7) + 178,6$$
$$y = 87,40 \text{ C}$$

2.3.1.2. Pruebas para la elaboración del perfil de presiones en los percoladores

Las presiones al igual que las temperaturas son un factor importante en el proceso puesto que si las presiones son muy bajas no se produce la hidrólisis y podría darse el caso de una evaporación brusca del extracto ya que se manejan temperaturas elevadas en el mismo y las tablas de vapor nos dicen que debemos mantener la presión por encima de la saturación, otro inconveniente es que los tiempos de operación disminuirían lo que causaría una menor producción.

En el caso de que la presión sea más elevadas el problema es que al pasar rápido por cada uno de los extractores no da tiempo para extraer los sólidos solubles del café. Debido a esto debe existir un equilibrio donde las presiones no sean tan altas ni tan bajas. La experiencia dice que en cada uno de los extractores las presiones se deberían mantener como en la gráfica, ya que bajo estas condiciones se ha trabajado por mucho tiempo obteniéndose resultados de producción y rendimiento bastante aceptables.

(Fuente: Solubles instantáneos, departamento de producción)

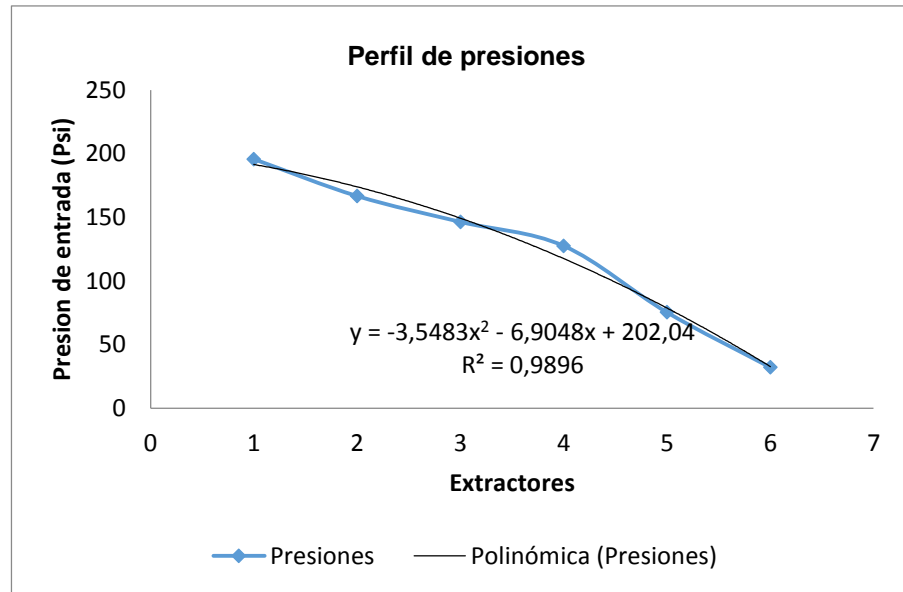


Figura 4. Perfil de presiones a la salida de los extractores

$$y = -3,5483x^2 - 6,9048x + 202,04$$

$$y = -3,5483(7)^2 - 6,9048(7) + 202,04$$

$$y = 20,16 \text{ psi}$$

2.3.2. Estudio de las caídas de presión que se dan en todo el proceso

Las principales caídas de presión que se dan en este proceso son las debidas al intercambiador de calor, el manifold con las válvulas y sus accesorios y los extractores. Se puede realizar un cálculo para determinar la caída de presión actual, pero debido a la antigüedad y mal funcionamiento de válvulas y accesorios, el valor encontrado no sería muy confiable, además como se mencionó este sistema será completamente remodelado por lo que no tendría sentido realizar algún cálculo para algo que va dejar de estar en funcionamiento.

2.3.3. Evaluación del estado actual de los equipos

Para realizar esta evaluación se analizara de la siguiente manera:

Bomba centrífuga: La bomba seleccionada posee un caudal muy elevado por lo que parte del agua que bombea se retorna al tanque de alimentación provocando un consumo innecesario de energía lo que lleva a un desperdicio de dinero.

Manifold: Este incluye todo tipo de válvulas tuberías y accesorios pequeños, la tubería tiene muchos años por lo que se llena de incrustaciones de café muy rápido, además hay fugas de vapor lo que provoca caídas de presión de vapor y con esto mayor cantidad de condensado el cual no pudo ser aprovechado, las válvulas no tienen un buen cierre o los empaques ya no están en buenas condiciones.

Extractores: Las caídas de presión en los extractores no dependen solo de estos sino más bien del tipo y la calidad del tostado del café que se esté procesando, ya que de esto dependerá la velocidad con la que pase el agua a través de los intersticios del café.

2.3.4. Válvulas utilizadas en el proceso actual

Cada extractor debe tener su juego de válvulas, debido a que existen varios estados en los cuales puede estar trabajando el extractor, y dependiendo de estos estados se deberá abrir o cerrar diferentes tipos de válvulas.

A continuación se enlistan los diferentes tipos de estados que puede tener un extractor:

- **Estado normal de operación:** en este caso el extracto de café que viene del extractor anterior entra por la parte inferior y sale por la parte inferior.
- **Estado invertido de operación:** El extracto que viene del extractor anterior entra por la parte superior y sale por su parte inferior. Esto se realiza cuando el tiempo de llenado se incrementa ya que esto puede ser debido a incrustaciones de café en tuberías o filtros dentro de los extractores que se tapan.
- **Enfriamiento del extracto:** El fluido que circula en todos los extractores que se encuentran en el sistema se mantiene a presión y temperaturas tales que siempre este en forma líquida, que por lo general va de 180°C a 110°C y presión de 200 psi a 32 psi, pero cuando se va a ingresar un extractor con café fresco este se encuentra a presión y temperatura ambiente, y si el extracto que viene del percolador anterior entra a una temperatura de más de 100°C ocurrirá una evaporación, por lo cual es necesario enfriar dicho

extracto por medio de un intercambiador de calor el cual utiliza agua de una torre de enfriamiento.

- **By pass:** Se lo utiliza cuando se requiere aislar un extractor debido a alguna falla o mantenimiento que se deba realizar
- **Salida de extracto a tanque de pesaje:** Cuando el extracto ha pasado a través de los 6 extractores este ya tiene su mayor concentración de solidos solubles entonces se debe abrir la válvula para que este salga y sea almacenado.
- **Descarga del bagazo:** El extractor que tenga más tiempo en el proceso es el que tendrá la temperatura y presión más elevada, es decir que ya ha ocurrido la hidrolisis y se ha extraído la mayor cantidad de solidos solubles. Una vez el extractor con café fresco sea ingresado a la línea, el más viejo deberá ser descargado

Tabla 1. Dimensiones y tipos de válvulas utilizadas

Aplicación	Numero de válvulas	Tipo de apertura y cierre requerido	Dimensiones (pulg)
Purga de gases	1	Total	1
Agua caliente	1	Total	1
Agua fría	1	Total	1
Vapor	1	Total	1
By pass	1	Total	1
Va al enfriador	1	Regulable	1
Retorna del enfriador	1	Total	1
Salida de extracto	1	Total	1
Paso al siguiente extractor	1	Regulable	1
Remojo de extracto (operación normal)	2	Total	1
Remojo de extracto (operación invertida)	2	Total	1
Descarga de bagazo	1	Total	6
Prevenir retorno de flujo	3	--	1
TOTAL	17		

En la tabla se muestran las válvulas que se deben utilizar por cada extractor, con un total de 13 válvulas que por 6 extractores seria 72 válvulas.

Válvulas de apertura y cierre total: Actualmente se utilizan 10 válvulas de bola de acero inoxidable de 1”.

Válvulas regulables: Se utilizan 2 válvulas de globo para regular el flujo.

Válvulas retenedoras: Se utilizan 3 válvulas para prevenir el contraflujo también conocidas como check, y las que se utilizan son del tipo oscilante.

Válvula macho: Para la descarga del bagazo se utiliza este tipo de válvula puesto que es más grande que las demás y se necesita una operación con un mínimo de esfuerzo como se da en estas.

2.4. Selección y evaluación de alternativas para el nuevo sistema de extracción

Una vez habiendo analizado los equipos y accesorios como válvulas y tuberías que se utilizan en el proceso actual se realizará el análisis y selección de la mejor alternativa con el fin de obtener un proceso en óptimas condiciones, puesto que como ya se mencionó el sistema actual posee aproximadamente 40 años y ya no trabaja eficientemente.

Se evaluará los siguientes parámetros:

- Selección de material para tuberías y válvulas
- Calculo de diámetro de la tubería y válvulas
- Calculo de la caída de presión con la tubería y válvulas seleccionadas
- Selección de válvulas para el nuevo manifold

2.4.1. Selección de material para tuberías y válvulas

Para este análisis se debe tener en cuenta que el sistema va hacer automatizado y al ser el diámetro de la tubería más grande, no solo incrementara el precio de estos sino que también su tamaño ya que necesitaremos un actuador más robusto, por lo que tendremos otra restricción que es el espacio disponible para la instalación. Por el contrario con una tubería más pequeña habrá más espacio y el costo será menor pero el flujo que maneja es menor y la tubería se llena de incrustaciones más rápido y el mantenimiento es más complicado.

Debido a que estas tubería van a transportar alimento a altas temperaturas se utilizará tubería de acero inoxidable, pero ya que existen diferentes tipos de acero inoxidable se seleccionara el más conveniente,

primero considerando el que cumpla a cabalidad las condiciones del proceso y luego el más económico.

Descripción general de los aceros inoxidable:

Tabla 2. Propiedades generales de los aceros inoxidable

Tipo	Resistencia a corrosión	Dureza	Magnéticos	Tratamiento térmico de endurecimiento	soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta	No	No	Excelente

Fuente: (Bonet, 2010)

Debido a la buena resistencia a la corrosión alta dureza y excelente soldabilidad se deberá seleccionar un acero del grupo de los Austeníticos tanto para el diseño del recipiente como para el manifold y las válvulas. Del grupo de los aceros auténticos tenemos una gran variedad donde los de mayor aplicación y comercialización son:

- AISI 303
- AISI 304
- AISI 316

Para la selección del más adecuado se realizara una matriz de decisión como se ve a continuación donde se tendrá la siguiente ponderación:

- 4: Excelente
- 3: Muy bueno
- 2: Bueno
- 1: Regular

De la misma forma a cada criterio se le deberá dar una ponderación donde 4 muy importante y 1 menos importante, este valor se lo deberá multiplicar con la calificación dada ya que cada criterio no tiene la misma importancia.

Tabla 3. Matriz de decisión para selección de tipo de acero inoxidable

Criterio	Ponderación	303	304	316
Resistencia a la corrosión	4	2	3	4
Mecanización	1	4	2	2

Soldabilidad	4	3	4	1
Precio	4	3	3	4
Total		36	42	38

Fuente: (Bonet, 2010)

De la matriz de decisión se obtuvo que el material más recomendable es el acero AISI 304, lo cual tiene concordancia puesto que se lo va aplicar para un proceso alimenticio, y la gran mayoría de industrias que se dedican a esto, utilizan este tipo de acero en sus procesos.

2.4.2. Cálculo del diámetro de la nueva tubería y válvulas

Para calcular el diámetro de la nueva tubería debemos conocer tanto el caudal y la velocidad que queremos en la tubería y con estos datos encontrar el diámetro óptimo. El caudal que se requiere en el proceso es de 5000lt/hr, La velocidad del fluido que se va a transportar que en este caso será agua y posteriormente extracto de café, será seleccionada de tablas donde se dan recomendaciones de velocidades que están entre 1 a 2.5 m/s (Ludwig, 1965).

La velocidad en tuberías puede ser muy elevada ni muy baja por lo que puede haber varios inconvenientes como se enlistan a continuación:

Un exceso de velocidad puede:

- Originar golpes de ariete, cuyo valor de sobrepresión puede provocar roturas.
- Producir excesivas pérdidas de carga.
- Favorecer las corrosiones por erosión.
- Producir ruidos, que pueden ser muy molestos.

Una velocidad demasiado baja:

- Propicia la formación de depósitos de las sustancias en suspensión que pudiera llevar el agua, provocando obstrucciones.
- Implica un diámetro de tubería excesivo, sobredimensionado, con lo que la instalación se encarece de forma innecesaria. (Salas, 2016)

Tabla 4. Velocidades recomendadas en tuberías de proceso.

Servicio	Velocidad (fps)
Líquido en proceso estandar	4 – 6,5
Succión de bomba (excepto ebullición)	1 – 5
Succión de bomba (punto de ebullición)	0,5 – 3
Agua de alimentación de caldera (presión de descarga)	4 – 8
Líneas de drenaje	1,5 – 4
Líquido a rehervidor (sin bomba)	2 – 7
Mezcla líquido-vapor de salida de recalentador	15 – 30
Vapor de condensador	15 – 80
Separadores de flujo por gravedad	0,5 – 1,5

Fuente: (Rase, 1973)

En este caso se tomará el valor de 2m/s Ya conociendo estos datos:

$$Q = 5000 \text{ lt/hr}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

Sabemos que:

$$Q = v * A \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$$Q = 5000 \frac{\text{lt}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 1,3889 \times 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{Q}{v} \rightarrow \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} = 0.02973 \text{ m} = 29,73 \text{ mm} = 1,17''$$

Debido a las presiones que se van a manejar se debe seleccionar una tubería cédula 40, entonces de la tabla ## (Rase, 1973) encontramos los diámetros internos:

$$1'' = 0,957''$$

$$1 \frac{1}{4}'' = 1,278''$$

La tubería que se encuentra más cerca del valor calculado es la de 1¼'', por lo que este será el diámetro que se utilizará tanto en las tuberías como en las válvulas.

2.4.3. Selección de válvulas para nuevo manifold

Como ya se analizó previamente el manifold utiliza 17 válvulas (ver tabla 1) entre las cuales hay varios tipos estos pueden ser de apertura y cierre total, reguladoras o retenedoras.

- **Válvulas de cierre y apertura total:** Se analizó la posibilidad de utilizar otro tipo de válvulas como las de macho o compuerta, pero no sería práctico utilizar alguna de estas puesto que su operación es más lenta y su costo mucho más elevado.

Por lo tanto se utilizará válvulas de bola igual que en el sistema actual pero esta vez de diámetro 1 ¼.

- **Válvulas reguladoras:** este tipo de válvulas son utilizadas cuando se desea regular el flujo que pasa por la tubería, existen varios tipos diseñadas para este fin, entre las más utilizadas tenemos: de aguja, de globo y mariposa.

Se evaluará varios criterios para seleccionar la válvula más adecuada, los criterios tendrán la siguiente ponderación.

4: Excelente

3: Muy bueno

2: Bueno

1: Regular

La ponderación será del 1 al 4 donde uno poco importante y 4 muy importante

Tabla 5. Matriz de decisión para selección de válvulas reguladoras

Criterio	Ponderación	Aguja	Globo	Mariposa
Resistencia al desgaste	4	1	4	2
Facilidad de Mantenimiento	4	2	2	4
Presiones de trabajo	4	2	3	1
Precio	4	2	2	4
Total		25	44	42

En este caso a todos los criterios se les dio la ponderación de cuatro, ya que todos son importantes al momento de la selección.

De la matriz de decisión se encuentra que la válvula con las mejores características para este proceso es a de globo ya que por su forma de cierre tiene una buena resistencia al desgaste, trabaja en un rango de presiones más elevado y su precio es aceptable. (Quiroz, 2008)

2.4.4. Cálculo de la caída de presión en el nuevo sistema de extracción

Primero se calculará la caída de presión en el intercambiador de calor, La caída de presión en tubos es calculada con el número de pasos y la longitud L del intercambiador. La caída de presión en el lado de tubos es dada por la ecuación:

$$\Delta P_t = 4f_t \left(\frac{LN_p}{D} \right) \frac{\rho}{2} v^2 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

(Alarcon, 2012)

$$\Delta P_t = 4(0,023) \left(\frac{2.5 \times 2}{0,0267} \right) \left(\frac{1000}{2} \right)^2$$

$$\Delta P_t = 69,69 \text{ kpa} = 10,10 \text{ psi}$$

El cambio de dirección por los pasos introduce una caída de presión adicional, debido a las expansiones y contracciones que el fluido experimenta durante el retorno, que equivale a cuatro cabezales de velocidad por paso:

$$\text{Ec. (2.3)}$$

$$\Delta P_r = 4N_p \frac{\rho}{2} v^2$$

$$\Delta P_r = (4)(1000) \frac{1000}{2} 2^2$$

$$\Delta P_r = 64 \text{ kpa} = 9,2$$

$$\Delta P_{to} = 10,1 + 9,2 = 29,3 \text{ psi}$$

El caudal necesario en el sistema de extracción es de 5000 lt/hr, para seleccionar la bomba adecuada fue necesario calcular las perdidas por fricción en tuberías y debido a accesorios, para esto se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach la cual está dada por:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Dónde:

f: coeficiente de fricción

L: longitud de la tubería

D: diámetro de la tubería

V: velocidad promedio del flujo

G: aceleración de la gravedad 9,81 m/s

El caudal está dado por:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Ec. (2.1)}$$

v: velocidad del fluido en la tubería

A: Área transversal que atraviesa el fluido

Para que el proceso se dé en óptimas condiciones se necesita un caudal de 5000 lt/hr, por lo que deberá mantenerse con las nuevas condiciones que se tiene.

Llevando el caudal a unidades compatibles y con un diámetro de tubería de 2" Despejamos la velocidad:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot (1.3888e - 3)}{\pi \cdot (0.0508)^2} = 0.6852 \text{ m/s}$$

Se calculó el número de Reynolds para verificar si es laminar o turbulento

$$Re = \frac{D \cdot v}{\mu} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

$$Re = \frac{0.0508 \cdot (0.6852)}{1.12e - 5} = 31078.7 \therefore \text{turbulento}$$

El fluido es agua por lo que con esto obtenemos la viscosidad

La tubería que se seleccionó para el nuevo Manifold es de 1 ¼ “de diámetro acero inoxidable A 304 y cedula 80. Para este diámetro se obtuvo un coeficiente de fricción de 0.022. (Crane 2000)

Se tuvo que medir la mayor longitud posible que debía recorrer el agua que fue aproximadamente 60m, las mayores caídas de presión estarán en los percoladores ya que el agua ingresa por la parte inferior y remoja todo el café tostado y molido hasta que sale por su parte superior, con la ayuda de los manómetros se tomó un valor estimado de 15 a 20 psi de pérdida que se da en cada extractor

La caída de presión en todo el sistema está dado por:

$$h_{pa} = (z_2 - z_1) + \frac{Q^2}{2gA_1^2} \left(f_1 \frac{L}{D_1} + \sum k_1 \right) + \frac{Q^2}{2gA_2^2} \left(f_2 \frac{L}{D_2} + \sum k_2 \right) + \frac{Q^2}{2gA_3^2} \left(f_3 \frac{L}{D_3} + \sum k_3 \right) \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Esto es debido a que existen 2 reducciones que son de 2” a 1 1/2” y luego a 1 1/4”

Dónde:

Z1-z2: diferencia de Alturas

Q: caudal en la tubería

L: longitud de tubería

D: diámetro de tubería

F: factor de fricción

K: pérdidas menores por accesorios

Tabla 6. Datos para cálculo de cabezal de la bomba requerida para el proceso

DATOS	
Q	1.3883e-3 m ³ /s
L	60 m
D ₁	2,067"
D ₂	1,5"
D ₃	1,278"
f ₁	0,019
f ₂	0,021
f ₃	0,022
A ₁	2,027e-3 m ²
A ₂	1,14e-3 m ²
A ₃	7,917e-3 m ²
g	9,81 m/s

(Vemacero)

Diámetros internos obtenidos de la figura 13

Perdidas menores se contabilizaron los siguientes accesorios

Tabla 7. Accesorios menores a considerar para el cálculo

Accesorios	Cantidad	Perdidas k
Cheques	4	$k = 100ft$
Codos 90°	15	$k = 30ft$
Tés	12	$k = 60ft$
cruces	3	$k = 20ft$
Válvula de bola	2	$k = 8ft$
Válvula de globo	5	$k = 30ft$
Reducciones	2	

(Crane, 1989)

Donde ft dependerá del diámetro de la tubería

Ahora reemplazando todos los valores calculados anteriormente en la ecuación 2,6 y dejando en función de Q nos queda:

$$h_{pa} = 72.375 + 7373766Q^2$$

Evaluamos el caudal de 5000 lt /hr o 0,0013888 m³/s:

$$h_{pa} = 72.375 + 7373766(0,0013888)^2$$

$$h_{pa} = 87 \text{ m o } 123 \text{ psi}$$

A este valor se le debe adicionar la caída de presión que se da en los percoladores que será de 10 a 20 psi dependiendo del estado del mismo y el nivel de limpieza de filtros ya que estos suelen taparse provocando una mayor caída de presión.

