

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE “INGENIERO  
MECÁNICO”**

**TEMA:**

**DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE AGUA DE  
POZO PARA INYECTABLES CON CAPACIDAD DE PRODUCCION DE 2500  
LITROS/HORA, MEDIANTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS REVERSA Y LA  
UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE VISUAL BASIC 6.0.**

**AUTORES:**

**ENRIQUE EDUARDO GUAYTARILLA CHICAIZA  
CHRISTIAN ROLANDO MANGIA GUACOLLANTES**

**DIRECTOR:**

**ING. ESTUARDO CORREA**

**QUITO – JUNIO 2012**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, ha sido realizado en forma total por los señores: Enrique Eduardo Guaytarilla Chicaiza y Christian Rolando Mangia Guacollantes.

Atentamente:

Ing. Estuardo Correa  
DIRECTOR DE TESIS

## **DECLARACIÓN**

Nosotros Enrique Eduardo Guaytarilla Chicaiza y Christian Rolando Mangia Guacollantes, declaramos bajo juramento que el trabajo realizado es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos el derecho de propiedad intelectual correspondiente de este trabajo a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Enrique Eduardo Guaytarilla Chicaiza

Christian Rolando Mangia Guacollantes

## **DEDICATORIA**

Con todo cariño, al finalizar mi carrera dedico este objetivo alcanzado a mis padres, que día tras día tuvieron que esforzarse para poder solventar mi vida universitaria, hoy, que estoy listo y preparado para enfrentar la vida profesional, les quiero decir a ellos gracias, muchas gracias por haber hecho posible este sueño, y estén seguros que ahora es mi turno de retribuir hacia ustedes tanto esfuerzo y sacrificio hacia mí. También dedico este logro a mi esposa y a mis dos hijos, que son mis grandes motivos de superación.

Enrique Eduardo Guaytarilla Chicaiza

El presente trabajo se lo dedico a Dios por darme la fortaleza, a mi Madre Aurorita Guacollantes que gracias a su apoyo he logrado culminar esta etapa de mi vida. A mi Padre Ángel Mangia por su apoyo durante todos estos años por su infinito amor comprensión y por ayudarme en aquellos momentos cuando más los necesitaba. GRACIAS a mis Padres, a mi Esposa Yesenia Loo y mi hijo Anthony Mangia por su amor, apoyo y paciencia que me brindaron durante mi etapa universitaria; siempre los llevo en mi corazón y pensamientos, me dieron la fuerza para seguir cada día y culminar mi objetivo.

A mis hermanas, Lucia, Anabel por su respaldo y ánimo para seguir adelante.

Christian Rolando Mangia Guacollantes

Queremos manifestar un agradecimiento a nuestro director Ing. Estuardo Correa por su valioso aporte en el desarrollo de esta tesis, así también un agradecimiento muy especial al Ing. Fernando Larco por brindarnos su soporte y apoyo durante nuestra vida estudiantil y sobre todo en la culminación de esta tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

Antes de agradecer a todos quienes me apoyaron en mi vida estudiantil quiero agradecer a Dios por darme la salud, paciencia y sabiduría para llegar a cumplir este objetivo, a mis queridos padres Doña Piedacita y Don Eladio que han sido incondicionales conmigo, a mi amadísima esposa Mónica, que cambió por completo mi vida y me supo apoyar en esos momentos de dificultad y desesperanza, pero más que eso, me brindó lo más valioso de este mundo que son mis dos hijos Junior Alexander y Matías Daniel que día tras día se encargan de llenar mi vida de felicidad y motivación, a mi hermano menor, que en muchas ocasiones fue y es el modelo a seguir; en general a mis tías y a mi tío, a mis abuelitos que con su apoyo pusieron su granito de arena e hicieron posible que hoy sea un día importante en mi vida, muchas gracias a todos.

Enrique Eduardo Guaytarilla Chicaiza

Agradezco infinitamente a Dios, y con todo cariño, admiración y respeto a mis padres, a mi familia en particular a mi Madre, a mi padre por su apoyo durante todos estos años por su infinito amor comprensión y por ayudarme en aquellos momentos cuando más los necesitaba. GRACIAS Padres. A mi esposa y mi hijo por su amor y apoyo incondicional los amo, a mis hermanas. Una mención especial a mi director de tesis al Ing. Estuardo Correa, gracias por toda la ayuda prestada, sus sugerencias y confianza.

Christian Rolando Mangia Guacollantes

## INTRODUCCIÓN

El proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema purificador de agua, según los requerimientos y estándares de calidad exigidos por la Normativa Internacional, así como también del resultado del diseño (sistema) realizar la simulación del funcionamiento del purificador de agua de pozo para inyectables con capacidad de producción de 2500 litros por hora, mediante el principio de ósmosis reversa(OR) y la utilización del software Visual Basic 6.0.

El equipo purificador de agua consta de diferentes partes, entre las que resaltan:

Un proceso de pre filtrado a través de un tanque de arena que tiene la función de captar sólidos y partículas orgánicas e inorgánicas que contiene el agua, luego un tanque de carbón activado para la decloración, siguiendo después por los pre filtros de cartucho de 30 y 10  $\mu\text{m}$ , que tienen la finalidad de captar residuos mucho más pequeños, para garantizar el agua de alimentación a las membranas de OR; luego el proceso de ósmosis reversa, que se basa en la utilización de una membrana semipermeable filtrante que genera dicho fenómeno con la finalidad de retener sólidos totales disueltos (SDT) existentes en el agua, finalmente, un sistema electrodesionizador cuya finalidad es disminuir la conductividad del agua mediante un intercambio iónico.

El equipo trabaja automáticamente, durante una operación y monitoreo, este sistema tiene una alta ejecución por medio de controles y manejo de parámetros en cada visualización de la pantalla. La importancia del presente trabajo es que el agua procesada por medio de este equipo cumplirá con los requisitos vigentes expuestos en la norma FARMACOPEA con lo que se obtiene una sustancia apta para uso farmacéutico.