Puesto que son 5 percoladores que puede estar funcionando al mismo tiempo (siempre uno se está cargando de café fresco), se asumirá que la caída de presión es de 20 psi en cada uno lo que da un total de 100 psi en toda la línea, que sumado al cálculo anterior da un valor total de:

$$h_{pa} = 123 + 100 = 223 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{to} = 223 + 29,3 = 253,3 \text{ psi}$$

Con esta caída de presión y el caudal ya conocido se seleccionará la bomba adecuada para el proceso.

La bomba será perteneciente a la marca Grundfos, con los datos ya mencionados se encontró que se utilizara una bomba centrífuga de dos etapas con las siguientes características.

Tabla 8. Especificaciones de la bomba seleccionada

Descripción	CRN 5-32 A-P-G-E-HQQE
Velocidad de rotación	2919 rpm
Máximo caudal	5093 l/h
Cabezal de la bomba	259 psi
Impeler	32
Presión mínima a la entrada	2919 rpm



Figura 5. Bomba centrífuga marca Grundfos

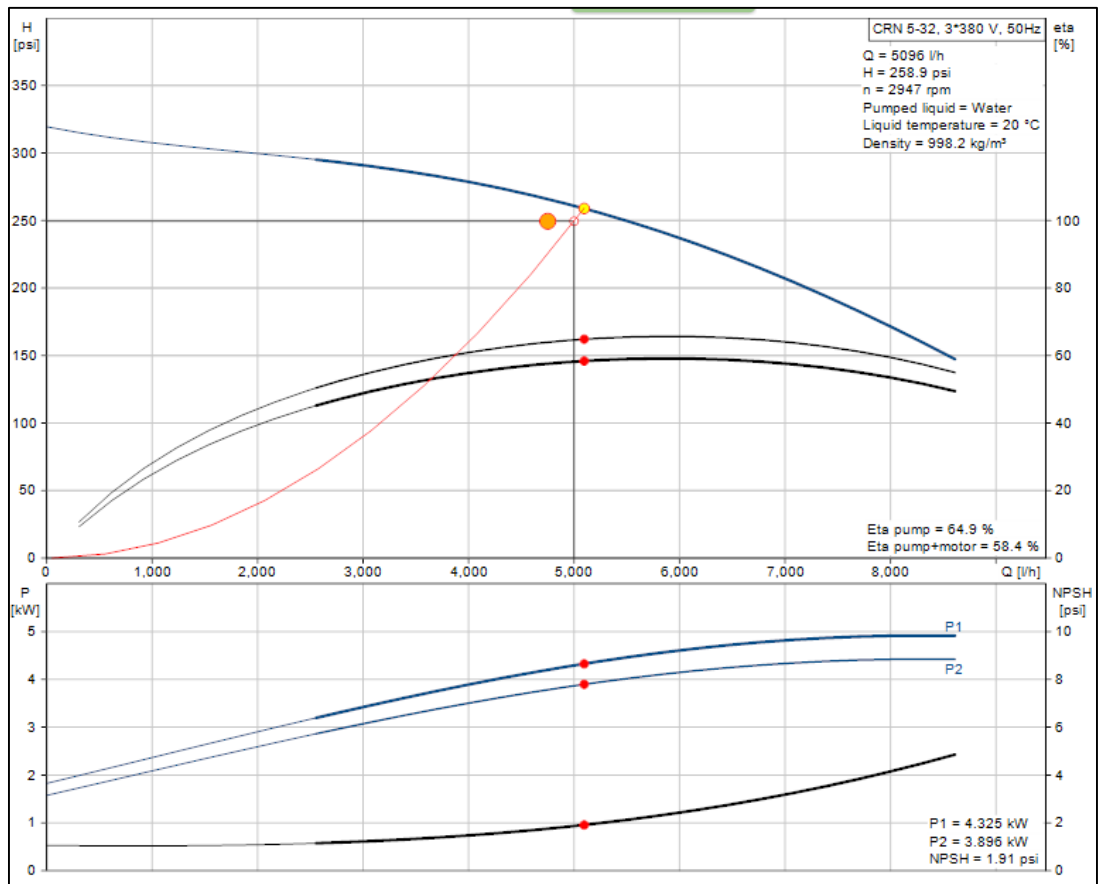


Figura 6. Curva de operación de la bomba

2.5. Datos e información técnica disponible acerca del diseño del percolador

Para el diseño del extractor de café se debe tener varias cosas en consideración como son:

- Condiciones de trabajo (presiones y temperaturas)
- Forma de modelar el extractor (como un cilindro, tubería o tanque)
- Normas a utilizar
- Tipos de ensayos a realizar para certificar una correcta construcción.

2.5.1. Condiciones de trabajo utilizadas

Los extractores que existen actualmente en la fábrica fueron diseñados y probados por la compañía bowen engineering U.S.A. quienes certificaron los siguientes datos:

- Presión de prueba 583.5 psi o 4 Mpa
- Presión de diseño 298.69 psi o 2.06 Mpa
- Presión hidráulica de 583.5 psi o 4 Mpa
- Temperatura de diseño 205° C

Si se desea realizar un análisis solo considerando los esfuerzos por fatiga el fabricante recomienda que los esfuerzos máximos y mínimos que deberá soportar el recipiente irán desde -1 bar hasta 20 bares y que debe soportar por lo menos 4000 ciclos por año.

La norma dice que los recipientes deben ser diseñados para vida infinita lo cual según la figura 15 equivale a 10^6 ciclos.

Si el recipiente será sometido a 4000 ciclos/año, si con esto calculamos la vida en años nos queda:

$$\frac{10^6 \text{ ciclos}}{4000 \text{ ciclos/año}} = 250 \text{ años}$$

Lo cual se puede considerar como vida infinita.

2.5.2. Formas de modelar el extractor

El percolador tiene un diámetro de 86 cm y una longitud cilíndrica de 4.6 m y además la parte superior e inferior son cónicas con una longitud aproximada de 80 cm, las dimensiones detalladas se pueden observar en los planos 5 y 6.

Si sumamos la longitud cilíndrica más la longitud de ambos conos nos obtendremos una longitud total de 6.2m es decir que la relación $L/D=7.2$, debido al alto valor de relación que se obtuvo podríamos decidirnos por modelarlo como tubería pero si tomamos en cuenta su volumen total de $2m^3$, no tendría mucho sentido hacer esta asunción Tampoco debemos olvidar que al momento de ingresar el agua al percolador este estará completamente lleno de café tostado y molido, en el caso de modelarlo como un cilindro tampoco sería una buena alternativa porque las tapas no son planas sino más bien cónicas por lo que modelarlo como un tanque a presión sería lo más conveniente.

Ahora que ya se eligió que se lo va a considerar como un cilindro se verificar si es un cilindro de pared gruesa o delgada, para esto debemos verificar lo siguiente:

$$\frac{D}{t} > 10 \rightarrow \text{cilindro de pared delgada}$$

$$\frac{D}{t} < 10 \rightarrow \text{cilindro de pared gruesa}$$

Donde:

D: diámetro exterior del cilindro

T: espesor de pared del cilindro

Evaluamos:

$$\frac{709}{10} > 10 \rightarrow 70,9 > 10 \therefore \text{cilindro de pared delgada}$$

Aunque aún no se hayan realizado los cálculos para determinar el espesor del cilindro se tomó el valor referencial de los extractores existentes en la fábrica.

2.5.3. Planilla de datos básicos de diseño

- Plano constructivo
- Memorias de cálculo de envolvente, cabezales y demás componentes que en cada caso corresponda incluir.
- Lista de materiales
- Planilla de calificación del(los) procedimiento(s) de soldadura, avalados por Inspector Nivelado
- Certificado de calificación de habilidad de los Soldadores/Operadores
- Programa de Fabricación y Plan de Inspecciones previsto para el control de fabricación.

2.6. Dimensiones y forma del recipiente

Tabla 9. Medidas para el diseño del recipiente

Valores a considerar para los cálculos	mm
Longitud sección cónica superior (L_s)	448
Longitud sección cilíndrica (L_c)	4660
Longitud sección cónica inferior (L_i)	889
Diámetro menor sección cónica superior	152,4
Diámetro mayor sección cónica superior	709
Diámetro sección cilíndrica	709
Diámetro menor sección cónica inferior	152,4
Diámetro mayor sección cónica inferior	709

2.7. Cálculos y consideraciones para el diseño del extractor

Para el diseño del extractor se seguirá la norma ASME división VIII sección 2 para cálculo y diseño de recipientes a presión en donde se establece que los cálculos que se deben realizar son los siguientes:

- Calculo por presión interna
- Calculo por presión externa
- Calculo por peso propio
- Calculo por presión del viento
- Calculo por sismo
- Calculo por vibraciones
- Cálculo de esfuerzos combinados

2.7.1. Cálculo de la presión interna y de diseño

Para realizar los cálculos de los espesores de un recipiente cilíndrico a presión como es en el caso del extractor, debemos conocer la presión de diseño y sumarle la presión hidrostática del fluido.

Para los cálculos se considera la densidad del agua puesto que la del fluido que se almacenara es menor. (ASME, 2010)

La presión de diseño estará dada por la que resulte mayor de los siguientes cálculos

$$P = (P_o + P_H) * 1,1 \text{ o } P = P_o + P_H + 30 \text{ [PSI] Ec. (2.7), (2,8)}$$
$$P_H = P_e(H)$$

Donde

$$P_o = \text{presion de trabajo}$$

$$P_H = \text{presion hidrostatica}$$

$$P_e = \text{peso especifico}$$

Con estas fórmulas se calculará la presión hidrostática generada a diferentes alturas de la columna de agua sabiendo que 1 pie de altura produce una presión de 0,4331 psi.

El peso específico del café tostado y molido junto con el agua es aproximadamente 14,2 entonces tenemos

$$\text{para } H_1 = 3' \quad P_{H1} = 3 \times 0,4331 \times 14,2 = 18,45 \text{ psi}$$

$$\text{para } H_1 = 6' \quad P_{H2} = 6 \times 0,4331 \times 14,2 = 36,9 \text{ psi}$$

$$\text{para } H_1 = 9' \quad P_{H3} = 9 \times 0,4331 \times 14,2 = 55,35 \text{ psi}$$

$$\text{para } H_1 = 12' \quad P_{H1} = 12 \times 0,4331 \times 14,2 = 73,8 \text{ psi}$$

$$\text{para } H_1 = 14' \quad P_{H1} = 14 \times 0,4331 \times 14,2 = 86,1 \text{ psi}$$

Utilizando la ecuación la presión de diseño seria:

$$P = P_o + P_H + 30 \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$P_1 = 200 + 18,45 + 30 = 248,45 \text{ psi}$$

$$P_2 = 200 + 36,9 + 30 = 266,9 \text{ psi}$$

$$P_3 = 200 + 55,35 + 30 = 285,35 \text{ psi}$$

$$P_4 = 200 + 73,8 + 30 = 303,8 \text{ psi}$$

$$P_5 = 200 + 86,1 + 30 = 316,1 \text{ psi}$$

Ahora Calculamos utilizando la ecuación 2.7

$$P_1 = (200 + 18,45) * 1,1 = 240,3$$

$$P_2 = (200 + 36,9) * 1,1 = 260,6$$

$$P_3 = (200 + 55,35) * 1,1 = 280,89$$

$$P_4 = (200 + 73,8) * 1,1 = 301,2$$

$$P_5 = (200 + 86,1) * 1,1 = 314,7$$

Como podemos observar los valores más altos se dan con la ecuación 2.8, por lo que estos serán lo que se usaran para posteriores cálculos

2.7.2. Cálculo de espesor en cada una de las secciones

- Espesor en la sección cilíndrica
- Espesor en la sección cónica superior e inferior
- Espesor en la sección cónica inferior
- Espesor en la tapa superior

El valor del esfuerzo permisible que se utilizará para el acero AISI 304 será el que nos da la tabla UCS de la norma ASME a la temperatura de diseño que en este caso es 205°C o 400°F, a esta temperatura se obtiene que:

$$S = 18100 \text{ psi}$$

Este esfuerzo permisible ya tiene incluido el factor de seguridad que considera la norma, por lo que no se deberá utilizar ninguno al momento de diseñar.

Calculo para la sección cilíndrica

Para el cálculo del espesor de la parte cilíndrica se utilizará la siguiente ecuación:

$$t_{cil} = \frac{P_{dis}R}{SE - 0.6P_{dis}} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Donde:

t_{cil} : Espesor de pared cilíndrica

P_{dis} : Presión de diseño

E : Eficiencia de la soldadura

Evaluamos para $P_1 = 248,45 \text{ psi} = 1713,0 \text{ kpa}$

$$t_1 = \frac{248,45 \times 13,95}{18100 \times 0,7 - 0,6 \times 248,45} = 0,276" = 7,03 \text{ mm}$$

$$P_2 = 266,9 \text{ psi} = 1713,0 \text{ kpa} \rightarrow t_2 = 7,55 \text{ mm}$$

$$P_3 = 285,35 \text{ psi} = 1967,4 \text{ kpa} \rightarrow t_3 = 8,08 \text{ mm}$$

$$P_4 = 303,8 \text{ psi} = 2094,6 \text{ kpa} \rightarrow t_4 = 8,62 \text{ mm}$$

$$P_5 = 316,1 \text{ psi} = 2179,43 \rightarrow t_5 = 8,97 \text{ mm}$$

Cálculo para la sección cónica superior e inferior

Para estos cálculos solo se utilizara el mayor valor de las presiones internas calculadas anteriormente.

Cálculo de la transición cónica superior:

$$\begin{aligned} t_{conosup} &= \frac{P_{dis}D}{2 \times \cos \alpha_1 \times (SE - 0.6P_{dis})} && \text{Ec. (2.10)} \\ &= \frac{316,1 \times 27,9}{2 \times \cos 26 \times (18100 \times 0,8 - 0,6 \times 316,1)} = 0,34" \\ &= 8,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Calculo de la transición cónica inferior:

$$\begin{aligned} t_{conosinf} &= \frac{P_{dis}D}{2 \times \cos \alpha_2 \times (SE - 0.6P_{dis})} && \text{Ec. (2.10)} \\ &= \frac{316,1 \times 27,9}{2 \times \cos 20 \times (18100 \times 0,7 - 0,6 \times 303,8)} = 0,33" \\ &= 8,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

2.7.3. Cálculo por presión externa

- Sección cilíndrica
- Sección cónica superior
- Sección cónica inferior
- Tapa plana superior

Cálculo de la sección cilíndrica

Para calcular la presión que soporta la norma nos dice que primero debemos calcular las relaciones L/D_0 y D_0/t

Donde:

D_0 : Diámetro exterior

L : Longitud de la sección cilíndrica

t : Espesor de cilindro

$$\frac{L_c}{D_0} = \frac{174,4}{27,9} = 6,25 \quad \frac{D_0}{t} = \frac{27,9}{0,353} = 79,03$$

Con estos valores entramos a la figura de la figura 15

$$A = 0,0001$$

Con el valor de A vamos a la gráfica 18 y notamos que debido a que el valor de A se encuentra del lado izquierdo de la curva del material con la temperatura de diseño dada se debe utilizar la ecuación 2.11

$$P_a = \frac{2AE}{3\left(\frac{D_0}{t}\right)} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$P_a = \frac{2(0,0001)(27e6)}{3(27,91/0,35)} = 33,85 \text{ psi}$$

Por lo tanto la sección cilíndrica si es capaz de soportar vacío.

Cálculo de la sección cónica superior

Para este cálculo se debe calcular las relaciones L_e/D_0 y $D_0/t_{conosup}$

Donde:

$$L_e = \left(\frac{L_s}{2}\right) \left(1 + \frac{D_s}{D_0}\right) \quad \text{Ec. (2.12)}$$

$$L_e = (17,6/2) \left(1 + \frac{6,61}{27,9}\right) = 12,68''$$

$$\frac{L_e}{D_0} = \frac{12,68}{27,95} = 0,454 \quad \frac{D_0}{t_{conosup}} = \frac{27,95}{0,34} = 82,2$$

Con estos valores vamos a la figura 15 y tenemos $A=0,0025$

Ahora con el valor de A vamos a la figura 18 y encontramos que $B=12000$

Utilizando la ecuación (2.13)

$$P_a = \frac{4B}{3\left(\frac{D_0}{t_{conosup}}\right)} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$P_a = \frac{4(12000)}{3(27,95/0,34)} = 194,63 \text{ psi}$$

Concluimos que el cono superior puede soportar vacío

Cálculo de la sección cónica inferior

Calculamos las relaciones L_e/D_0 y $D_0/t_{conosup}$

$$L_e = \left(\frac{L_i}{2}\right) \left(1 + \frac{D_s}{D_0}\right) \quad \text{Ec. (2.12)}$$

$$L_e = (39/2) \left(1 + \frac{8,46}{27,9}\right) = 25,4''$$

$$\frac{L_e}{D_0} = \frac{25,4}{27,95} = 0,909 \quad \frac{D_0}{t_{conosup}} = \frac{27,95}{0,33} = 84,69$$

Con estos valores vamos a la figura 15 y tenemos $A=0,0007$

Ahora con el valor de A vamos a la figura 18 y encontramos que $B=9000$

Utilizando la ecuación 2.13

$$P_a = \frac{4B}{3(D_0/t_{conosup})} = \frac{4(9000)}{3(27,95/0,33)} = 141,68 \text{ psi}$$

Concluimos que el cono inferior puede soportar vacío

2.7.4. Cálculo de la tapa superior

Se considerara la tapa superior como una tapa plana, por lo cual usaremos la siguiente formula:

En este caso la eficiencia de la soldadura será uno puesto que no será soldada sino que utilizará seguros empernados

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{SE}} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

$$t = 5,83 \sqrt{\frac{0,3 \times 316,1}{1 \times 18100}} = 0,42'' = 10,71 \text{ mm}$$

El valor de C depende del tipo de unión el cual se lo selecciono de la gráfica 20

2.7.5. Cálculo de presión por peso propio

El peso del recipiente produce únicamente esfuerzos a compresión cuando no existen cargas excéntricas y la fuerza resultante coincide con el eje del recipiente. Generalmente el esfuerzo producido por el peso propio del recipiente es despreciable. A pesar de esto es necesario calcular el peso del recipiente para utilizarse en el cálculo de la combinación de esfuerzos.