La visión al desarrollar este proyecto es incentivar la creación de plantas de tratamiento de agua a gran escala utilizando membranas filtrantes y electrodesionizadores, debido a que en la actualidad son elementos de alta tecnología en este tipo de aplicaciones; para así obtener agua de un alto grado de pureza con lo cual se garantiza la salud de las personas.

El proyecto consta de cuatro capítulos; el primero hace referencia al marco teórico en el cual se describen aspectos tales como: la importancia del agua purificada, ósmosis reversa, métodos para el tratamiento del agua y la ecuación general de la energía. El segundo capítulo describe; el análisis y selección de alternativas. El tercer capítulo describe; el cálculo, diseño y simulación del sistema, en el que se consideran todos los datos del sistema para poder seleccionar los materiales. El cuarto capítulo indica mediante valores los detalles de costos generados en el diseño de sistema purificador de agua, entre los que se puede mencionar: los costos: en tuberías de conducción y accesorios, elementos filtrantes, válvulas, bomba centrífuga, materiales e insumos, mano de obra, diseño e ingeniería del sistema y finalmente costo total del proyecto.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En el país existe una gran variedad de microempresas y laboratorios farmacéuticos dedicados a la elaboración de medicamentos (jarabes, pastillas, comprimidos, inyectables etc.), empresas tales como (Grunenthal-Tecnandina, LIFE, LETERAGO, LAMOSAN); en la actualidad no es fácil acceder y a su vez entender las aplicaciones informáticas creadas precisamente para el purificador de agua.

Uno de los problemas que en la actualidad persiste en la sociedad es el poco o nulo acceso al agua potable en especial en sectores rurales de las ciudades en el país pues esta situación se vuelve común el uso de aguas que provienen de pozos o de manantiales sin previo tratamiento de purificación exponiéndose así a contraer enfermedades de alto riesgo. La contaminación del agua está eliminando muchos recursos potenciales existentes; la mayoría de la contaminación proviene de desperdicios domésticos, químicos agrícolas, la producción de petróleo en la cuenca del Amazonas y la minería en ciertas áreas del país.

Las grandes plantaciones utilizan exorbitantes cantidades de químicos agrícolas, centrales eléctricas que vierten aguas residuales calientes, provenientes de sus silos de refrigeración, industrias que vierten aguas residuales de procesos de operaciones

rutinarias o como resultado de accidentes o derrames, proyectos de explotaciones de minas a cielo abierto que ocasionan cambios en la hidrología superficial, deforestación y desarrollo agrícola que dan como resultado una contaminación difusa por exceso de nutrientes y pesticidas que retornan a los caudales junto al agua de riego.

El sistema de ósmosis reversa aplicado a la purificación de agua proveniente de vertientes, entrega agua de buena calidad, cumpliendo así con las características físicas, químicas y biológicas establecidas por la entidad de control FARMACOPEA.

Los parámetros físicos comprenden color, olor, temperatura, sólidos, turbidez y contenidos en aceite y grasas; cada parámetro físico a su vez puede subdividirse en otras categorías, por ejemplo los sólidos se subdividen en sólidos en suspensión y en sólidos disueltos, así como en fracciones orgánicas e inorgánicas.

Los parámetros químicos inorgánicos incluyen, dureza, pH, presencia de sustancias como el hierro, manganeso, metales pesados (mercurio, plomo, cobre, cromo y zinc), nitrógeno y fósforo.

Los parámetros biológicos se suelen referir a la presencia de coliformes, coliformes fecales y virus.

A fin de que la industria farmacéutica consuma agua de buena calidad, se plantea una alternativa de purificación mediante el método de ósmosis reversa destinado a promover la construcción de este tipo de equipos en los sectores industriales de las ciudades en las que se tenga acceso a vertientes o pozos de agua dulce.

## **JUSTIFICACION**

El abastecimiento del agua en el Ecuador es un problema muy serio aunque en general el país goza de un alto índice de precipitaciones anuales, la desigualdad de distribución de



precipitación y la población son las principales razones de los problemas de abastecimiento de agua en el país, más aún lo es el acceso al agua potable.

Ecuador va a la cola de América Latina en cuanto a cobertura y calidad de agua potable y saneamiento. En el área farmacéutica este problema es mucho más delicado, ya que el agua se usa ampliamente como materia prima, ingrediente y disolvente en el procesamiento de medicamentos. Según el Ministerio de salud el 50% de hospitalizaciones son el resultado de los inadecuados servicios y acciones de saneamiento. Esto explica que el país tenga una de las tasas más altas de mortalidad infantil en América Latina.

La propuesta del diseño y la simulación del equipo purificador de agua de pozo se enfoca en procesos de purificación descritos en la FARMACOPEA, por lo que; de acuerdo a estos parámetros y conociendo las condiciones iniciales y finales del agua se trabajará en el diseño del sistema purificador de agua, a fin de que el producto final sea apto para el uso farmacéutico. Para conocer las condiciones iniciales del agua de pozo, se tomarán muestras, mismas que serán analizadas en el laboratorio de Tecnandina.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y Simular un sistema purificador de agua de pozo para inyectables con capacidad de producción de 2500 litros/hora, mediante el principio de ósmosis reversa y la utilización del software Visual Basic 6.0.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un presupuesto estimativo para la implementación del sistema purificador de agua.
- Diseñar los tanques: desferrizador, carbón activado, carcasa de membranas de Ósmosis Reversa, carcasa de prefiltros, tanques calentadores de agua y tanque de almacenamiento del agua purificada con capacidad de 4500 litros.

- Elaborar un informe técnico de las características finales del sistema purificador de agua de pozo.
- Desarrollar un instructivo sobre el manejo del sistema simulador que permita el fácil manejo, uso e interpretación de los resultados obtenidos para la manipulación del simulador.
- Elaborar planos del sistema.