Todo el tanque será construido de acero inoxidable A304 de 10mm excepción de las bridas y sus pernos las cuales serán de acero al carbono

El peso se lo calculara por secciones como se ve a continuación:

- Peso de la sección cilíndrica:

Puesto que en el mercado las planchas vienen en rollos de 1220 mm y 2438mm de largo se deberá utilizar 3 planchas de 1220x2227 y una de 1000x2227. Conocemos que la densidad del acero inoxidable es 8000 kg/m³ por lo tanto:

$$m_1 = V_1 \rho_{AI} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Donde:

m_1 =Masa de una plancha (1,2*2,2)

m_2 =Masa de una plancha (1*2,2)

V_1 =Volumen de la sección cilíndrica (planchas)

ρ_{AI} =Densidad del acero inoxidable

m_3 =Masa de sección cónica superior

m_4 =Masa de sección cónica inferior

m_5, m_6 =Masa de bridas de 28" y 4"

m_7 =Masa de pernos 1"x10"

m_7 =Masa de soldaduras

M =Masa total sin soldaduras

M_{tot} =Masa total con soldaduras

Reemplazando:

$$m_1 = (1,220 \times 2,227 \times 0,010) \times 8000 = 215,63 \text{ kg} \times 3 = 647 \text{ kg}$$

$$m_2 = (1,000 \times 2,227 \times 0,010) \times 8000 = 178 \text{ kg}$$

- Peso de las secciones cónicas:

Cono superior

$$m_3 = 0,293 \times 8000 = 202 \text{ kg}$$

Cono inferior

$$m_4 = 250 \text{ kg}$$

- Peso de bridas y pernos

Brida de 27" del catálogo del fabricante tenemos:

$$m_5 = 388 \text{ kg}$$

Bridas de 4" acero al carbono

$$m_6 = 4,5 \times 2 = 9 \text{ kg}$$

Pernos de 1"x10" grado 8

$$m_7 = 0,84 \text{ kg} \times 28 = 23,52 \text{ kg}$$

- Peso de soldaduras

La norma considera que el peso por las soldaduras es un equivalente el 6% del peso de todo el recipiente entonces tenemos:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7$$

$$M = 647 + 178 + 202 + 250 + 388 + 9 + 23,52 = 1698,52 \text{ kg}$$

$$m_8 = M \times 0,06 = 101,88 \text{ kg}$$

Entonces el peso total seria aproximadamente:

$$M_{tot} = M + m_8 = 1698,52 + 101,88 = 1800,4 \text{ kg (vacío)}$$

- Peso de aislamiento

Una vez que ya tenemos el peso de toda la estructura le debemos sumar el peso del aislamiento y la capa protectora exterior, en el caso que se utilizara lana de roca la densidad de este es 50 kg/m³ y nos da un peso total de 120 kg, y la del metal protector exterior será 30 kg, por lo tanto el peso total seria:

$$M_{tot+ais} = 1800,4 + 120 + 30 = 1950 \text{ kg} = 3960 \text{ lb}$$

- Peso de prueba

En el peso de prueba además de considerar el peso del recipiente debemos considerar el peso del agua que se usará para la prueba hidrostática, el volumen del recipiente es $2m^3$ y la densidad del agua $1000kg/m^3$ por lo tanto:

Peso del agua:

$$m_{agua} = \rho_{agua} V_{agua} = 1000 \times 2 = 2000 \text{ kg} = 4400 \text{ lb}$$

Entonces el peso de prueba será:

$$P_{prueba} = M_{tot+ais} + m_{agua} = 1950 + 2000 = 3950 \text{ kg}$$

Ahora utilizaremos la siguiente ecuación para el calcular el esfuerzo producido por el peso propio:

$$S = \frac{P_{prueba}}{ct} \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Donde:

S : Esfuerzo producido por peso propio

C : Perímetro de la base o faldón

t : Espesor del faldón

$$S_p = \frac{3950 + 4400}{87,68 \times 0,3937} = 242,18 \text{ psi}$$

2.7.6. Cálculo por presión del viento

Este cálculo no será tomado en consideración puesto que el recipiente se encuentra en un lugar cerrado donde la fuerza del viento no incide directamente, además la se encuentra soportado a una estructura por su parte superior por lo que no existen momentos en la base, ver plano 12.

2.7.7. Cálculo por sismo

Debido a que el recipiente no se encuentra anclado al suelo no se puede calcular el esfuerzo por sismo. Este cálculo debe ser realizado a la estructura que soportara todo el recipiente.

2.7.8. Cálculo por vibraciones

Como resultado de la presión del viento y las fuerzas producidas por sismos se debe calcular la vibración que ambos generan, pero debido a que estos factores no afectan directamente el recipiente sino que a la estructura que lo contiene, no se podrá realizar el análisis ya que primero

se tendría que analizar la estructura lo cual no está en el alcance de este proyecto.

2.8. Cálculo de esfuerzos combinados

Primero analizaremos la combinación de esfuerzos producidos simultáneamente por la presión interna (esfuerzo longitudinal) y la producida por el peso propio:

$$P_{C1} = P - S_p$$

$$P_{C1} = 316,1 - 242,18 = 73,92 \text{ psi}$$

Ahora la combinación de esfuerzos producidos por la presión externa y el peso propio, en este caso se suman ya que tienen el mismo sentido, a diferencia que en el caso anterior

$$P_{C2} = P_{ext} + S_p$$

$$P_{C1} = 33,85 + 242,18 = 276,03 \text{ psi}$$

2.9. Tipos de uniones en el extractor

En el recipiente existen varios tipos de uniones como son:

- soldadas
- bridadas
- grapadas.

2.9.1. Uniones soldadas

El Código A.S.M.E. sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc. donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante.

Las uniones soldadas serán todas las que sean permanentes como son en las planchas tanto para la parte cónica como cilíndrica, las boquillas

para la entrada y salida de producto así como también para los sellos de seguridad.

Estas soldaduras deberán ser realizadas como se muestra en la figura 23 el caso 5. (ASME, 2010)

Para las boquillas primero se deberá perforar la plancha o el cilindro donde se valla a ubicar y luego seleccionar el tipo de boquilla que se tiene según la norma, para con esto realizar el soldado respectivo

El tipo de soldadura que se utilizara será La soldadura TIG (del inglés tungsten inert gas) o soldadura GTAW (del inglés gas tungsten arc welding). La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente el soldeo de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco en atmósfera inerte es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Se deberá utilizar dos tipos de electrodo de diferente composición, uno cuando ambas piezas a unir sean de acero inoxidable AISI 304 y otro cuando uno es acero AISI 304 y el otro acero al carbono. Primero se debería seleccionar el material de los electrodos y luego el electrodo correspondiente al tipo de soldadura.

- **Combinación acero AISI 304 – AISI 304:** en este caso con ambos materiales de la misma composición utilizaremos la figura 21 de

donde se obtiene que se debe utilizar el tipo 308L. Ahora con ese dato debemos seleccionar el alambre que se utilizaría, de la gráfica 22 tenemos:

Tabla 10. Propiedades de electrodo para soldadura 304-304

Nombre	Norma	Resistencia a la tracción	Diámetro del alambre
CTG – 308L	JIS Y308L AWS ER 308L	53-57 kg/mm ²	3-4 mm

- **Combinación acero AISI 304- acero al carbón:** de la misma forma con la gráfica 21 seleccionamos el material y luego de la gráfica 22 el electrodo.

Tabla 11. Propiedades de electrodo para soldaduras 304- acero al carbono

Nombre	Norma	Resistencia a la tracción	Diámetro del alambre
CTG – 309	JIS Y309 AWS ER 309	57-62 kg/mm ²	3-4 mm

2.9.2. Uniones bridadas

Los tipos de bridas más utilizadas son las siguientes:

- bridas roscadas
- bridas ciegas
- bridas de cuello soldable

Bridas roscadas

Se usan para unir tuberías difíciles de soldar, como aluminio, PVC, etc; se recomienda usarlas en diámetros menores de 6". Las bridas roscadas son inconvenientes para condiciones que involucren temperaturas o esfuerzos de flexión de cualquier magnitud, particularmente bajo condiciones cíclicas donde puede haber fugas a través de las cuerdas en pocos ciclos de esfuerzos o calentamiento.

Bridas ciegas

Se usan para cerrar los extremos de boquillas, tuberías y válvulas. Desde el punto de vista de presión interna y fuerzas ejercidas sobre los pernos, estas bridas, principalmente en tamaños grandes, son las que están sujetas a esfuerzos mayores. Al instalar las bridas ciegas debe tomarse en consideración la temperatura y el golpe de ariete, si existiera.

Brida de cuello soldable

Las bridas que poseen los extractores actuales son las bridas de cuello soldable,

Se distinguen de las demás por su cono largo y por su cambio gradual de espesor en la región de la soldadura que las une al tubo. El cono largo suministra un refuerzo importante a la brida desde el punto de vista de resistencia. La ligera transición desde el espesor de la brida hasta el espesor de la pared del tubo, efectuada por el cono de la brida, es extremadamente benéfica bajo los efectos de flexión repetida, causada por la expansión de la línea u otras fuerzas variables y produce una resistencia de duración equivalente a la de una unión soldada entre tubos.

Por lo anterior, este tipo de brida se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea que esto resulte de altas presiones o de temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean sustancialmente constantes o que fluctúen entre límites amplios. Las bridas de cuello soldable se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos, donde una falla puede ser acompañada de desastrosas consecuencias.

A más de que los extractores actuales tienen bridas de cuello soldable y por las condiciones de trabajo, este tipo de bridas son las más adecuadas para el proceso

El recipiente cuenta con 7 boquillas que son:

- 2 boquillas con bridas de cuatro pulgadas para entrada y salida de agua o extracto de café.

- Una boquilla para el sello de seguridad en la parte superior con brida de 4"
- Una boquilla para purga de gases de 1" en la parte superior con una válvula de bola.
- Una boquilla con brida ciega de 4" en la parte inferior para inspección.
- Una boquilla en la parte superior para la alimentación del producto de 6"
- Boquilla de 6" en parte inferior para descargar el bagazo del extractor

Tubería para boquillas de 4"

Como ya se mencionó tanto la boquilla superior como inferior que es donde entra el agua caliente y la brida de seguridad son de 4" y deben soportar una presión de 250 psi por lo cual se seleccionara una brida #300.

Conociendo estos datos de las boquillas se utilizará la figura 20

De donde se obtuvo:

- Cédula del tubo de la boquilla: 80
- Diámetro interior del tubo 97,2 mm
- Espesor de 8,7 mm

Tubería para boquillas de 1"

Igual que en el caso anterior y con los mismos datos de presión se utiliza la figura 20.

Donde se obtuvo:

- Cédula del tubo de la boquilla: 80
- Diámetro interior del tubo 24,2 mm
- Espesor 4,4 mm

Tubería para boquillas de 6"

Esta será utilizada tanto en la entrada de producto como en la salida del bagazo.

De la figura 20 se obtiene:

- Cédula del tubo de la boquilla: 80

- Diámetro interior del tubo 146 mm
- Espesor 11,1 mm

Tubería para boquillas de 2"

En esta tubería será donde deba ir el sello de seguridad para la cual se obtuvo:

- Cédula del tubo de la boquilla: 80
- Diámetro interior del tubo 49,2 mm
- Espesor 5,6 mm

2.9.3. Diseño de pernos para unión bridada del cono inferior

Esta brida tiene la forma y las dimensiones que se muestran en el plano 5 para el diseño de la unión empernada se seguirá el procedimiento mencionado en el texto (Norton, 2014), primero se realizará el diseño estático como se ve a continuación:

$$F_{total} = P_d \times A_i \quad \text{Ec. (2.17)}$$

Donde:

F_{total} : fuerza que soporta el recipiente

P_d : presión de diseño

A_i : área interior de la unión empernada

$$F_{total} = (316) \left(\frac{\pi}{4} 28^2 \right) = 183584,56 \text{ lb}$$

La unión tiene 28 pernos por lo tanto la fuerza que soportara cada uno será:

$$F_p = \frac{183584}{28} = 6556,59 \text{ lb}$$

Debido a que existen varias incógnitas se deberá utilizar un proceso iterativo en donde primero se elegirá un perno y verificar que los factores de seguridad sean aceptables, el cálculo que se verá aquí será el que cumple con requerimientos puesto que se realizaron 2 cálculos previos antes de llegar al indicado. El perno que se tomara será 1" UNF× 10" de acero clase 5.2

Se tomará el 90% de la carga de prueba con lo que la fuerza será:

$$F_t = 0,9S_p A_t = (0,9)(85000)(0,6057) = 46336,05 \text{ lb}$$

Longitud de la rosca

$$l_{rosca} = 2d + 0,25 = 2(1) + 0,25 = 2,25''$$

$$l_s = l - l_{rosca} = 10 - 2,25 = 7,75''$$

La rigidez del perno será:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E} + \frac{l_s}{A_b E} \quad \text{Ec. (2.18)}$$

k_b : rigidez de perno

A_t : área de tensión del perno seleccionado

A_b : diámetro del perno seleccionado

E : módulo de young del perno que depende del material

$$\frac{1}{k_b} = \frac{0,25}{(0,6057)(30e6)} + \frac{(7,75)(4)}{\pi(1)^2(30e6)}$$

$$k_b = 2,918e6 \text{ lb/in}$$

Rigidez de los materiales a unir:

$$k_m = \frac{\pi(D^2 - d^2) E_m}{4 l} \quad \text{Ec. (2.19)}$$

$$k_m = \frac{\pi(2^2 - 1^2) 30e6}{4 \cdot 7,78} = 9,098e6 \text{ lb/in}$$

Donde:

k_m : Rigidez de los materiales

D = diámetro total del área de contacto

E_m : módulo de young del material a unir

Factor de unión de la junta:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad \text{Ec. (2.20)}$$

$$C = \frac{2,918e6}{2,918e6 + 9,09e6} = 0,2425$$

Porción de la carga P aplicada al perno y al material:

Donde:

P_b : porción de la carga P aplicada al perno

$$\text{Ec. (2.21)}$$

P_m : porción de la carga P aplicada al material

$$P_b = CP$$

$$P_b = (0,2425)(6556,59) = 1589,97 \frac{lb}{in}$$

$$P_m = (1 - C)P$$

$$P_m = (1 - 0,498)6556,59 = 4966,6 \frac{lb}{in}$$

La carga resultante en el perno y en el material después de aplicada la carga:

$$F_b = F_i + P_b \quad \text{Ec. (2.23)}$$

$$F_b = 46336,6 + 1589,97 = 47926,57 \text{ lb}$$

$$F_m = F_i - P_m \quad \text{Ec. (2.24)}$$

$$F_m = 46336,6 - 4966,6 = 41370 \text{ lb/in}$$

El máximo esfuerzo que se produce en el perno es:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad \text{Ec. (2.25)}$$

$$\sigma_b = \frac{47926,7}{0,6057} = 79126,14 \frac{lb}{in^2}$$

Esta es una situación de un esfuerzo uniaxial por lo tanto el esfuerzo principal de von mises es solo el esfuerzo a tensión. Entonces el factor de seguridad contra la fluencia del perno es:

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} \quad \text{Ec. (2.26)}$$

$$N_y = \frac{92000}{79126,14} = 1,16$$

La carga requerida para separar la junta y el factor de seguridad contra la separación de la junta es:

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)} \quad \text{Ec. (2.26)}$$

$$P_0 = \frac{46336,05}{(1 - 0,2425)} = 61169,7 \text{ lb}$$

$$N_{sep} = \frac{P_0}{P} = \frac{61169,7}{6556,59} = 9,32$$

Ahora se realizara el diseño por fatiga, para lo que primero se tendrá que calcular el esfuerzo medio y el esfuerzo alternante con los datos ya obtenidos del diseño estático.

$$\text{Ec. (2.27)}$$

$$F_{alt} = \frac{F_b - F_i}{2}$$

$$F_{alt} = \frac{47926,7 - 46336,05}{2} = 795,83 \text{ lb}$$

$$F_{med} = \frac{F_b + F_i}{2}$$

$$F_{med} = \frac{47926,7 + 46336,05}{2} = 47131,38 \text{ lb}$$

El esfuerzo alternante y el esfuerzo medio serán:

$$\sigma_{alt} = \frac{F_{alt}}{A_t} = \frac{795,83}{0,6057} = 1313,9 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$\sigma_{med} = \frac{F_{med}}{A_t} = \frac{47131,38}{0,6057} = 77813,08 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

El factor de concentración de esfuerzos por fatiga para este diámetro es encontrado con la siguiente ecuación:

$$K_f = 5,7 + 0,6812d \quad \text{Ec. (2.29)}$$

$$K_f = 5,7 + 0,6812(1) = 6,38$$

$$K_{fm} = \frac{S_y - K_f \sigma_{alt}}{|\sigma_{med}|} \quad \text{Ec. (2.30)}$$

$$K_{fm} = \frac{92000 - 6,38(1313,9)}{|77813,08|} = 1,075$$

Por lo tanto el esfuerzo alternante y medio corregido sería:

$$\sigma_{alt} = 6,38(1313,9) = 8382,68 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$\sigma_{med} = 1,075(77813,03) = 83649 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

El esfuerzo de la precarga será:

$$\sigma_i = K_{fm} \frac{F_i}{A_t} \quad \text{Ec. (2.31)}$$

$$\sigma_i = 1,075 \frac{46336,05}{0,6057} = 82237,5 \text{ psi}$$

El esfuerzo de la precarga es:

$$S_e = 0,5S_{ut} = 0,5(120000) = 60000 \text{ psi}$$

$$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{superficie} C_{temp} C_{conf} S_e' \quad \text{Ec. (2.31)}$$

El procedimiento para encontrar los factores no será descrito en el documento para evitar hacer más largo el procedimiento, pero este puede ser revisado en (Norton, 2014).

$$S_e = (0,7)(0,869)(0,9837)(0,814)(1)60000$$

$$S_e = 29225,11psi$$

Entonces el factor de seguridad de la línea de Goodman:

$$N_f = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_e(\sigma_{med} - \sigma_i) + S_{ut}\sigma_a} \quad Ec. (2.32)$$

$$N_f = \frac{29,23(120 - 82,23)}{29,23(83,65 - 82,23) + (120)8,38} = 1,054$$

Aunque el factor de seguridad es un poco bajo, se lo considera aceptable ya que es mayor que 1

2.10. Selección del material aislante

Los aislamientos térmicos más utilizados en tanques son los siguientes

Lana de roca: la lana de roca está hecha con basalto o diabasa, que son rocas resultantes de las erupciones volcánicas.

Fibra de vidrio: por su parte, la fibra de vidrio está formada por finísimos hilos de vidrio fundido entrelazados.

Precio: la lana de roca es de mejor calidad, pero más cara que la fibra de vidrio.

2.10.1. Lana de vidrio o Lana de roca

Lana de roca: se fabrica con materiales reciclables, así que resulta un elemento más adecuado para el medio ambiente. Tiene mejor capacidad de aislamiento y puede entrar en contacto con estufas y chimeneas. En comparación con la fibra de vidrio, la lana de roca no libera fibras ni emisiones nocivas.

Fibra de vidrio: la humedad puede reducir su capacidad aislante y tiene tendencia a atraer a los roedores que buscan un lugar para anidar. Es recomendable no instalar este material cerca de lugares que producen calor. La mayor ventaja de la fibra de vidrio sobre la lana de roca es su precio, ya que es mucho más barata, además es mucho más elástica y compresible (5 veces superior) por lo que facilita su transporte otra

característica importante es que con la misma densidad que la lana de roca esta es más aislante, pero la lana de roca resiste temperaturas más altas.

En resumen tenemos:

Tabla 12. Propiedades de aislantes térmicos

Aislante	Densidad kg/m ³	Conductividad W/m ² °k	Temperatura máxima °C
Lana de vidrio	8-10	0.045	200
Lana de roca	30-50	0.042	750

Debido a que la lana de vidrio solo soporta asta 200C por seguridad y por ser la más aplicada en tanques se utilizara lana de roca.

Para encontrar el espesor adecuado se realizó una simulación con el software Solidworks.

Para dicho análisis fue necesario modelar en 3d tanto el recipiente y el forro que va ser utilizado como aislamiento, dándole a cada uno las propiedades térmicas para el análisis.

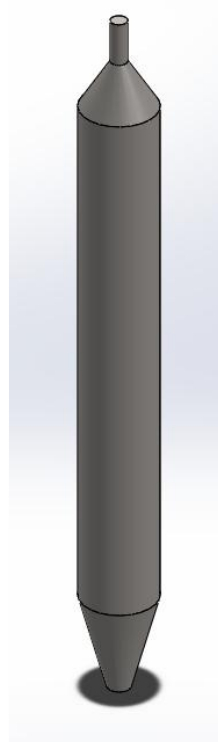


Figura 7. Forma exterior del recipiente

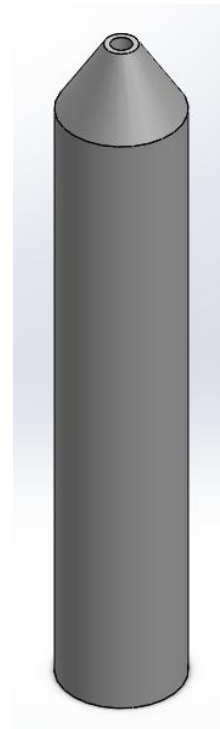


Figura 8. Forro aislante del recipiente

Una vez con las dos piezas en el CAD, realizamos el análisis térmico, para el cual se tomó la temperatura más elevada que se podía dar dentro del extractor la cual es de 180°C, las condiciones de frontera y las propiedades que fueron utilizadas se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Propiedades consideradas para la simulación

Propiedades	Acero AISI 304	Landa de roca
Densidad (kg/m^3)	8000	40
Conductividad térmica $\left(\frac{w}{m * k}\right)$	16	0,042
Espesor(mm)	10	100

También se consideró que la temperatura ambiente era 33°C y que en la parte exterior existía una convección libre debida al aire con un coeficiente convectivo de $6 \frac{w}{m * k}$ (Incropera, 2010).

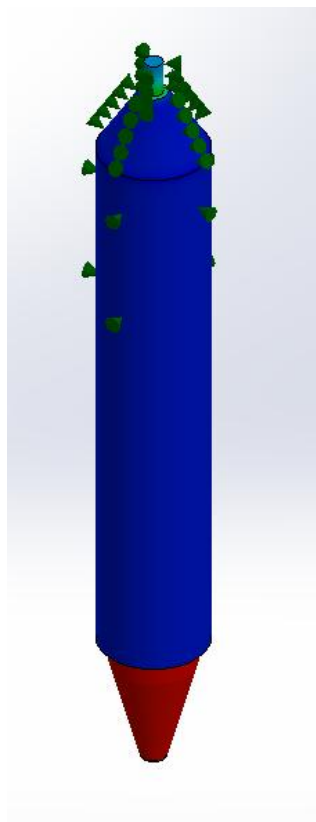


Figura 10. Distribución de temperaturas en el recipiente

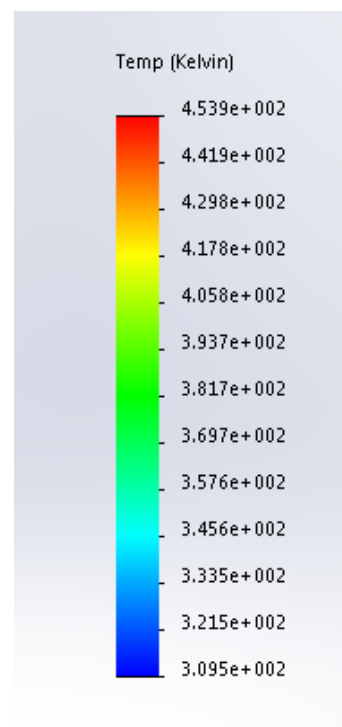


Figura 9. Temperaturas en el recipiente obtenidas de la simulación

De la simulación se obtuvo que la temperatura en el exterior será de 309,5 °K o 36,5 °C. Por lo tanto el espesor de 100mm de lana de roca protegerá el exterior para que la temperatura en el exterior no sea mayor a 40°C, y de esta forma no cause daño a operadores o personas que puedan estar cerca.

2.11. Recubrimiento exterior del recipiente

El recubrimiento exterior será el encargado de proteger el aislamiento así como darle una buena imagen, para este se utilizara el mismo material que para el cuerpo el cual es acero inoxidable AISI 304 pero de 0.5 mm de espesor, todo el cuerpo deberá estar recubierto de este forro excepto la sección cónica inferior y una parte la boquilla superior por donde ingresa el producto.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Resumen de parámetros seleccionados para el sistema de extracción

Como ya se mencionó en capítulos anteriores el sistema actual de extracción de la empresa solubles instantáneos se encuentra en decadencia debido a los más de 40 años de servicio que tiene, debido a esta situación se propuso realizar una serie de adaptaciones para un óptimo funcionamiento, para llevar acabo esto se consideró lo siguiente:

- Selección de material para tuberías y válvulas
- Cálculo de diámetro de la tubería y válvulas
- Cálculo de la caída de presión con la tubería y válvulas seleccionadas
- Selección de válvulas para el nuevo manifold

Tabla 14. Resultados obtenidos para el manifold

Material	Diámetro	Caída de presión	Válvulas
Acero inoxidable AISI 304	1 ¼ (nominal) Ced 40	252,3 psi	De bola
			De globo
			De retención

Con la ecuación obtenida del perfil de presiones y temperaturas se pudo aproximar la presión y temperatura que tendrá el extracto a la salida del séptimo extractor una vez sea instalado, estos valores fueron:

$$T = 87,40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 20,16 \text{ } \textit{psi}$$

3.2. Resumen de cálculos obtenidos para el diseño del percolador.

Para el diseño del percolador de café se siguió la norma ASME sección VIII Div 1 la cual se utiliza para el cálculo y diseño de recipientes sometidos a presión, en este se daban todos los detalles y procedimiento a seguir para un correcto diseño que cumpla con las especificaciones que tengamos, y sobretodo que sea seguro, en el siguiente capítulo se muestra un resumen de los datos más importantes que se obtuvieron para el diseño del recipiente.

3.2.1. Presiones a considerar para el diseño

Tabla 15. Presiones calculadas para el diseño del recipiente

Presiones calculadas (psi)		
Presión de diseño	316	
Presión hidrostática	86,1	
Presión externa	Cilindro	33,85
	Cono superior	194,63
	Cono inferior	141,68
Presión por peso propio	242,18	

Las presiones externas que soportan cada una de las secciones deben ser por lo menos mayor que la presión atmosférica que es 14,7 psi, podemos ver que esto se cumple para las tres secciones, por lo que el recipiente puede soportar vacío total.

3.2.2. Espesores calculados para el recipiente

Luego de realizar todos los cálculos requeridos se encontró el espesor del recipiente en cada una de las secciones.

Tabla 16. Espesores del recipiente calculados para cada sección

Espesor de paredes (mm)	
Cilindro	8,97
Cono superior	8,72
Cono inferior	8,34

Con los cálculos realizados se encontró que el mayor espesor que debería tener el recipiente es de 8,97mm, por lo que para ser conservador se llegó a la conclusión que se debe utilizar planchas de 10mm que es el espesor de los actuales extractores que pasee la fábrica.

3.2.3. Soldaduras a utilizar

Para realizar una correcta soldadura se deberá tener en cuenta el espesor de la placa los materiales que se van a unir y los electrodos que se deben usar.

En el caso de las soldaduras a tope para las planchas de 10 mm se debe realizar 3 cordones de soldadura empezando por el centro con el cordón más pequeño, luego el segundo por la parte exterior que será el más grande, y

por último el tercer cordón por la parte interior. El electrodo a usar debe ser máximo de 4,76 mm, en la figura a continuación se muestra de manera más detallada lo ya mencionado.

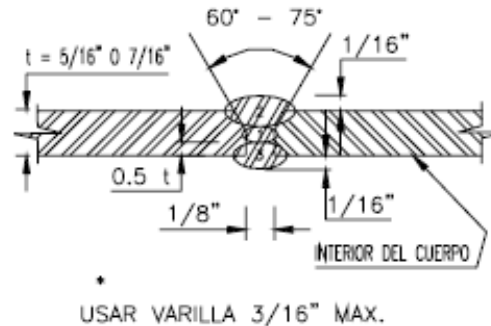


Figura 11. Tipos de soldadura a utilizar en el recipiente

El material de aporte a utilizar deberá ser CTG – 308L cuando los materiales a unir sean acero AISI 304 y para unir el acero inoxidable con acero al carbón se utilizará CTG – 309.

3.2.4. Tubos para cuellos de bridas

Para seleccionar la correcta tubería se debió utilizar la tabla 16 de donde se obtuvo los siguientes datos para cada una de las boquillas

Tabla 17. Dimensiones para tuberías para cuellos de bridas

Diámetro nominal	Cedula	Diámetro interior	Espesor
1"	80	24,2	4,4
2"	80	49,2	5,6
4"	80	97,2	8,7
6"	80	146	11,1

3.2.5. Aislamiento

El aislamiento deberá ser utilizado en toda la parte cilíndrica y cónica superior a excepción de la sección cónica inferior donde no se utilizara puesto que este cono está unido por medio de una brida al resto del cuerpo y para el mantenimiento debe ser desmontado, además se encuentra en un lugar alejado de la parte operativa donde no causa peligro de quemaduras a operadores o personas que se encuentren cerca.

Con la simulación realizada en Solidworks se encontró que con un espesor de 100 mm de lana de roca la temperatura en la superficie exterior será de 36.5°C.

3.3. Análisis de costos

El presente estudio está dirigido a tener un orientación del costo que podría llegar a tener un recipiente de las características descritas en este documento, no se encuentra profundizado ya que este proyecto se basa más en el diseño.

Se tratará de tomar en cuenta todas las herramientas y materiales necesarios para la elaboración de este tipo de recipiente como son planchas, bridas, tuberías, aislamiento y también procesos como rolados de planchas o ensayos que se deban realizar para certificar una correcta soldadura, también se considerara todo el sistema de válvulas y accesorios que deberán ser adquiridos para la instalación de este extractor.

Los siguientes datos fueron obtenidos de empresas dedicadas a la distribución y comercialización de dichos productos (Inoxidable, 2014).

Costos de materiales para manifold

Tabla 18. Costos de nuevo manifold

ESPECIFICACION	MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tubería 1¼ "	Acero inoxidable AISI 304	40	81,20	3248,00
Válvulas de globo	Acero inoxidable AISI 304	14	142,98	2001,72
Válvulas de bola	Acero inoxidable AISI 304	70	41,99	2939,3
Válvulas de retención	Acero inoxidable AISI 304	21	24,00	504,00
Codos	Acero inoxidable AISI 304	98	4,50	441,00
Tés	Acero inoxidable AISI 304	84	5,60	470,4
Cruces	Acero inoxidable AISI 304	21	6,10	128,10

Bridas soldable	Acero inoxidable AISI 304	115	15,6	1794,00
Bomba centrifuga		1	4800,00	4800,00
Total				16326,52

Los precios elevados de las válvulas son debido a el diámetro, el material que en este caso es acero inoxidable AISI 304, la compra de la tubería de considero por tramos de 6 metros que es como se vende en el mercado.

Costo de mano de obra para instalación de manifold

Para el montaje de la nueva las nuevas válvulas y accesorios se utilizaran 4 mecánicos los cuales ganan un aproximado de 28 dólares diarios y se estima que la instalación tomara alrededor de 5 días lo que da un total de:

$$C_{mano\ de\ obra} = (28)(4)(5) = \$560$$

Costo de materiales para extractor

A continuación se da una lista en detalle de cada uno de los materiales y accesorios que serán necesarios para la fabricación del extractor.

Tabla 19. Costos de materiales para construcción de extractor

ESPECIFICACION	MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Plancha de 1,22*2,4*10mm	acero inoxidable 304	6	755,04	4530,24
Brida slip on 4"	Acero al carbón	2	27,64	55,28
Brida soldable 28"	Acero al carbón	1	2890,00	2890,00
Brida slip on 5"	Acero al carbón	1	39,10	39,10
Brida slip on 6"	Acero al carbón	1	44,73	44,73
Tubería de 2"	Acero inoxidable 304Ced 80	1	231,67	231,67
Tapa superior fundida	Acero inoxidable 304	1	350,00	350,00

Tubería de 1"	Acero inoxidable 304 Ced 80	1	102,35	102,35
Sello de seguridad	-	1	350,00	350
Porta sello de seguridad	-	1	1730,00	1730
Aislamiento incluye puesta (100mm)	lana de roca	1	5780,0	5780,00
Tubería de 4"	Acero inoxidable 304 Ced 80	2	735.78	1471,56
Total				17574,93

Costos de mano de obra para fabricación del extractor

Debido al gran tamaño del extractor (aproximadamente 6m) el costo de fabricación será algo elevado al igual que el tiempo de construcción, para esto se asumió que la persona o empresa que vaya a fabricar el recipiente dispone de los equipos necesarios, por lo cual solo se tomara en cuenta el costo por mano de obra como se ve a continuación:

Se requerirán por lo menos tres soldadores calificados los cuales ganan un promedio de 35 dólares diarios y 3 mecánicos que ganan 28, se estima que la construcción por lo menos tomara 50 días laborables, en resumen tenemos lo siguiente.

Tabla 20. Costo por mano de obra para fabricación de extractor

	Personas requeridas	Pago diario	Costo por 50 días
Soldadores	3	35	1750.00
Mecánicos	3	28	1400.00
Total			3150.00

Lo que da un total de \$3150 en costos por manos de obra.

Costo total por planta de extracción nueva con extractor adicional

Sumando los valores antes mostrados obtenemos:

Tabla 21. Costo total por proyecto

Descripción	Costo
Manifold	16326,52
Mano de obra Manifold	560.00
Total en Manifold	16385,52
Extractor	17574,93
Mano de obra extractor	3150.00
Total por extractor	20724,93
Total	37107,45

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La realización de este trabajo ayudo a dar una alternativa de solución a un problema que es común en nuestro país, ya que existen muchas industrias que trabajan con equipos obsoletos lo que ocasiona serios inconvenientes, para seleccionar los diferentes tipos de equipos y accesorios, se debió realizar un estudio para comprender el proceso que se realizaba y con esto se planteó una serie de alternativas de las cuales según requerimientos, precio y experiencia del proceso se seleccionó la más adecuada.

Por otra parte se realizó el diseño del percolador de café siguiendo la norma ASME sección VIII div 1 para diseño y cálculo de recipientes a presión, se calculó todas las presiones para el diseño, los espesores mínimos en cada una de las paredes y los materiales que deben utilizarse. También se calculó el costo que tendría fabricar un recipiente de este tipo en nuestro país puesto que los originales son importados de Dinamarca.

4.1. Conclusiones

- Para llevar a cabo la evaluación del proceso de preparación de extracto de café, se basó en el estudio de los factores que intervienen en el proceso de extracción actual, luego en base a estos factores se realizó el estudio y cálculos necesarios para la correcta selección de equipos que cumplan con las condiciones del proceso.
- El costo que tendría importar el extractor tomando en cuenta todos los gastos por envío y aduana es aproximadamente \$57000.00 lo que es muy superior a \$20724,93 que fue el valor que se presupuestó para su construcción con una diferencia de \$36275,07.
- No se consideró el diseño de la parte cilíndrica superior que es por donde ingresa el café, ya que debido a que su diámetro es bastante menor en comparación a los demás, la presión que soporta es bastante elevada y el espesor que resulta de los

cálculos muy pequeño. Para la construcción se deberá utilizar el espesor de la sección que sea el mayor con el fin de ser conservador y a su vez tener mayor facilidad en la soldadura y que no haya concentradores de esfuerzos debido a los cambios de sección.

- Para exista un incremento de la producción con la instalación del nuevo percolador de café los tiempos de operación deberán reducirse, para que en el mismo tiempo que el extracto pasaba por los 6 extractores ahora pase por los 7, si esto no se da lo único que incrementara será el rendimiento puesto que con la misma materia prima se obtendrá mayor cantidad de solidos solubles.
- Debido a que los espesores de las planchas vienen estandarizados se deberá utilizar un espesor de 10 mm para todo el cuerpo, ya que este es el valor que más se acerca al calculado y de esta forma también somos conservadores.
- Con la instalación del nuevo percolador el proceso será más flexible ya que si se da algún de estos falla el rendimiento no se verá tan afectado.
- Al incrementar la tubería del manifold las caídas de presión debidas a fricción en tuberías, perdidas menores y válvulas se verán reducidas. Esto también es debido ya que la velocidad será menor que en una tubería de 1" como lo era en el antiguo manifold.
- Al realizar el estudio del costo que tendría el percolador de café no se consideró la instalación ni el costo por montaje.