## **ALCANCE**

El diseño abarcará la selección de etapas para la purificación del agua, la simulación del proceso de purificación con capacidad de producción de 2500 litros por hora, además tiene un análisis de un presupuesto estimado del sistema purificador en cuanto a la parte mecánica se refiere, la elaboración de un diagrama P&I, planos de tanques, desarrollo del manual de operación y mantenimiento del equipo. Cabe recalcar que el suministro de agua, al equipo purificador; no será tomado en cuenta para el diseño en este documento, por lo que, los cálculos se realizan, sabiendo que el sistema de alimentación es un requerimiento para nuestro sistema.

Mediante la simulación se podrá visualizar variables tales como: conductividad, temperatura, nivel, tiempo, presión y caudal que se dan en las diferentes etapas del sistema purificador (pretratamiento, filtración, ósmosis reversa, electrodesionización, calentamiento, almacenamiento y distribución)

El sistema obtendrá valores de una Base de Datos para simular las lecturas de los sensores y una vez que se concluye cada etapa, estos valores de los sensores volverán a ser almacenados en la base de datos para su posterior tratamiento.

Es necesario hacer énfasis que este documento es únicamente una parte de un gran proyecto total de una planta de purificación de agua, ya que su complemento será toda la parte eléctrica, montaje, obra civil y puesta en marcha.

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>PÁGINA</b>
CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
INTRODUCCIÓN	VI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	VII
JUSTIFICACION	VIII
OBJETIVO GENERAL	IX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	IX
ALCANCE	X
INDICE DE GRÁFICOS	25
INDICE DE TABLAS	26
CAPÍTULO I	29
MARCO TEÓRICO	29
1.0. AGUA PARA USO FARMACÉUTICO	29
1.1. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL AGUA DE ALIMENTACIÓN	29
1.1.1. Agua de pozo	30
1.2. TIPOS DE AGUA PURIFICADA	31
1.2.1. Agua para inyección.	31
1.2.1.1. Requerimientos para el agua de inyección en el área farmacéutica	32
1.3. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	32
1.3.1. Tratamiento de filtración previa	33
1.3.2. Carbón Activado (CA)	33
1.3.3. Ósmosis Reversa (OR)	33

1.3.3.1. Beneficios de la OR	35
1.3.4. Electrodesionización (EDI)	35
1.3.4.1. Aplicaciones de los EDI	36
1.3.4.2. Ventajas de los EDI	37
1.3.4.3. Desventaja de los EDI	37
1.4. CALENTADOR DE AGUA	38
1.5. ENERGÍA TOTAL DE UN FLUIDO	38
1.6. ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA	38
1.6.1. Tipos de flujo en un sistema de transporte	40
1.6.2. Pérdidas por fricción en flujo laminar	40
1.6.3. Pérdidas por fricción en flujo turbulento	41
1.6.4. Diagrama de Moody	41
1.6.5. La Tubería Farmacéutica	44
1.6.6. Pérdidas mayores	45
1.6.7. Pérdidas menores	45
1.6.7.1. Pérdidas en la salida del fluido	45
1.6.7.2. Pérdidas en la entrada de un fluido	46
1.6.7.3. Pérdidas en válvulas	47
1.6.8. Energía Potencial de un fluido	49
CAPÍTULO II	51
2.0. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	51
2.1. ESPECIFICACIONES	51
2.1.1. Parámetros de diseño	51
2.1.2. Parámetros funcionales del sistema de agua purificada	52
2.1.3. Ambiente de trabajo	52

2.1.4. Materiales a utilizarse	53
2.2. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS	53
2.2.1. Alternativa 1. Ósmosis Reversa	54
2.2.1.1. Descripción	54
2.2.1.2. Partes	54
2.2.1.3. Ventajas	56
2.2.1.4. Desventajas	57
2.2.2. Alternativa 2. Destilación	57
2.2.2.1. Descripción	57
2.2.2.2. Partes	57
2.2.2.3. Ventajas	57
2.2.2.4. Desventajas	58
2.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	58
2.3.1. Evaluación	58
2.3.2. Costo de operación	58
2.3.3. Facilidad de mantenimiento	58
2.3.4. Facilidad de operación	58
2.3.5. Seguridad	58
2.3.6. Eficiencia	59
2.3.7. Facilidad de instalación	59
2.3.8. Requerimientos Farmacéuticos	59
2.3.9. Proyección a futuro	60
2.4 CALIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	60
CAPITULO III	63
3.0. CÁLCULO, DISEÑO, SIMULACIÓN E INFORMACIÓN TÉCNICA	63

3.1. CÁLCULO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	63
3.1.1 Condiciones de diseño	63
3.1.2. Partes y etapas de purificación del sistema	64
3.1.2.1. Etapa de filtración (tanque desferrizador y de carbón activado).	66
3.1.2.2. Etapa de micro filtración.	67
3.1.2.3. Etapa de potencia (Bomba N° 1)	67
3.1.2.4. Etapa de filtración por Ósmosis Reversa (OR)	68
3.1.2.5. Electrodesionizadores (EDI).	68
3.1.3. Partes y elementos del sistema que generan pérdidas de energía	68
3.1.4. Análisis de las pérdidas de energía	70
3.1.4.1. Datos del sistema	70
3.1.4.2. Velocidad del sistema	70
3.1.4.3. Cálculo de la tubería de entrada a los filtros (descarga tramo A)	71
3.1.4.3.1. Velocidad promedio real del flujo en la tubería	71
3.1.4.3.2. Diámetro de la tubería	71
3.1.4.3.3. Pérdidas mayores	72
3.1.4.3.3.1. Cálculo del área de la tubería de descarga	72
3.1.4.3.3.2. Cálculo de la velocidad de descarga	72
3.1.4.3.3.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 plg.	72
3.1.4.3.3.4. Cálculo de la rugosidad relativa	73
3.1.4.3.3.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías	73
3.1.4.3.4. Pérdidas menores	74
3.1.4.3.4.1. Cálculo de pérdidas de energía en la entrada (orilla del tanque)	74
3.1.4.3.4.2. Cálculo de pérdidas de energía en la salida (orilla del tanque)	74
3.1.4.3.4.3. Cálculo de pérdidas en codos a 90°	75