4.2. Recomendaciones

- A pesar de que se utiliza tubería y válvulas de acero inoxidable, debido a que el café es bastante corrosivo y provoca serias incrustaciones, se le debe dar mantenimiento al manifold por lo menos una vez al mes.
- Debido a que este proceso está funcionando casi las 24 horas del día se recomienda tener una bomba adicional en caso de que la otra falle y de esta forma no parar la producción.
- Se debe tener siempre equipos de medición en buen estado para de esta manera llevar un mejor control y estar al tanto de cualquier inconveniente que pueda darse.
- Se recomienda que al cono inferior del extractor se le realice un pulido sumamente fino para que el bagazo de café no se adhiera a las paredes del recipiente cuando se lo descargue, provocando que se tapen los filtros, lo que causa serios inconvenientes.
- Es recomendable que se tenga otro juego de válvulas como repuesto, ya que en el momento que alguna falle se la puede cambiar inmediatamente, lo que permite reparar la válvula con problemas sin afectar el proceso por un tiempo prolongado.
- La mayor parte del cuerpo es soldado por lo que se deben radiografiar las soldaduras para certificar que haya una correcta unión.
- El montaje del aislamiento debería realizárselo en la fábrica después de ser montado para evitar que este sufra algún tipo de deterioro debido al transporte.
- Para el proceso de soldadura del recipiente se deben tener soldadores calificados

Bibliografía

- Alarcon, L. V. (2012). *Intercambiadores de calor de tubo y coraza*. Santiago.
- ASME. (2010). *Rules for construction of pressure vessels*.
- Bonet. (3 de 10 de 2010). <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>. Obtenido de <http://www.bonnet.es>
- Crane. (1989). *Flujo de fluidos, en valvulas y accesorios*. 53500 Naucalpan: Mc Graw Hill.
- Incropera, F. (2010). *Funfamenteos de transferencia de calor*. New York: MacGrau hill.
- Inoxidable. (2014 de 9 de 2014). <http://www.inoxidable.com/>. Obtenido de http://www.inoxidable.com/electrodos_seleccion.htm
- Leon, J. M. (2001). *Diseño y Calculo de recipientes a presion*. Mexico.
- Ludwig, E. (1965). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. Gulf Publishing Company.
- Mapfre. (27 de Agosto de 2014). <http://www.hogar.mapfre.es>. Obtenido de <http://www.hogar.mapfre.es/bricolaje/albanileria/5246/lana-de-roca-fibra-de-vidrio-normalización,1.e>
- I. e. (2001). *Requisitos generales de diseño: peligro sismico, espectros de diseño y requisitos minimos de calculos para diseño sismoresistente*. Quito-Ecuador.
- Norton, R. L. (2014). *Machine Design and Integral Aproach*. Massachusetts: Pearson.
- Proecuador, i. d. (2014). <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/cafe/>.
- Quiroz, N. M. (4 de julio de 2008). <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/usoyclasificvalvas/usoyclasifvalvas.html>. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.com>
- Rase, H. S. (1973). *Diseño de tuberias para plantas de proceso*. Madrid: Blume.
- Salas, U. (23 de January de 2016). http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_29.htm. Obtenido de <http://ocwus.us.es/>
- todoexperto. (1 de Noviembre de 2012). <http://www.todoexpertos.com>. Obtenido de <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/arquitectura/respuestas/ca7fa41nwkdh1/aislamiento-de-poco-grosor-para-cubierta-plana-transitable>
- Vemacero. (s.f.). *Dimensiones estandar para tuberias* . Obtenido de <http://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>

APENDICE A. METODOLOGIA DE DISEÑO

METODOLOGÍA DE DISEÑO

EVALUACIÓN Y DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PERCOLADOR DE CAFE PARA LA PREPARACIÓN DEL EXTRACTO DE CAFÉ

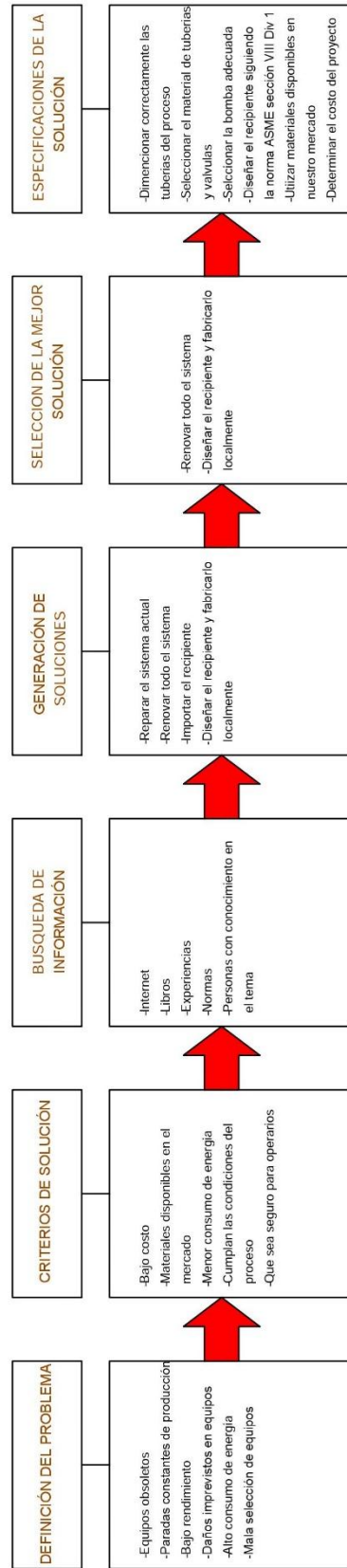


Figura 12. Metodología de diseño a seguir

APENDICE B. BALANCE DE MASA EN UN EXTRACTOR DE CAFE

Para realizar el balance de masa es necesario considerar todos los productos que entran y salen del extractor en el tiempo en que se da un batch de extracción. Los componentes a la entrada serán el agua caliente y el café tostado y molido, y a la salida tendremos extracto de café y bagazo de café.

De manera más detallada tendríamos:

Tabla 22. Elementos en un extractor de café

COMPONENTES EN LA ENTRADA			COMPONENTES A LA SALIDA			
Agua de alimentación	Café tostado y molido		Extracto de café		Bagazo	
Agua	Sólidos solubles	Café agotado	Agua	Sólidos solubles	agua	Café Agotado

En la tabla podemos observar los componentes que se tiene a la entrada y a la salida, así como cada una de las sustancias en que se dividen.

A continuación se muestra un cálculo demostrativo con los siguientes datos:

Tabla 23. Datos para el balance de masa

Descripción	Datos
Café tostado y molido	540 kg
Densidad de T. molido	270kg/m ³
Concentración de Sólidos solubles	16,66%
Factor de trabajo	2,7
Extracto de café	1458 lt

Nota: se asumirá que la densidad del extracto es aproximadamente la misma que la del agua por lo tanto 1lt = 1kg

Factor de trabajo: es la relación entre el café tostado y molido que se carga (540 kg) con el extracto que se obtiene (1450 lt) y suele estar alrededor de 2,6 – 2,7

La ecuación que representa el balance de masa para un batch de extracción sería:

$$m_{in} = m_{out}$$

$$agua + cafe TM = extracto de cafe + bagazo$$

Se conoce que la concentración de sólidos solubles en el extracto es del 16,66% entonces:

$$\text{extracto de cafe} = AE + SS$$

$$1431 \text{ lt} = AE + (1431 * 0.1666)$$

$$AE = 1193 \text{ lt}$$

$$SS = 1431 - 1193$$

$$SS = 238 \text{ kg}$$

$$\text{cafe TM} = SS + CA$$

$$530 \text{ kg} = 238 + CA$$

$$CA = 292 \text{ kg}$$

Se conoce que el bagazo es 80% agua por lo tanto el 20% será café agotado

$$AB = 292 * \frac{80}{20}$$

$$AB = 1168 \text{ kg}$$

$$\text{bagazo} = CA + AB$$

$$\text{bagazo} = 292 + 1168$$

$$\text{bagazo} = 1460 \text{ kg}$$

Reemplazando en ecuación ##:

$$\text{agua} + 530 = 1431 + 1460$$

$$\text{agua} = 2361 \text{ lt}$$

Donde:

AC: agua caliente

SS: sólidos solubles

CA: café agotado

AE: agua en extracto

AB: agua en bagazo

APENDICE C: ENSAYOS REALIZADOS AL ACERO AISI 304 PARA CERTIFICAR SUS PROPIEDADES MECANICAS

1. MUESTRA: Una probeta de acero inoxidable AISI 304 para ensayo de tracción.
 2. GENERALIDADES: De acuerdo con el solicitante, las características del material son las siguientes:

- Material: Acero inoxidable AISI 304
- Espesor: 10 mm

3. ENSAYO DE TRACCIÓN En la tabla 21 se indican los valores mínimos de límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación para el material AISI 304 establecidos en la norma ASTM A-240

Tabla 24. Propiedades del acero AISI 304 según la norma ASTM

Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
ksi	MPa	ksi	MPa	
30	205	75	515	40

En la tabla 22 se muestran los resultados de los ensayos de tracción realizados.

Tabla 25. Resultados del ensayo de tracción

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
T1	14,06	9,81	21.783	96.896	66,23	456,63	101,89	702,51	50,40

Como se ve en esta tabla la muestra pasa con creces los requerimientos mínimos para un acero AISI 304.

APENDICE D: DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

BOQUILLA.- Orificio practicado en un tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridadas o roscadas.

BRIDA.- Accesorio para acoplamiento de tuberías, que facilita el armado y desarmándole las mismas.

CARGA HIDROSTÁTICA.- La presión ejercida por un líquido en reposo.

CARGA POR PESO PROPIO.- La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.

CARGA VIVA.- La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas y/o objetos en tránsito, etc.

CÓDIGO.- Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

CORROSIÓN.- Desgaste no deseado, originado por la reacción química entre el fluido contenido y/o procesado y el material de construcción del equipo en contacto con el mismo.

EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS.- Valor numérico dado por el Código o Estándar correspondiente (Grado de Confiabilidad).

ESTÁNDAR.- Sugerencias para la fabricación y diseño, originadas por la experiencia.

NORMA.- Conjunto de reglas para el dimensionamiento y cálculo de accesorios.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA.- Es la producida por el peso del aire y su valor depende de la altura del sitio indicado sobre el nivel del mar.

PRESIÓN DE DISEÑO.- Es la presión manométrica considerada para efectuar los cálculos.

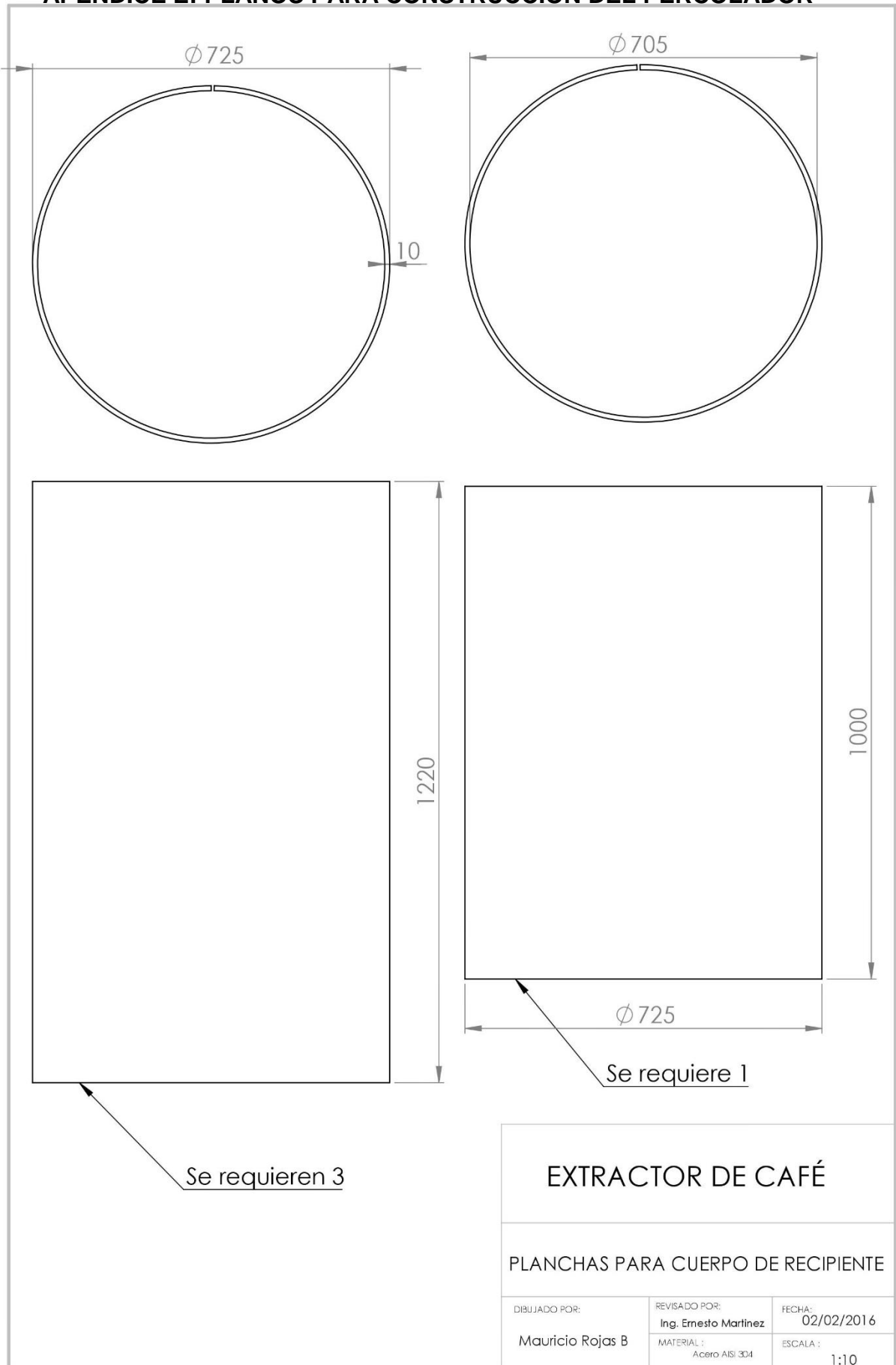
PRESIÓN DE OPERACIÓN.- Presión manométrica que estará sometido el tanque en condiciones normales de trabajo.

PRESIÓN DE PRUEBA.- Valor de la presión manométrica que sirva para realizar la prueba hidrostática o neumática.

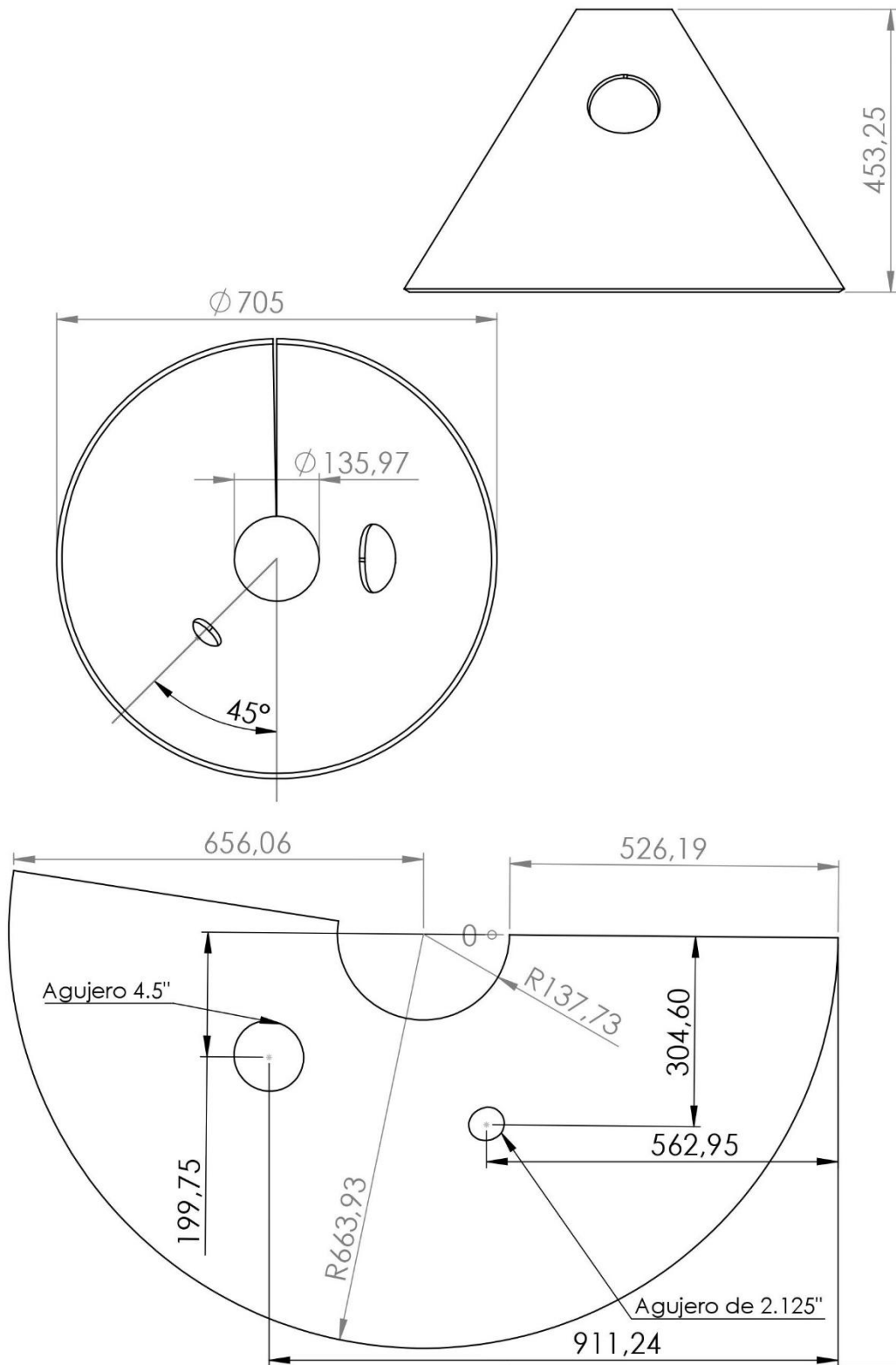
RECIPIENTE.- Depósito cerrado que aloja un fluido a una presión manométrica diferente a la atmosférica, ya sea positiva o negativa.

TANQUE.- Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.

APENDICE E: PLANOS PARA CONSTRUCCION DEL PERCOLADOR



Plano 1. Planchas para sección cilíndrica



EXTRACTOR DE CAFÉ

Desarrollo para cono superior

DIBUJADO POR:

Mauricio Rojas B

REVISADO POR:

Ing. Ernesto Martinez

MATERIAL:

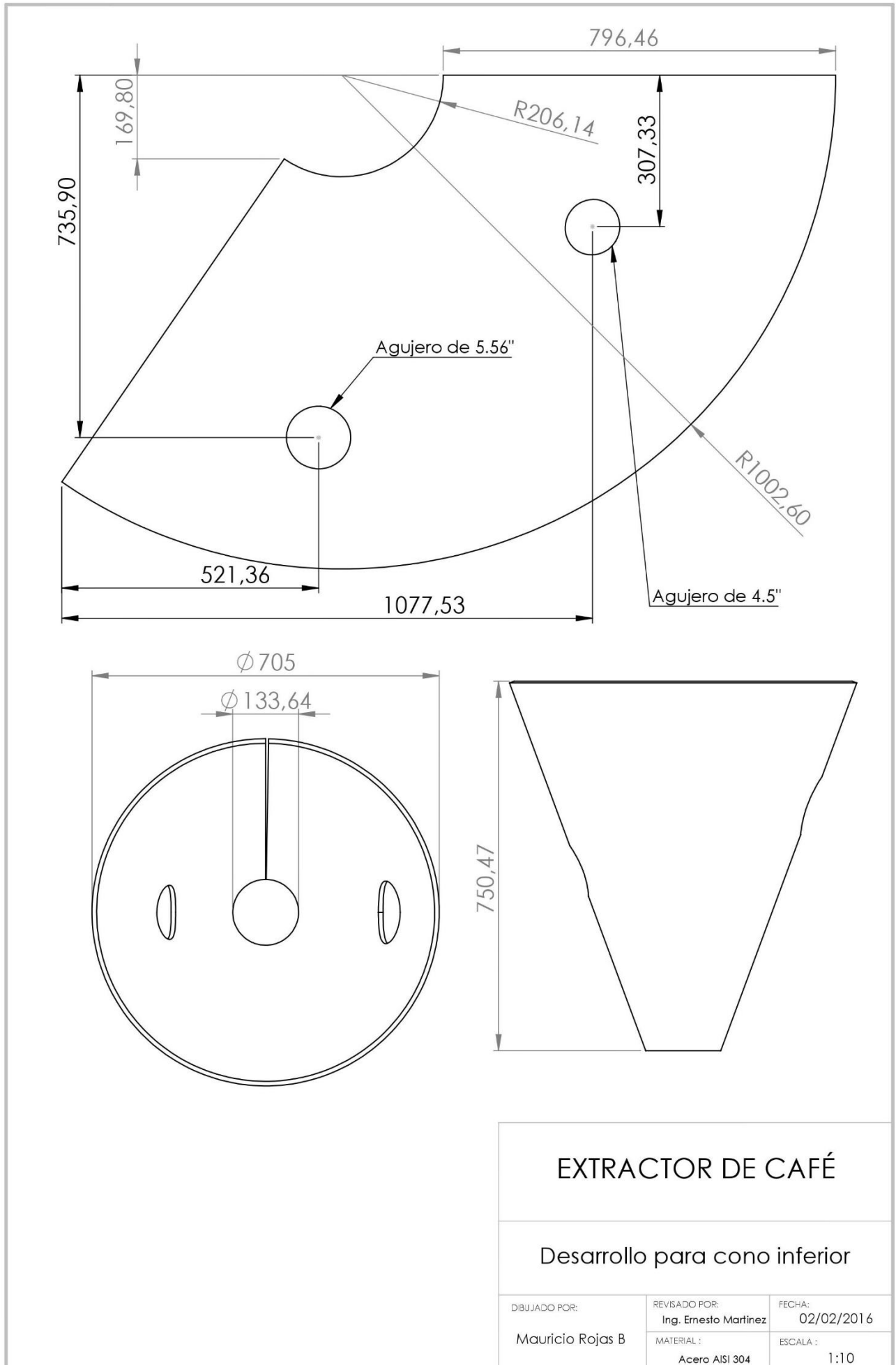
Acero AISI 304

FECHA:

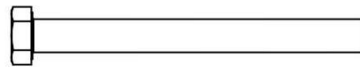
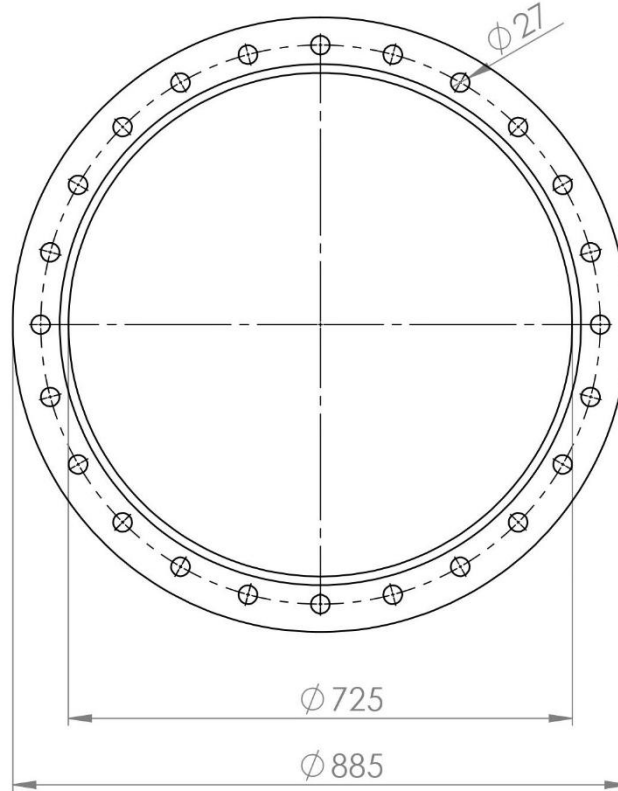
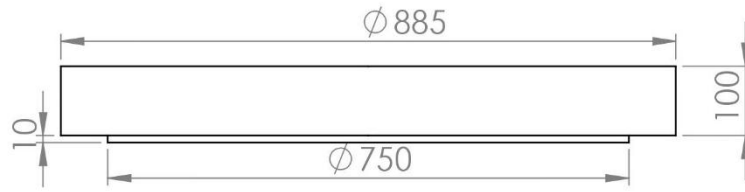
02/02/2016

ESCALA:

1:10



Plano 3. Desarrollo para cono inferior



Perno UNF 1"X10" Grado 5.2

EXTRACTOR DE CAFÉ

Brida union inferior y perno

DIBUJADO POR:

Mauricio Rojas B

REVISADO POR:

Ing. Ernesto Martinez

FECHA:

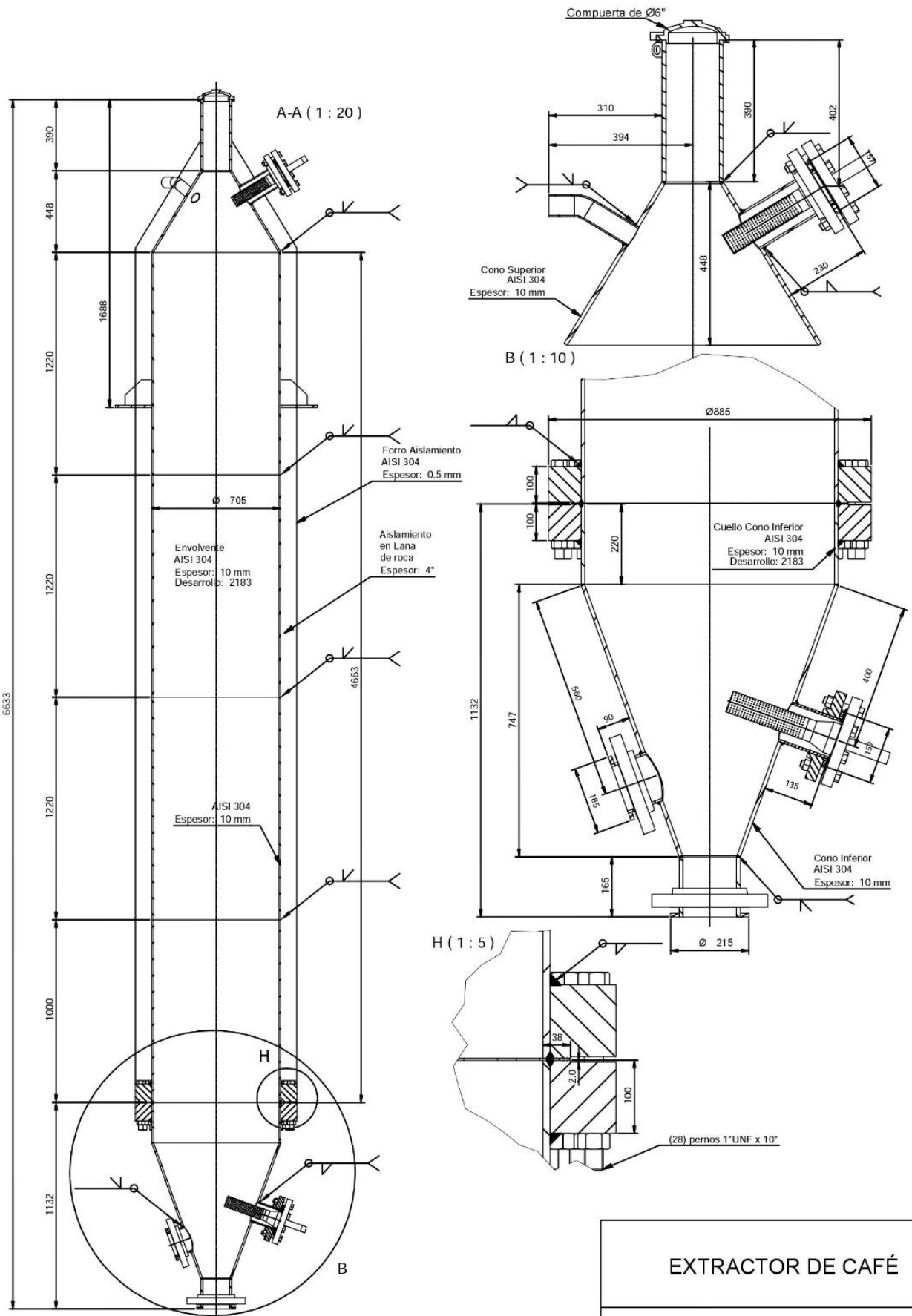
02/02/2016

MATERIAL:

Acero AISI 1040

ESCALA:

1:10



EXTRACTOR DE CAFÉ

CONJUNTO EXTRACTOR

DIBUJADO POR:

Mauricio Rojas B

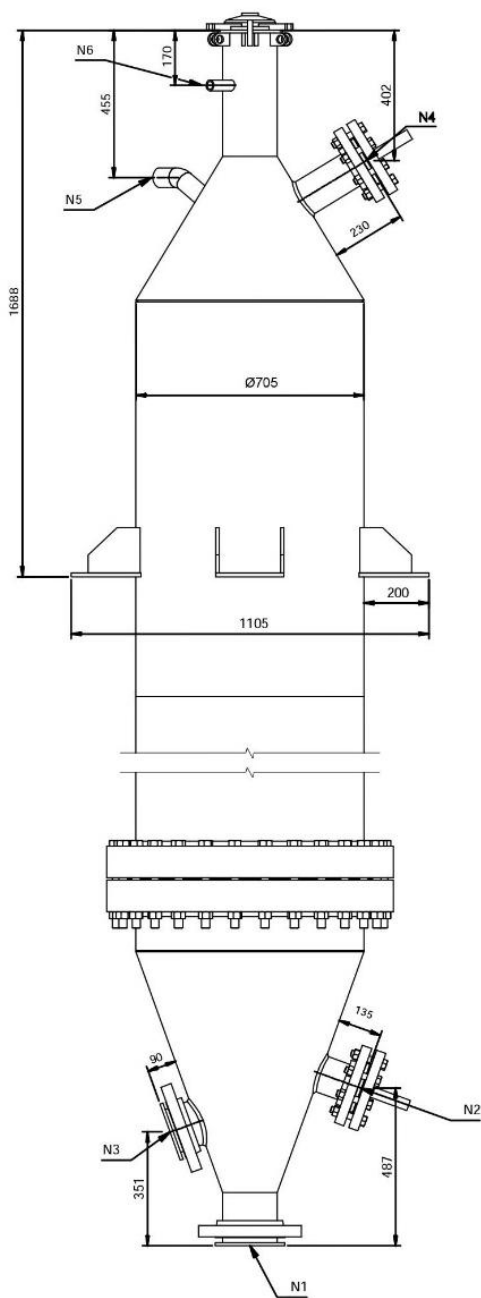
REVISADO POR:

Ing. Ernesto Martínez

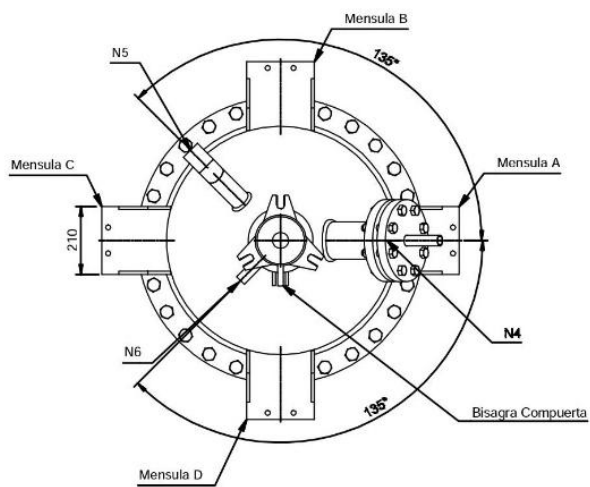
FECHA:

07/02/2016

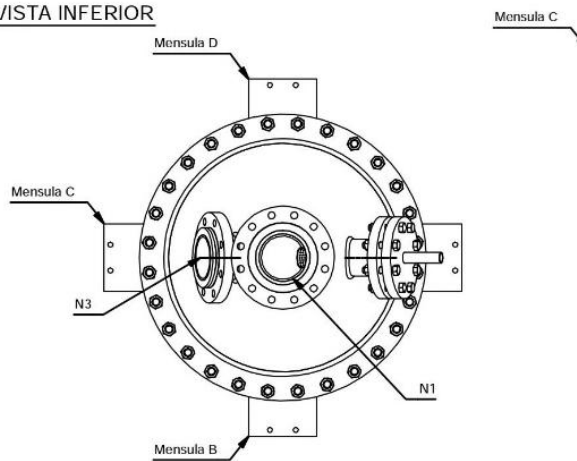
VISTA SUPERIOR



DESARROLLO



VISTA INFERIOR



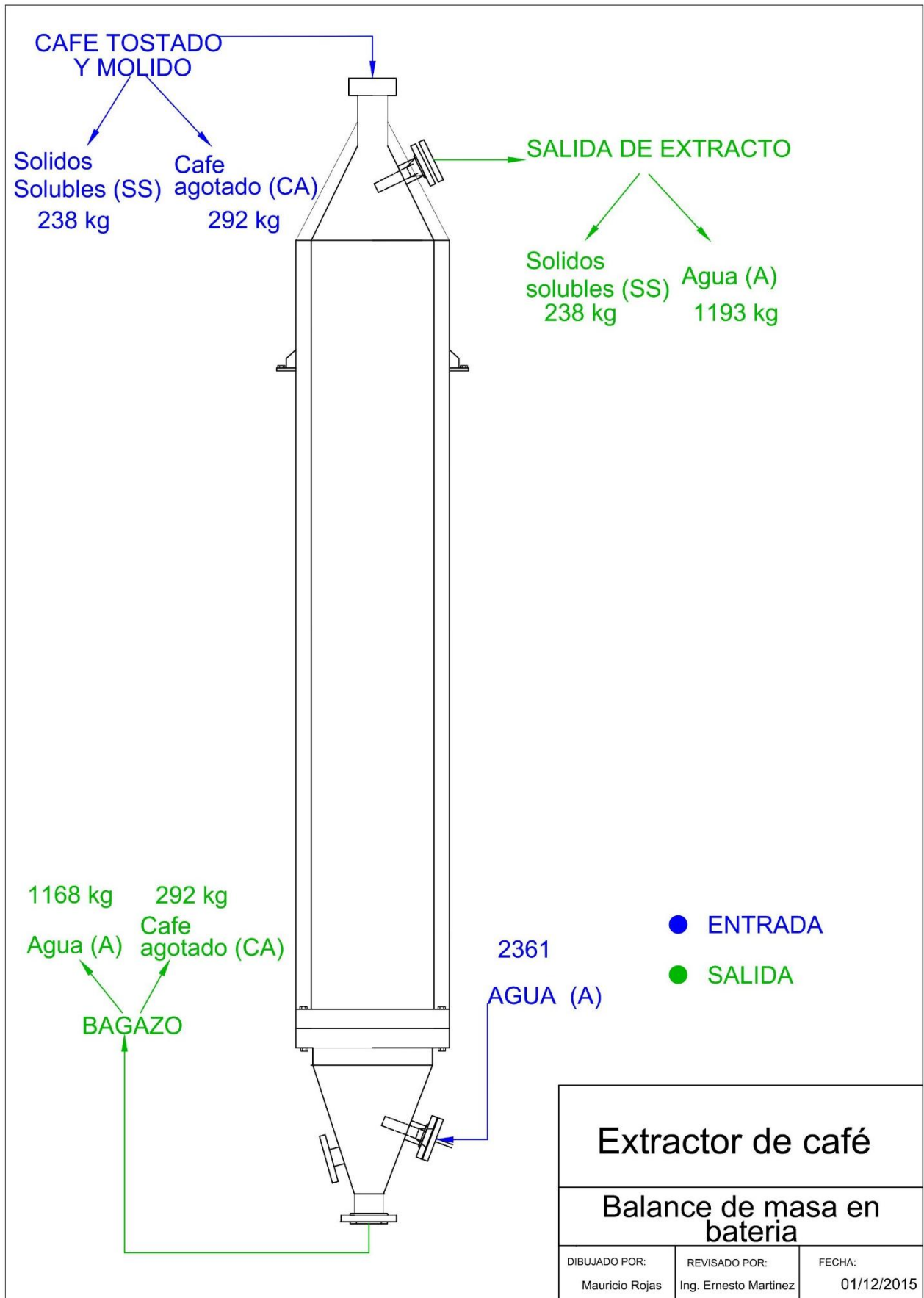
CONEXIONES		
No	Diametro	Tipo
N1	6"	Collarin con brida Slip-On 6" 300#
N2	4"	Collarin con brida Slip-On 4" 300#
N3	5"	Collarin con brida Slip-On 5" 300#
N4	4"	Collarin con brida Slip-On 4" 300#
N5	2"	
N6	1"	

EXTRACTOR DE CAFÉ

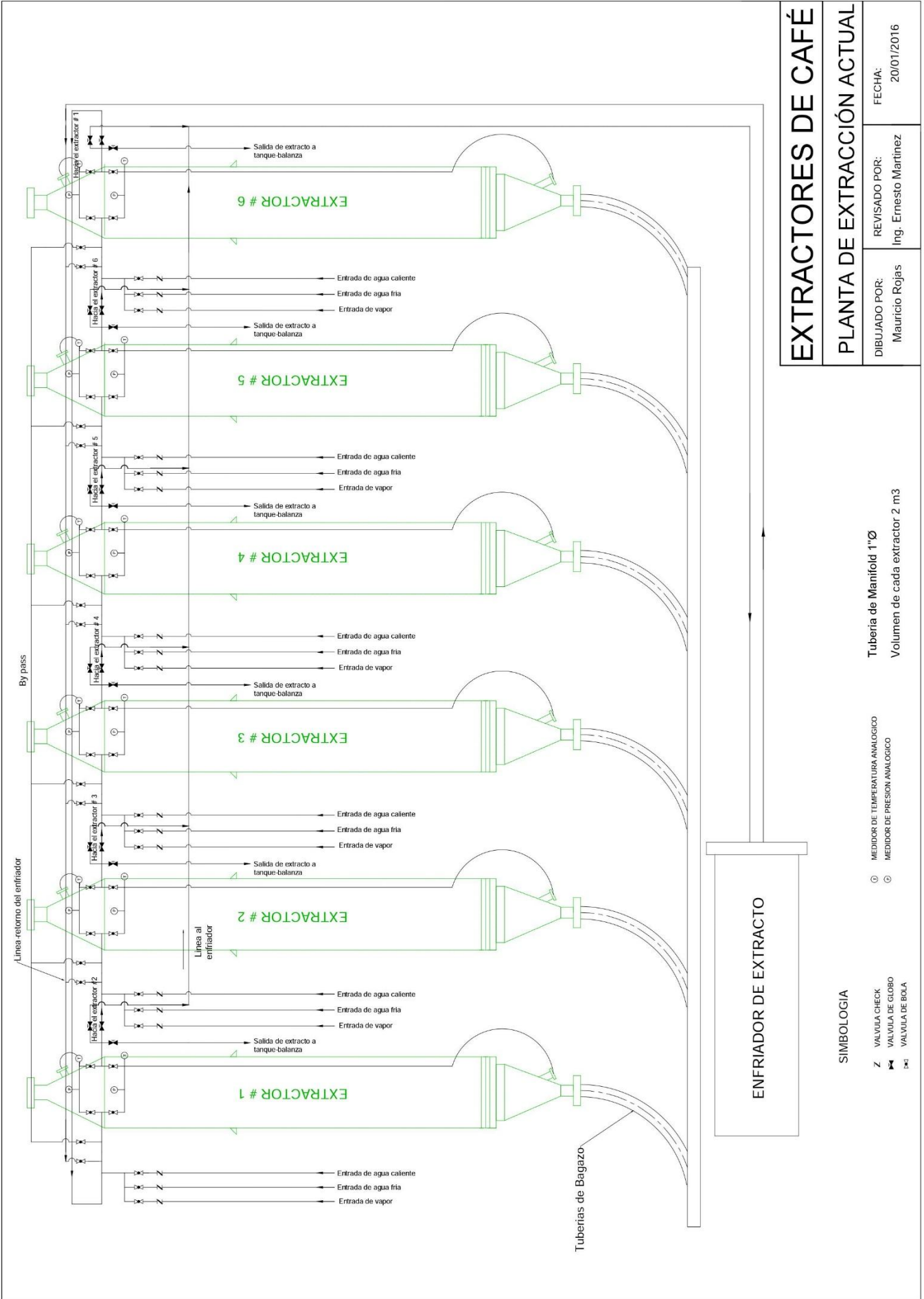
UNIONES EN EXTRACTOR

DIBUJADO POR: Mauricio Rojas B	REVISADO POR: Ing. Ernesto Martinez	FECHA: 07/02/2016
-----------------------------------	--	----------------------