3.1.4.4. Cálculo de la etapa de succión del sistema (tramo B)	75
3.1.4.4.1. Diámetro de la tubería	75
3.1.4.4.2. Pérdidas mayores	76
3.1.4.4.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión	76
3.1.4.4.2.2. Cálculo de la velocidad de succión	76
3.1.4.4.2.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de succión de 2 plg.	76
3.1.4.4.2.4. Cálculo de la rugosidad relativa	77
3.1.4.4.2.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías	77
3.1.4.4.3. Pérdidas menores	78
3.1.4.4.3.1. Entrada (orilla del tanque de filtros de 30 micras) tramo B	78
3.1.4.4.3.2. Cálculo de pérdidas en codos a 90°	78
3.1.4.4.3.3. Cálculo de pérdidas en tee	78
3.1.4.4.3.4. Cálculo de pérdidas en válvula de bola (1)	79
3.1.4.5. Cálculo de la etapa de descarga (tramo C)	79
3.1.4.5.1. La velocidad promedio real del flujo en la tubería es:	80
3.1.4.5.2. Diámetro de la tubería a la entrada a la carcasa de OR	80
3.1.4.5.3. Diámetro de la tubería a la salida de la carcasa de OR (D)	80
3.1.4.5.4. Pérdidas mayores en el tramo C	81
3.1.4.5.4.1. Cálculo del área de la tubería de descarga de 2 plg.	81
3.1.4.5.4.2. Cálculo de la velocidad de descarga.	81
3.1.4.5.4.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 2plg.	81
3.1.4.5.4.4. Cálculo de la rugosidad	81
3.1.4.5.4.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías	82
3.1.4.5.5. Pérdidas mayores en los tramos D, E y F	82
3.1.4.5.5.1. Cálculo del área de la tubería de descarga de 1 plg.	82

3.1.4.5.5.2. Cálculo de la velocidad de descarga	82
3.1.4.5.5.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 plg.	83
3.1.4.5.5.4. Cálculo de la rugosidad	83
3.1.4.5.5.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías	83
3.1.4.5.6. Pérdidas menores.	84
3.1.4.5.6.1. Salida de orilla (tubería de 2 plg) tramo C	84
3.1.4.5.6.2. Salida de orilla (tubería de 1 plg) tramos D, E y F	84
3.1.4.5.6.3. Entrada de orilla (tubería de 1 plg) tramos D, E y F	84
3.1.4.5.6.4. Cálculo de la velocidad de descarga	85
3.1.4.5.6.5. Pérdidas en codos a 90° (tubería de 2 plg) tramo C	85
3.1.4.5.6.6. Pérdidas en codos a 90° (tubería de 1 plg) tramo D, E y F	86
3.1.4.5.6.7. Pérdidas en tee (tubería de 2plg) tramo C	86
3.1.4.5.6.8. Pérdidas en tee (tubería de 1 plg) tramos D, E y F	86
3.1.4.5.6.9. Pérdidas en válvula de diafragma 2/2 (2)	87
3.1.4.5.6.10. Pérdidas en válvula de globo (3)	87
3.1.4.6. Cuantificación de las pérdidas de energía (hl)	88
3.1.4.7. Pérdidas de energía en elementos filtrantes y tanque de calentamiento	88
3.1.4.7.1. Filtros de 30 micras	89
3.1.4.7.2. Filtros de 10 micras	89
3.1.4.7.3. Membranas de OR	90
3.1.4.7.4. Electrodesionizadores EDI	90
3.1.4.7.5. Tanque de calentamiento 1	91
3.1.4.7.5.1. Cálculo de la presión	91
3.1.4.7.5.2. Cálculo de pérdida de energía en el tanque	92
3.1.4.8. Pérdidas totales en el sistema	92



3.1.4.9. Selección de la bomba de trabajo No 1	92
3.1.4.9.1. Curva de rendimiento según número de etapas	94
3.1.4.10. Análisis para el cálculo teórico de la potencia de la bomba.	95
3.1.4.10.1. Energía agregada por la bomba al sistema.	96
3.1.4.10.2. Cálculo de la potencia agregada al fluido por la bomba.	96
3.1.4.11. Elementos del sistema de distribución.	97
3.1.4.11.1. Datos del sistema	98
3.1.4.11.2. Etapa de succión del sistema de distribución	98
3.1.4.11.2.1. Diámetro de la tubería.	98
3.1.4.11.2.2. Pérdidas mayores.	99
3.1.4.11.2.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión.	99
3.1.4.11.2.2.2. Cálculo de la velocidad de succión.	99
3.1.4.11.2.2.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de succión de 2plg.	99
3.1.4.11.2.2.4. Cálculo de la rugosidad	100
3.1.4.11.2.2.5 Cálculo del factor de fricción en tuberías.	100
3.1.4.11.2.3. Pérdidas menores	101
3.1.4.11.2.3.1. Entrada (orilla del tanque de almacenamiento).	101
3.1.4.11.2.3.2. Cálculo de pérdidas en codos a 90°.	101
3.1.4.11.2.3.3. Cálculo de pérdidas en tee.	101
3.1.4.11.2.3.4. Cálculo de pérdidas en válvula de bola.	102
3.1.4.11.3. Cálculo de la etapa de descarga	102
3.1.4.11.3.1. Diámetro de la tubería.	102
3.1.4.11.3.2. Pérdidas mayores	103
3.1.4.11.3.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión	103
3.1.4.11.3.2.2. La velocidad promedio real del flujo en la tubería	103

3.1.4.11.3.2.3. Pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 ½ plg	103
3.1.4.11.3.2.4. Cálculo de la rugosidad	104
3.1.4.11.3.2.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías	104
3.1.4.11.3.3. Pérdidas menores	104
3.1.4.11.3.3.1. Cálculo de pérdidas en válvula de bola	105
3.1.4.11.3.3.2. Calculo de pérdidas en codos a 90°	105
3.1.4.11.3.3.3. Cálculo de pérdidas de energía en válvulas de globo	105
3.1.4.11.3.3.4. Cálculo de pérdidas de energía por orilla en la salida	106
3.1.4.11.3.3.5. Pérdidas de energía (entrada orilla del tanque calentador 2)	106
3.1.4.11.4. Cuantificación de las pérdidas de energía (hl)	106
3.1.4.11.5. Pérdidas de energía en el tanque calentador N° 2	107
3.1.4.11.5.1. Cálculo de la presión	108
3.1.4.11.5.2. Cálculo de la pérdida de energía en el tanque	108
3.1.4.11.6. Pérdidas totales en el sistema de distribución	108
3.1.4.12. Selección de la bomba de trabajo No 2	108
3.1.4.12.1. Curva de rendimiento según número de etapas	110
3.1.4.13. Análisis para el cálculo teórico de la potencia de la bomba	110
3.1.4.13.1. Energía agregada por la bomba al sistema	111
3.1.4.13.2. Cálculo de la potencia agregada al fluido por la bomba	111
3.2. CÁLCULO Y DISEÑO DE TANQUES	112
3.2.1. Presión de diseño (P dis)	113
3.2.2. Presión máxima permisible	113
3.2.3. Cálculo del espesor de la pared de los tanques	114
3.2.4. Esfuerzo de diseño a la tensión (fy)	114
3.2.5. Eficiencia de la soldadura (E)	114

3.2.6. Tapa elíptica 2:1 o semielíptica	114
3.2.7. Cálculo de los tanques desferrizadores	115
3.2.7.1. Cálculo de la altura de diseño	115
3.2.7.2. Cálculo de la presión de operación del tanque desferrizador	115
3.2.7.3. Diseño del espesor de la parte cilíndrica del tanque desferrizador	117
3.2.7.4. Cálculo de la Presión máxima permisible de los tanques desferrizadores	119
3.2.7.5. Cálculo del espesor de la cabeza elíptica 2:1 bajo presión interna	119
3.2.7.6. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 de los tanques desferrizadores	120
3.2.7.7. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro	120
3.2.7.8. Esfuerzo Circunferencial o tangencial ( $\sigma_x$ )	121
3.2.7.9. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )	121
3.2.7.10. Selección del MAN-HOLE (Diámetro interior) y accesorios	122
3.2.7.11. Cálculo del peso del tanque	122
3.2.7.12. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	122
3.2.7.13. Cálculo del peso del recipiente vacío	123
3.2.7.14. Peso de los accesorios	123
3.2.7.15. Peso de las caras laterales	123
3.2.7.16. Peso total del tanque	124
3.2.7.17. Valores calculados del tanque desferrizador	124
3.2.7.18. Cálculo y diseño de las columnas de soporte	125
3.2.7.18.1. Selección del perfil de la columna	127
3.2.7.18.1.1. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$	127
3.2.8. Diseño del tanque de prefiltros	130
3.2.8.1. Cálculo de la presión de operación del tanque de prefiltros	130
3.2.8.2. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de los prefiltros	131

3.2.8.3. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de prefiltros	131
3.2.8.4. Cálculo del espesor de las caras laterales elíptica 2:1	132
3.2.8.5. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 o semielíptica	132
3.2.8.6. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro de prefiltros	132
3.2.8.6.1. Esfuerzo Circunferencial o tangencial ( $\sigma_x$ )	133
3.2.8.6.2. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )	133
3.2.8.7. Cálculo del peso del tanque	134
3.2.8.8. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	134
3.2.8.9. Cálculo del peso del recipiente vacío	135
3.2.8.10. Peso de los accesorios	135
3.2.8.11. Peso de las caras laterales	135
3.2.8.12. Peso total del tanque	135
3.2.8.13. Valores calculados para el tanque de prefiltros	136
3.2.9. Diseño del tanque de la ósmosis reversa (OR)	137
3.2.9.1. Parámetros de trabajo	137
3.2.9.2. Parámetros de diseño	137
3.2.9.3. Cálculo de la presión de operación del tanque OR	137
3.2.9.4. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de OR	138
3.2.9.5. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de OR	138
3.2.9.6. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro de OR	138
3.2.9.6.1. El esfuerzo tangencial o circunferencial	139
3.2.9.6.2. Esfuerzo Longitudinal o axial	139
3.2.9.7. Cálculo del peso del tanque	140
3.2.9.8. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	140
3.2.9.9. Cálculo del peso del recipiente vacío	140

3.2.9.10. Peso de los accesorios	141
3.2.9.11. Peso total del tanque	141
3.2.9.12. Valores calculados del tanque OR	141
3.2.10. Diseño del tanque de almacenamiento	142
3.2.10.1. Datos de diseño:	142
3.2.10.2. Parámetros de trabajo	143
3.2.10.3. Parámetros de diseño	143
3.2.10.4. Cálculo de la presión de operación del tanque de almacenamiento	143
3.2.10.5. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de almacenamiento	144
3.2.10.6. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de almacenamiento	145
3.2.10.7. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna	145
3.2.10.8. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 del tanque de almacenamiento	145
3.2.10.9. Esfuerzos principales en el cilindro del tanque de almacenamiento	146
3.2.10.9.1. El esfuerzo tangencial o circunferencial ( $\sigma_x$ )	146
3.2.10.9.2. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )	146
3.2.10.10. Volumen de las cabezas elipsoidales 2:1	147
3.2.10.11. Selección del MAN-HOLE (Diámetro interior)	148
3.2.10.12. Cálculo del peso del tanque	148
3.2.10.13. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	148
3.2.10.14. Cálculo del peso del recipiente vacío	149
3.2.10.15. Peso de los accesorios	149
3.2.10.16. Peso de las caras lateral	149
3.2.10.17. Peso total del tanque	150
3.2.10.18. Valores obtenidos de cálculos para el tanque de almacenamiento	150
3.2.10.19. Cálculo y diseño de las columnas soporte	151