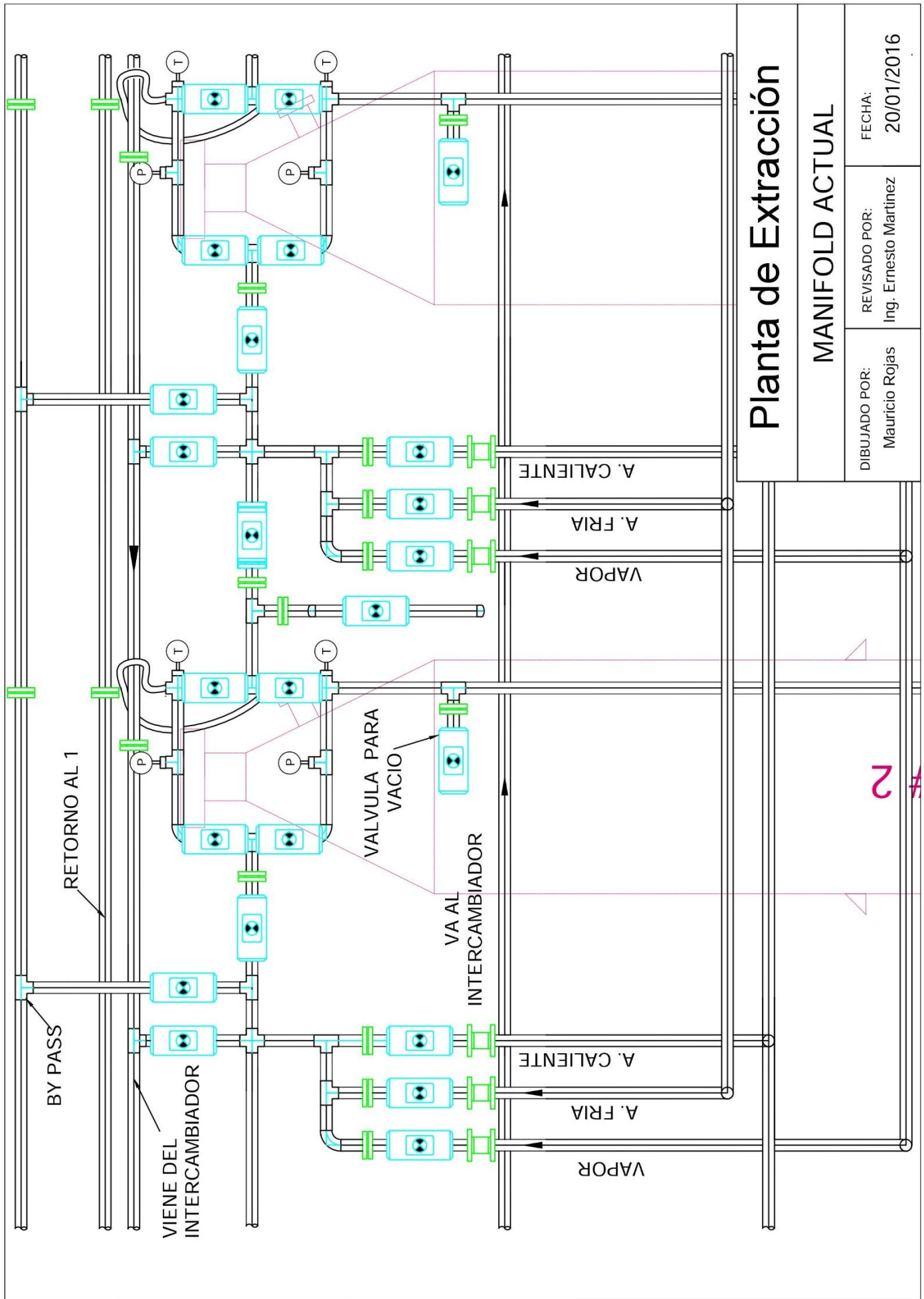
APENDICE D: PLANOS ESQUEMATICOS SOBRE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN



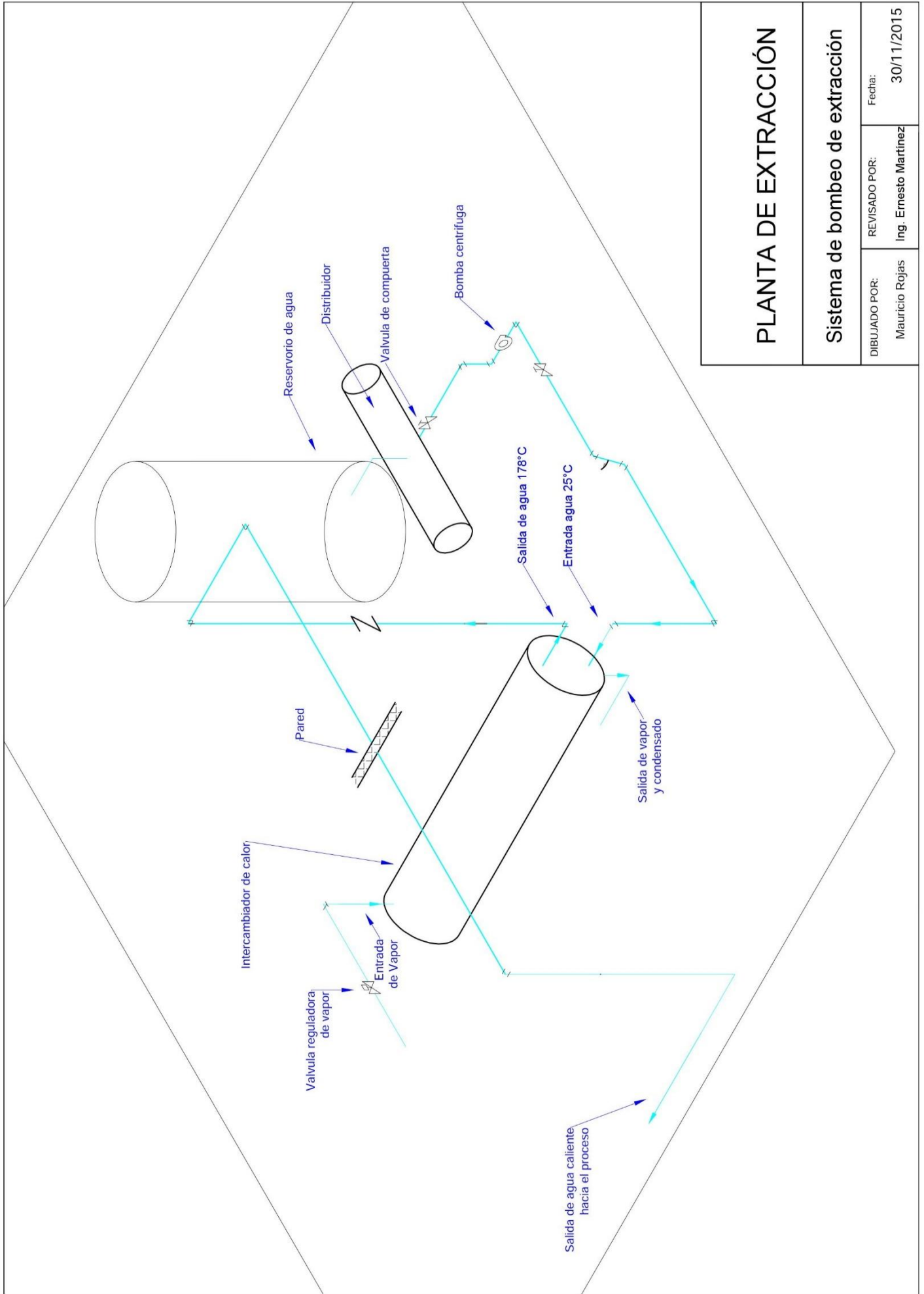
Plano 7. Balance de masa en extractor de café



Plano 8. Planta de extracción actual

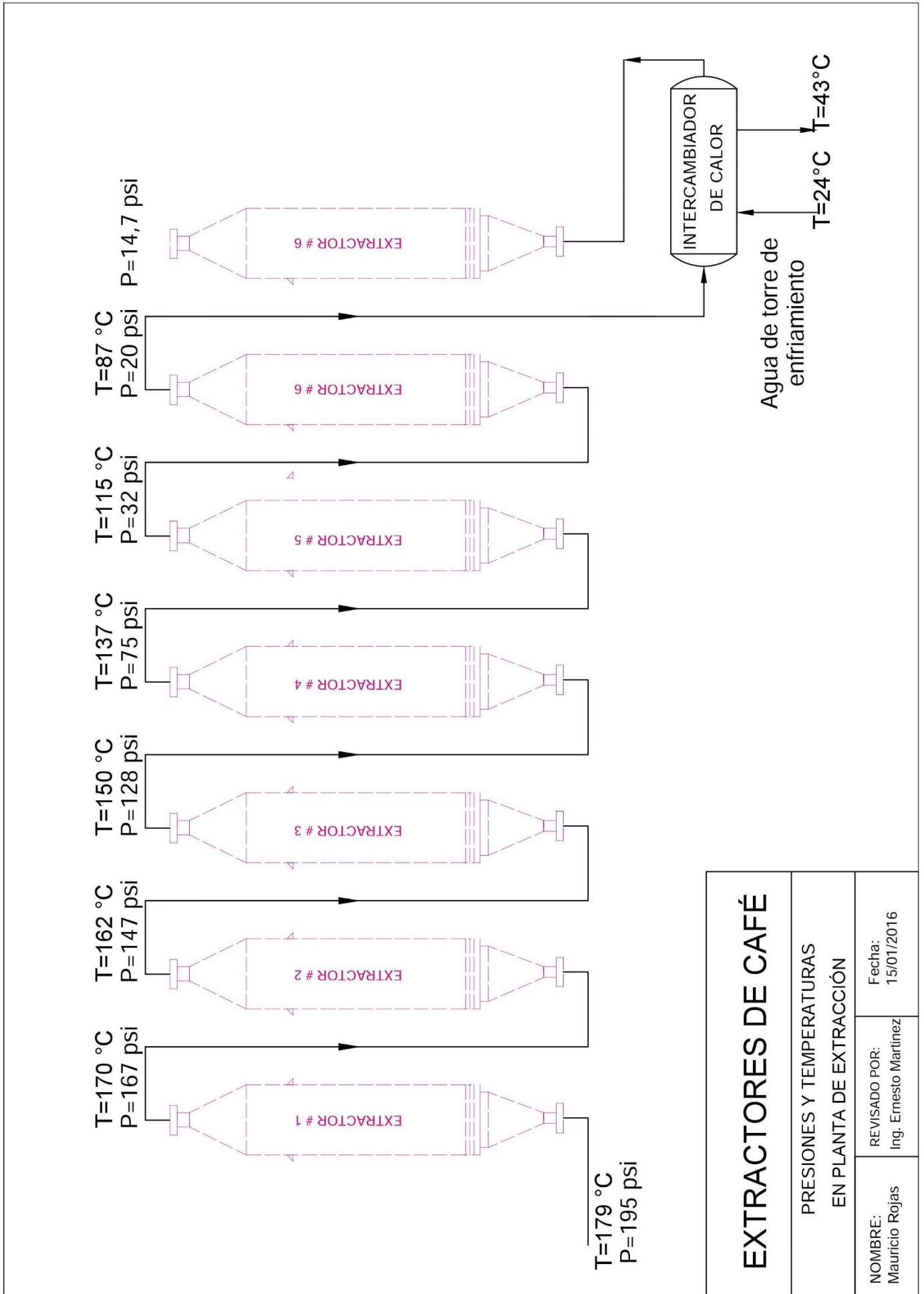


Plano 9. Manifold de la planta de extracción



PLANTA DE EXTRACCIÓN		
Sistema de bombeo de extracción		
DIBUJADO POR: Mauricio Rojas	REVISADO POR: Ing. Ernesto Martínez	Fecha: 30/11/2015

Plano 10. Sistema de bombeo para la planta de extracción



EXTRACTORES DE CAFÉ		
PRESIONES Y TEMPERATURAS EN PLANTA DE EXTRACCIÓN		
NOMBRE: Mauricio Rojas	REVISADO POR: Ing. Ernesto Martinez	Fecha: 15/01/2016

Plano 11. Presiones y temperaturas en el proceso de extracción

APENDICE E: CURVAS Y GRAFICAS UTILIZADAS PARA LOS CALCULOS

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88,9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
4	100	4.500	114,3	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	2800	197	2800	197
				0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197

Figura 13. Dimensiones estándares para tuberías

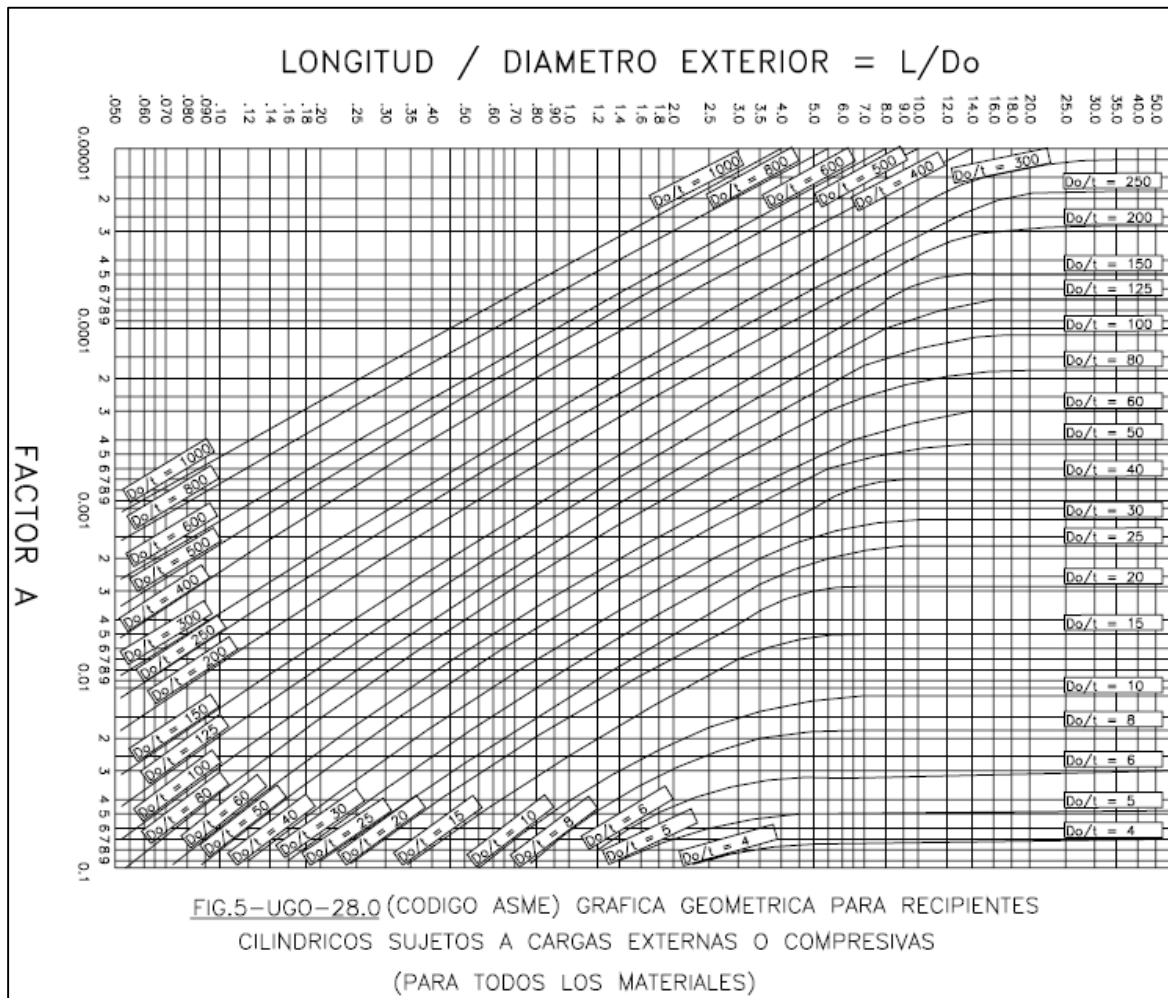


Figura 14. Relación longitud-diámetro-espesor para recipiente cilíndricos sujetos a cargas externas (ASME, 2010)

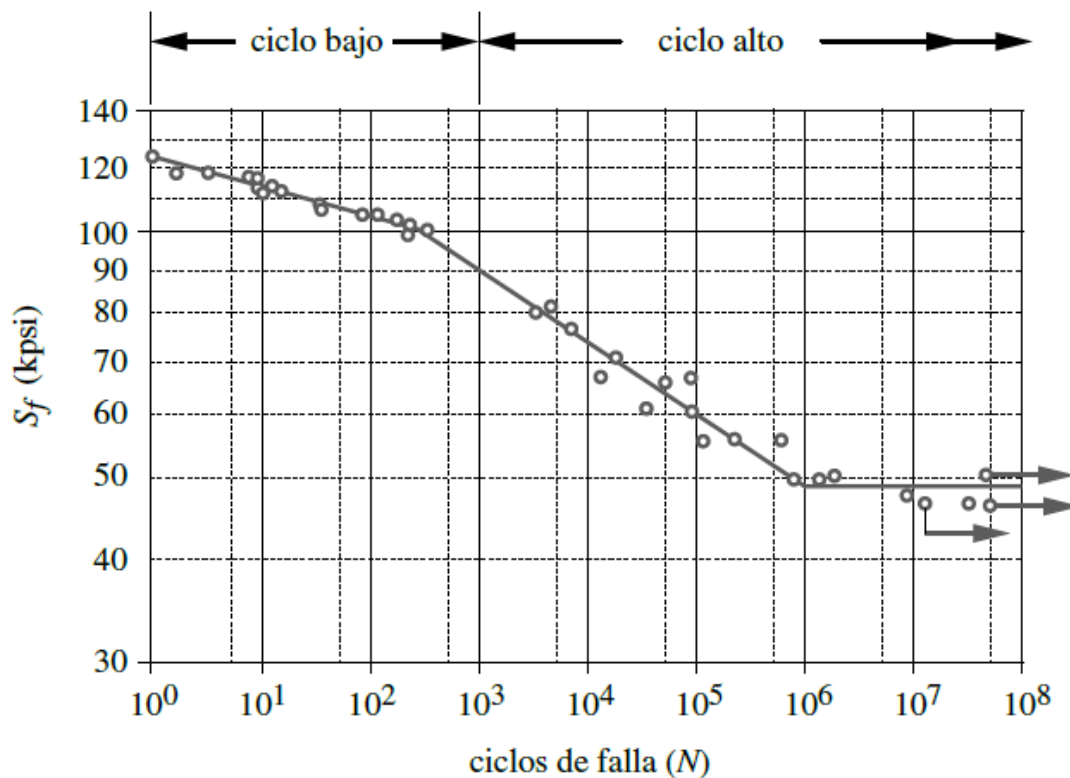


Figura 15. Curva Sf-N, ciclos de falla vs esfuerzo a la fluencia. (Norton, 2014)