3.2.10.19.1. Selección del perfil de la columna	151
3.2.10.20. Diseño de la placa base del tanque de almacenamiento	152
3.2.11. Calentadores de agua purificada	153
3.2.11.1. Calentador 1	153
3.2.11.1.1. Transferencia de calor	153
3.2.11.1.2. Desarrollo	155
3.2.11.1.3. Diseño del tanque calentador uno	156
3.2.11.1.3.1. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque calentador 1	157
3.2.11.1.3.2. Cálculo de la Presión máxima permisible del tanque calentador 1	157
3.2.11.1.3.3. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna	157
3.2.11.1.3.4. Presión máxima de la cabeza semiesférica del tanque calentador 1	158
3.2.11.1.3.5. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro del calentador 1	158
3.2.11.1.3.5.1. Cálculo del esfuerzo tangencial ( $\sigma_x$ ) del calentador 1	159
3.2.11.1.3.5.2. Cálculo del esfuerzo Longitudinal ( $\sigma_y$ ) del calentador 1	159
3.2.11.1.3.6. Cálculo del peso del tanque	159
3.2.11.1.3.7. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	159
3.2.11.1.3.8. Cálculo del peso del recipiente vacío	160
3.2.11.1.3.9. Peso de los accesorios	161
3.2.11.1.3.10. Peso de las caras laterales	161
3.2.11.1.3.11. Peso total del tanque	161
3.2.11.1.3.12. Valores obtenidos para el calentador 1	161
3.2.11.1.3.13. Cálculo y diseño de las columnas de soporte	162
3.2.11.1.3.13.1. Selección del perfil de la columna	163
3.2.11.1.3.13.2. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$	163
3.2.11.1.3.13.3. Tensiones admisibles de compresión en los apoyos	163

3.2.11.1.4. Diseño de la placa base del tanque calentador 1	164
3.2.11.2. Calentador 2	165
3.2.11.2.1. Transferencia de calor	165
3.2.11.2.2. Cálculo de la presión de diseño del tanque calentador 2	166
3.2.11.2.3. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque calentador 2	167
3.2.11.2.4. Presión máxima permisible del tanque calentador 2	167
3.2.11.2.5. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna	168
3.2.11.2.6. Presión máxima de la cabeza semiesférica del tanque calentador 2	168
3.2.11.2.7. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro calentador 2	168
3.2.11.2.7.1. Cálculo del esfuerzo tangencial ( $\sigma_x$ ) del calentador 2	169
3.2.11.2.7.2. Cálculo del esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ ) del calentador 2	169
3.2.11.2.8. Cálculo del peso del tanque	170
3.2.11.2.9. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)	170
3.2.11.2.10. Cálculo del peso del recipiente vacío	171
3.2.11.2.11. Peso de los accesorios	171
3.2.11.2.12. Peso de las caras laterales	171
3.2.11.2.13. Peso total del tanque	172
3.2.11.2.14. Valores obtenidos de cálculos	172
3.2.11.2.15. Cálculo y diseño de las columnas de soporte	173
3.2.11.2.15.1. Selección del perfil de la columna	173
3.2.11.2.15.2. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$	173
3.2.11.2.15.3. Tensiones admisibles de compresión en los apoyos	174
3.2.11.2.16. Diseño de la placa base del tanque de almacenamiento	174
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA	175
3.4. MANUAL DE USUARIO	176

3.4.1. Glosario de Términos	176
3.5. INFORME TÉCNICO FINAL	199
CAPITULO IV	209
4.0. COSTO DEL PROYECTO	209
4.1. DETALLE DE LOS COSTOS	209
4.1.1. Planchas de los tanques	209
4.1.2. Tuberías y accesorios de acoplamiento	210
4.1.3. Bombas centrifugas	210
4.1.4. Válvulas de control	211
4.1.5. Elementos de filtración	211
4.1.6. Elementos de control	212
4.1.7. Construcción de tanques	212
4.1.8 Mano de Obra (instalación y consumibles)	213
4.2. COSTO TOTAL DE MATERIALES	213
4.3. COSTOS DE DISEÑO E INGENIERÍA	214
4.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO	214
CONCLUSIONES	215
RECOMENDACIONES:	216
BIBLIOGRAFÍA	218
DIRECCIONES ELECTRÓNICAS	219
ANEXOS	220
PLANOS	272



<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>PÁGINA</b>
Gráfico 1.1 Esquema de principio de ósmosis reversa	34
Gráfico 1.2 Esquema vistas de un módulo de EDI	36
Gráfico 1.3 Esquema ecuación general de la energía	38
Gráfico 1.4 Diagrama de Moody	43
Gráfico 1.5 Pérdida en la salida	46
Gráfico 1.6 Pérdida en la entrada	47
Gráfico 1.7 Esquema de una columna de un fluido	49
Gráfico 3.1 Partes principales y etapas del sistema purificador de agua	65
Gráfico 3.2 Punto de operación de la bomba CRN 5-6	94
Gráfico 3.3 Punto de operación de la bomba Hygiana	110
Gráfico 3.4 Tanques horizontal y vertical	113
Gráfico 3.5 Esquema del tanque desferrizador	116
Gráfico 3.6 Esquema de una cabeza semielíptica	119
Gráfico 3.7 Cilindro de pared delgada sometido a presión interna	120
Gráfico 3.8 Cilindro a compresión	125
Gráfico 3.9 Esquema de tanque vertical	126
Gráfico 3.10 Columna A	126
Gráfico 3.11 Capacidad del tanque	143
Gráfico 3.12 Esquema del programa de interpolación	148
Gráfico 3.13 Pantalla de OR	187
Gráfico 3.14 Pantalla de control OR y EDI	188
Gráfico 3.15 Pantalla valores del circuito	189
Gráfico 3.16 Pantalla de tiempos de OR	189
Gráfico 3.17 Pantalla de gráficas	190

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1.1 Especificaciones Farmacopea Americana USP 28-NF23	31
Tabla 1.2 Coeficiente de rugosidad absoluta	44
Tabla 1.3 Factor de resistencia en válvulas y acoplamientos	48
Tabla 1.4 Factor de fricción para tubería	48
Tabla 2.1 Características Físico-Químicas del agua de pozo	51
Tabla 2.2 Análisis y Selección de los alternativos de Diseño	60
Tabla 3.1 Etapa de filtración	67
Tabla 3.2 Etapa de microfiltración	67
Tabla 3.3 Etapa de potencia	67
Tabla 3.4 Etapa de filtración por OR	68
Tabla 3.5 Electrodesionizadores	68
Tabla 3.6 Elementos que generan pérdidas de energía en el sistema	69
Tabla 3.7 Velocidades recomendadas en un sistema de flujo	71
Tabla 3.8 Cuantificación de pérdidas de energía	88
Tabla 3.9 Pérdidas totales de energía	92
Tabla 3.10 Factores para la selección de la bomba	93
Tabla 3.11 Altura total del sistema	93
Tabla 3.12 Elementos que generan pérdidas en el sistema de distribución	98
Tabla 3.13 Cuantificación de pérdidas de energía	107
Tabla 3.14 Pérdidas totales de energía en la distribución	108
Tabla 3.15 Factores para la selección de la bomba	109
Tabla 3.16 Altura total del sistema (distribución)	109
Tabla 3.17 Factores de soldadura	114
Tabla 3.18 Datos de operación	116

Tabla 3.19 Datos generales del tanque desferrizador	118
Tabla 3.20 Datos principales de los tanques desferrizadores	121
Tabla 3.21 Valores de los tanques desferrizadores	125
Tabla 3.22 Datos principales del tanque de prefiltros	133
Tabla 3.23 Valores del tanque de prefiltros	137
Tabla 3.24 Datos principales del tanque OR	139
Tabla 3.25 Valores del tanque de OR	142
Tabla 3.26 Parámetros de trabajo del tanque de almacenamiento	144
Tabla 3.27 Datos principales del tanque de almacenamiento	146
Tabla 3.28 Datos del tanque de almacenamiento	151
Tabla 3.29 Datos (calentador 1)	155
Tabla 3.30 Datos de diseño calentador 1	157
Tabla 3.31 Datos principales del tanque calentador 1	159
Tabla 3.32 Valores de diseño (calentador 1)	162
Tabla 3.33 Datos del calentador 2	166
Tabla 3.34 Datos de diseño del calentador 2	167
Tabla 3.35 Parámetros de diseño	168
Tabla 3.36 Datos principales del calentador 2	169
Tabla 3.37 Diseño del tanque calentador 2	173
Tabla 3.38 Glosario de términos	179
Tabla 3.39 Requerimientos de conductividad y temperatura	183
Tabla 4.1 Costo de planchas para tanques	209
Tabla 4.2 Costo de tuberías de conducción y accesorios de acoplamiento	210
Tabla 4.3 Costo de bombas centrífugas	210
Tabla 4.4 Costo de válvulas de control	211

Tabla 4.5	Costo de elementos de filtración	211	
Tabla 4.6	Costo de elementos de control	212	
Tabla 4.7	Costo de construcción de los tanques	212	
Tabla 4.8	Costo de la mano de obra (instalación y consumibles)		213
Tabla 4.9	Costo total de materiales	213	
Tabla 4.10	Costo de Diseño e Ingeniería	214	
Tabla 4.11	Costo Total del Proyecto	214	

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.0. AGUA PARA USO FARMACÉUTICO**

El agua se usa ampliamente como materia prima, ingrediente y disolvente en el procesamiento, formulación y fabricación de productos farmacéuticos.

El control de la pureza del agua es importante y constituye el principal propósito de nuestro tema, ya que se emplea como excipiente en la producción farmacéutica y como en la limpieza de determinadas equipos y componentes que entran en contacto con el producto.

El agua purificada también se debe usar para todas las pruebas y valoraciones en las que se indique agua, el agua purificada debe cumplir con los requisitos de la pureza química, iónica, y conductividad y debe protegerse de la contaminación microbiana. Esta agua de alimentación puede purificarse usando operaciones unitarias que incluyen la desionización, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la filtración u otros procedimientos adecuados. “El agua purificada se debe validar para producir distribuir agua de calidad microbiológica y química aceptable de manera confiable y regular. Estos sistemas requieren una frecuente higienización y seguimiento microbiológico del agua en puntos de uso.”<sup>1</sup>

#### **1.1. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Para asegurar el cumplimiento de determinadas normas de calidad microbiológica y químicas mínimas, el agua usada en la producción de fármacos o la que se usa como fuente de alimentación para la preparación de distintos tipos de agua purificada debe cumplir los requisitos de las reglamentaciones básicas nacionales relativas al agua potable (NPDWR, por sus siglas en inglés) de la dirección de protección ambiental de los Estados Unidos. (EPA, por sus sigla en inglés) o la normativa para el agua

---

<sup>1</sup> FARMACOPEA DE LOS EEUU DE AMERICA Volumen 1 oficial desde 1 de mayo del 2011 hasta el 30 de abril del 2012

potable del unión Europea o Japón o las guías para el agua potable de la OMS. Los límites respecto a los tipos y cantidades de determinados contaminantes orgánicos e inorgánicos garantizan que el agua contendrá tan solo cantidades pequeñas y seguras de las especies químicas potencialmente objetables. Por lo tanto los sistemas para el tratamiento previo del agua solo deberán minimizar pequeñas cantidades de estas sustancias químicas difíciles de eliminar. Así mismo el control de los contaminantes químicos objetables en la etapa de abastecimiento del agua elimina la necesidad de realizar pruebas específicas para detectar alguno de ellos (por ejemplo metales pesados) después de que el agua haya pasado etapas posteriores de purificación.