S: ESFUERZO PERMISIBLE

ESFUERZO PERMITIDO EN EL MATERIAL (S)
SEGÚN TEMPERATURA DE DISEÑO (en psi)
(Tabla UCS-23)

MATERIAL	TEMPERATURA (°F)			
	-20 a 500	700	900	1000
ASTM-A36	16.600	15.600	-	-
ASTM-A283 C	15.700	-	-	-
ASTM-A285 C	15.700	14.300	5.900	-
ASTM-A516 Gr. 70	20.000	18.100	6.700	2.500

MATERIAL	-20 a 200	300	600	1000
AISI-304	20.000	18.900	16.600	10.100
AISI-316	20.000	20.000	17.000	11.100

Figura 16. Esfuerzo de fluencia de diferentes materiales en función de la temperatura de diseño. (ASME, 2010)

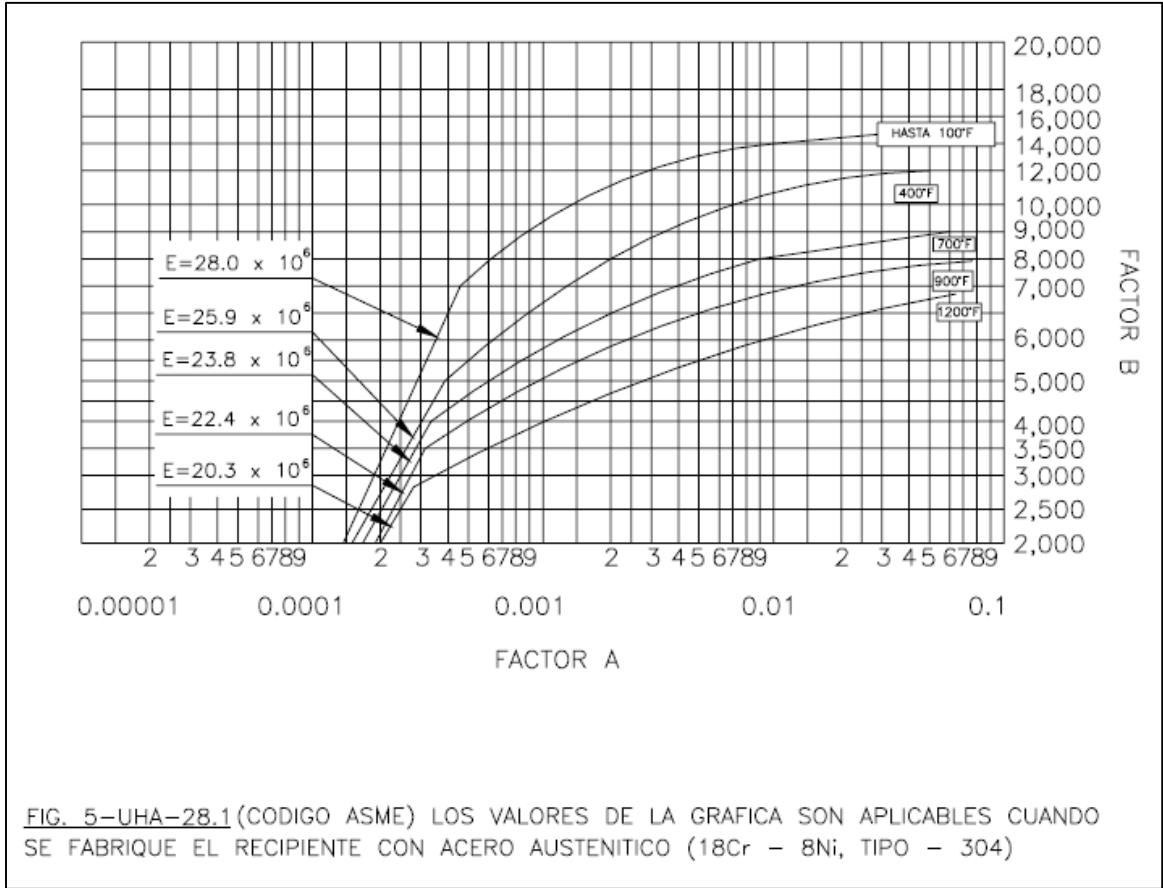
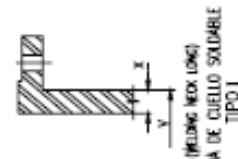
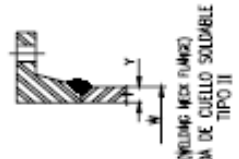



FIG. 5-UHA-28.1 (CODIGO ASME) LOS VALORES DE LA GRAFICA SON APLICABLES CUANDO SE FABRIQUE EL RECIPIENTE CON ACERO AUSTENITICO (18Cr - 8Ni, TIPO - 304)

Figura 17. Valores de factor B en función del factor A, previamente obtenido en función del esfuerzo de fluencia del material (ASME, 2010)

CUELLOS RECOMENDABLES EN BOQUILLAS

NOTAS:
1.- LOS CUELLOS DE LA PLACA SIN DE SOLDADURA A TIPO EN AMBOS LADOS
2.- TODOS LOS TUBOS PARA CUELLOS SERÁN SIN COSTURA
3.- AUTÓNOMOS EN VALORES

CUELLO TIPO	10.5 kg/cm ² = 150 LB/pulg ² TIPOS II Y IV										21.1 kg/cm ² = 300 LB/pulg ² TIPO I										21.1 kg/cm ² = 300 LB/pulg ² TIPOS II Y IV									
	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5						
DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI							
1"	25.4	14.3	38.1	17.8	30.5	15.2	40.6	19.0	33.0	16.5	42.9	20.3	34.3	17.8	45.7	21.6	37.6	19.0	48.2	22.9	40.6	20.3	50.8							
2"	50.8	28.6	76.2	35.6	57.1	28.6	81.3	41.3	63.5	35.6	91.4	48.2	71.4	41.3	101.5	55.1	81.3	48.2	111.6	63.5	91.4	48.2	121.7							
3"	76.2	42.9	114.3	53.5	85.4	42.9	121.7	63.5	91.4	63.5	138.8	76.2	101.5	76.2	151.6	85.4	121.7	76.2	161.7	91.4	138.8	76.2	171.8							
4"	101.5	57.1	148.9	71.4	114.3	57.1	161.7	85.4	121.7	114.3	171.8	101.5	138.8	101.5	191.9	114.3	151.6	114.3	202.0	121.7	171.8	114.3	212.1							
6"	151.6	85.4	212.1	114.3	171.8	85.4	231.8	138.8	191.9	171.8	261.9	151.6	212.1	151.6	302.0	171.8	231.8	171.8	322.1	191.9	261.9	171.8	342.2							
8"	202.0	114.3	281.3	151.6	231.8	114.3	302.0	171.8	261.9	231.8	342.2	202.0	281.3	202.0	392.3	231.8	302.0	231.8	402.4	261.9	342.2	231.8	422.5							
10"	252.1	148.9	351.6	191.9	281.3	148.9	372.0	212.1	322.1	281.3	402.4	252.1	331.7	252.1	442.5	281.3	351.6	281.3	462.6	322.1	402.4	281.3	482.7							
12"	302.2	181.3	421.9	231.8	342.2	181.3	442.5	261.9	372.0	342.2	482.7	302.2	392.3	302.2	512.6	342.2	421.9	342.2	532.7	372.0	462.6	342.2	552.8							
14"	352.3	212.1	491.8	271.4	392.3	212.1	512.6	302.2	421.9	392.3	532.7	352.3	442.5	352.3	562.8	392.3	471.8	392.3	592.9	421.9	502.5	392.3	612.6							
16"	402.4	242.5	561.7	311.9	442.5	242.5	582.9	342.2	462.6	442.5	602.9	402.4	491.8	402.4	622.9	442.5	511.8	442.5	643.0	462.6	552.6	442.5	672.7							
18"	452.5	271.4	611.8	351.6	491.8	271.4	632.9	381.9	502.5	491.8	653.0	452.5	541.9	452.5	673.0	491.8	561.7	491.8	693.1	502.5	582.7	491.8	712.8							
20"	502.6	302.2	661.9	391.9	541.9	302.2	683.0	421.9	541.9	541.9	703.0	502.6	591.8	502.6	723.1	541.9	611.7	541.9	743.2	552.6	632.4	541.9	762.9							
24"	602.7	361.7	781.5	471.8	642.2	361.7	803.1	502.5	642.2	642.2	823.1	602.7	701.7	602.7	843.1	642.2	721.6	642.2	863.7	683.0	762.9	642.2	882.6							
28.1 kg/cm ² = 400 LB/pulg ² TIPO I	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5						
28.1 kg/cm ² = 400 LB/pulg ² TIPO II	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5						
28.1 kg/cm ² = 400 LB/pulg ² TIPO III	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5						
28.1 kg/cm ² = 400 LB/pulg ² TIPO IV	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5	0	3.2	6.4	9.5						


Figura 18. Cuellos para boquillas recomendados por la norma ASME (ASME, 2010)

LAS TABLAS DAN PROYECCION EXTERIOR MINIMA DE BOQUILLAS, Y EN CASO NECESARIO DEBERA INCREMENTARSE LA PROYECCION, POR ESPESORES DE AISLAMIENTO Y PLACA DE REFUERZO (A CRITERIO DEL DISEÑADOR)

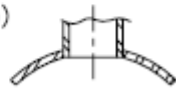
PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS WELDING NECK							
DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.						
	150	300	600	900	1500	2500	
2	6	6	6	8	8	8	
3	6	6	8	8	8	10	
4	6	8	8	8	8	12	
6	8	8	8	10	10	14	
8	8	8	10	10	12	16	
10	8	8	10	12	14	20	
12	8	8	10	12	16	22	
14	8	10	10	14	16		
16	8	10	10	14	16		
18	10	10	12	14	18		
20	10	10	12	14	18		
24	10	10	12	14	20		

PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS (SLIP-ON / LAP-JOINT)							
DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.						
	150	300	600	900	1500	2500	
2	6	6	6	8	8	8	
3	6	6	8	8	8	10	
4	6	8	8	8	10	10	
6	8	8	8	10	12	12	
8	8	8	10	10	12	12	
10	8	8	10	12	12	14	
12	8	10	10	12	12	16	
14	10	10	10	12			
16	10	10	12	12			
18	10	10	12	12			
20	10	10	12	12			
24	10	12	12	12			

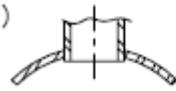
PROYECCION INTERIOR



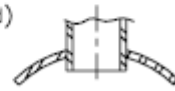
a) CORTE AL RAS DEL TUBO A LA CURVATURA DEL RECIPIENTE



b) CORTE RECTO A LA CURVATURA



c) PROYECCION MINIMA PARA SOLDADURA



d) PROYECCION PARA REFUERZO U OTRO PROPOSITO

Figura 19. Longitudes recomendadas para cuellos de bridas en recipientes a presión (ASME, 2010)

Combinación de metal de base	301-302-304-308	304L	310-314(a)	316	316L	317	321-347	405-410-420	430	446(b)	Aceros al Carbono	Aceros al Carbono baja aleación o Cr-Mo
301-302-304-308	308	308	308	308	308	308	308	309	309	310	309	309
304L		308L	308	308	308	308	309	309	309	310	309	309
310-314(a)			310	316	317	308	309	309	309	310	309	309
316				316	316	316	308	309	309	310	309	309
316L					316L	316	316L	309	309	310	309	309
317						317	308	309	309	310	309	309
321-347							347	309	309	310	309	309
405-410-420								410	430 ^(c)	410 ^(c)	410 ^(c,d)	410 ^(c)
430									430	430	430 ^(c,d)	430 ^(c)
446										446	430 ^(c,d)	430 ^(c)

Figura 20. Composición de electrodo según la combinación del material base (Inoxidable, 2014)

ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE PARA SOLDADURA TIG													
Nombre	Norma	Propiedades mecánicas de la soldadura		Composición química de la soldadura (%)									Ø (mm)
		Resist. a la Tracción Kg/mm ²	E %	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	
CTG - 308	JIS Y308 AWS ER 308	58 - 62	36 - 42	0.05	1.84	0.35	0.018	0.010	10.20	20.07			1.0
													1.2
													1.6
													2.0
													2.4
													3.2
4.0													
CTG - 308L	JIS Y308L AWS ER 308L	53 - 57	38 - 44	0.022	1.95	0.37	0.016	0.01	10.40	20.20			1.0
													1.2
													1.6
													2.0
													2.4
													3.2
4.0													
CTG - 309	JIS Y309 AWS ER 309	57 - 62	32 - 44	0.06	1.82	0.42	0.015	0.01	12.90	24.20			1.0
													1.2
													1.6
													2.0
													2.4
													3.2
4.0													
CTG - 309L	JIS Y309L AWS ER 309L	54 - 58	33 - 42	0.023	1.93	0.39	0.022	0.01	12.80	23.90			1.0
													1.2
													1.6
													2.0
													2.4
													3.2
4.0													
CTG - 316	JIS Y316 AWS ER 316	57 - 64	31 - 40	0.05	1.77	0.45	0.015	0.01	12.80	19.50	2.50		1.0
													1.2
													1.6
													2.0
													2.4
													3.2

Figura 21. Tipos de alambre para soldadura TIC (Inoxidable, 2014)

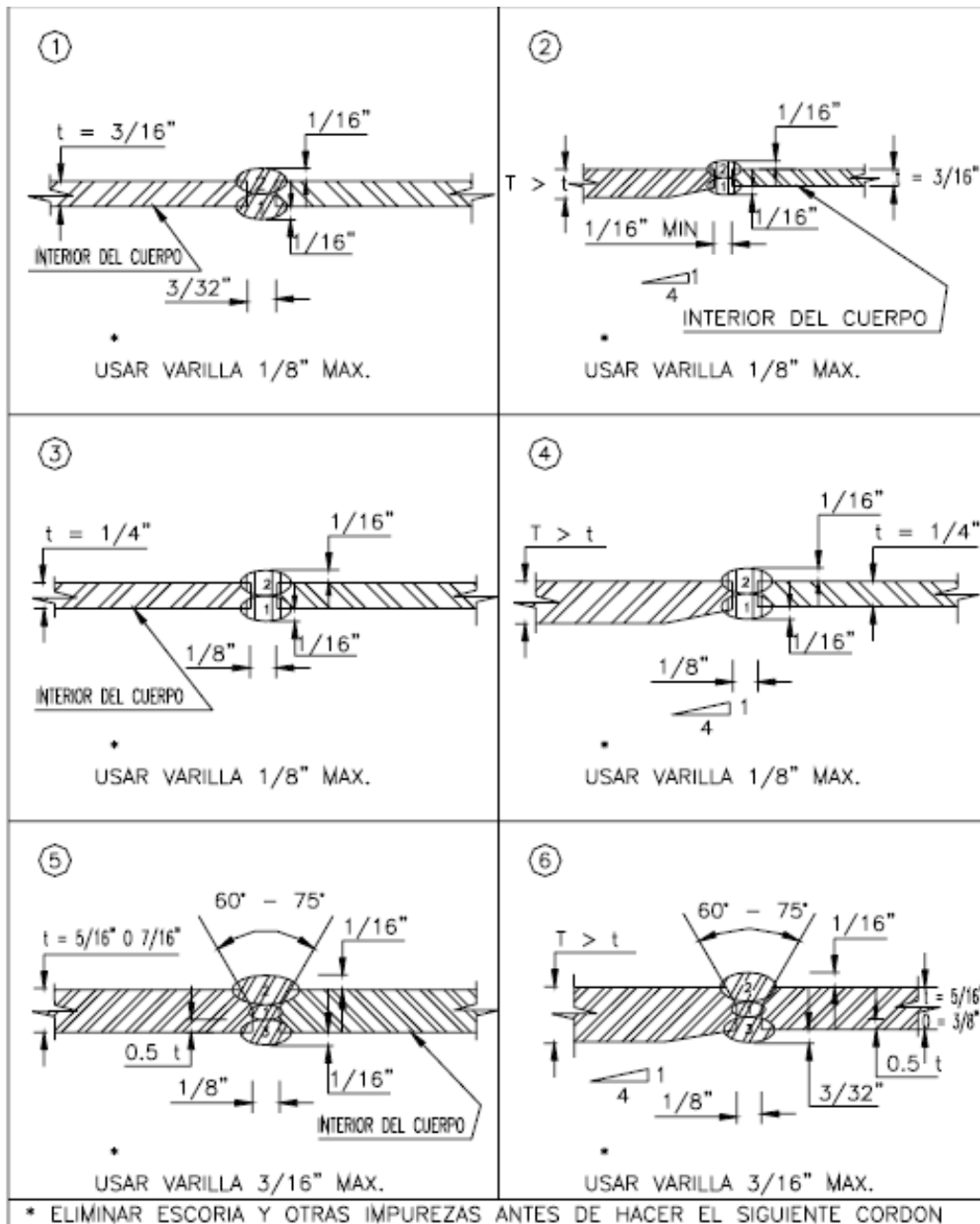


Figura 22. Tipos uniones soldadas para recipientes a presión (ASME, 2010)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica W/m.°K
1. Poliestireno Expandido (EPS)*	15	0,037
	20	0,035
	25	0,033
	30	0,032
2. Poliestireno Extruido (XPS)	32	0,029
3. Poliuretano, espuma rígida de (PUR)	30-60	0,022-0,024
4. Poliuretano proyectado (Spray)	30-60	0,022
5. Polietileno, espuma de	30-40	0,035-0,045
6. Polietileno, membrana de burbujas	30-60	0,031-0,038
7. Aislante de celulosa proyectada	50-90	0,040-0,049
8. Lana de vidrio	8-10	0,045
	11-14	0,043
	15-18	0,040
	19-30	0,037
	31-45	0,034
	46-100	0,033
9. Lana de roca	30-50	0,042
	51-70	0,040
	71-150	0,038
*Vulgarmente denominado por una marca "Telgopor"		

Figura 23. Propiedades de materiales aislantes (Ludwig, 1965)