Para lograr el control microbiano, las autoridades municipales a cargo del agua agregan desinfectantes al agua potable es usado durante muchas décadas sustancias que contiene cloro y otros oxidantes con este fin y generalmente se ha considerado que son relativamente inocuas para los seres humanos.

El proceso de dechloración puede eliminar de forma incompleta la cloramina, lo que podría perjudicar irreparablemente las operaciones unitarias siguientes en el proceso y además, el amoniaco que se libera durante este proceso podría traspasar el tratamiento previo y aparecer en el agua terminada, evitando que esta cumpla con las especificaciones de conductividad farmacopeicas.

### **1.1.1. Agua de pozo**

La naturaleza geológica del suelo determina la composición química de las aguas subterráneas. El agua está en constante movimiento con el suelo donde se estanca y recircula, y así se desarrolla un equilibrio entre la composición del suelo y la del agua: por ejemplo, el agua que circula en substrato arenoso o granítico es ácida y tiene menos minerales. Agua que circula en suelos limosos y arcillosos son alcalinas y contienen bicarbonatos.

Algunas de las características típicas de las aguas subterráneas son turbidez débil, temperatura constante y composición química constante y generalmente ausencia de oxígeno. El agua subterránea en circulación puede ser de gran variación en la composición con la apariencia de contaminantes y varios contaminantes.

Adicionalmente, las aguas subterráneas son bastante puras desde un punto microbiológico.

## 1.2.TIPOS DE AGUA PURIFICADA

La calidad del agua en la industria farmacéutica está regulada por las diferentes Farmacopeas y en concreto por la Farmacopea Americana (USP) y la Farmacopea Europea (PhEur). La Farmacopea Americana define dos calidades de agua: agua purificada (PW) y agua para inyectables (WFI) (tabla 1.1).

	Agua Purificada PW	Agua para Inyectables WFI
Conductividad	<1,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C	<1,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C
Bacterias	<100 ufc/ml	<10 ufc/100 ml
Carbono orgánico total TOC	<500 $\mu\text{g C/l}$	<500 $\mu\text{g C/l}$
Endotoxinas por LAL	No aplicable	<0,25 EU/ml

Tabla 1.1. Especificaciones Farmacopea Americana USP28-NF23

Fuente: norma USP28-NF23

### 1.2.1.Agua para inyección.

Se emplea como excipientes en la producción de preparaciones parentales y en otras preparaciones donde se debe controlar el contenido de endotoxinas así como en otras aplicaciones farmacéuticas, como por ejemplo la limpieza de determinados equipos y componentes que entran en contacto con el producto parental. La calidad mínima del agua de alimentación para la generación de agua para inyección es la del agua potable, según le definen Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EEUU, la Unión Europea, Japón o la Organización Mundial de la Salud (OMS). Cuánta agua de alimentación puede someterse a tratamiento previo para hacerla adecuada para su posterior purificación. El agua terminada debe cumplir con todos los requisitos químicos para el agua purificada así como con la especificación adicional de endotoxinas bacterianas.

Dado que las endotoxinas bacterianas son producidas por tipos de microorganismos proclives a habitar en el agua, los equipos y procedimientos usados por el sistema

para purificar, almacenar y distribuir el agua para inyección deben estar diseñados para reducir al mínimo o evitar la contaminación microbiana y para eliminar endotoxinas que ingresan desde el agua inicial. Los sistemas de agua para inyección se deben validar para producir y distribuir esta calidad de agua de manera confiable y regular.

#### **1.2.1.1. Requerimientos para el agua de inyección en el área farmacéutica**

Los sistemas de producción, almacenamiento y distribución de agua, en el área farmacéutica deben ser diseñados, instalados, puestos en arranque, validados y mantenidos para asegurar la producción confiable de una calidad de agua apropiada. No deben ser operados por encima de la capacidad para la que fueron diseñados.

El agua debe ser producida, almacenada y distribuida de tal manera que se prevenga la contaminación inaceptable ya sea química, física o microbiológica (Ejemplo: con polvo y suciedad).

Debe monitorearse con frecuencia la calidad química, microbiológica y cuando corresponda la contaminación por endotoxinas de las fuentes de agua y agua tratadas. Se debe monitorear también el desempeño de los sistemas de purificación, almacenamiento y distribución del agua.

Se mantendrá registro de los resultados del monitoreo y cualquier acción tomada por tiempo adecuado suficiente. Dónde la sanitización química de los sistemas de agua sea parte del programa de control de biocontaminación, es necesario seguir un procedimiento validado para asegurar que el agente sanitizante sea removido con efectividad.

### **1.3. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA**

A continuación se ofrece una breve explicación de operaciones unitarias seleccionadas, el propósito es destacar temas que se centran en el diseño y los parámetros de seguimiento que facilitan la operación del sistema de agua.



### **1.3.1. Tratamiento de filtración previa**

El propósito de la filtración previa también denominada filtración inicial gruesa o de profundidad es eliminar los contaminantes sólidos de hasta un tamaño de 30  $\mu\text{m}$  provenientes del suministro de agua que ingresa al sistema y proteger de las partículas a los componentes del mismo que se ubican a continuación, dado que aquellas pueden inhibir su desempeño y acortar su vida útil.

Esta tecnología de filtración gruesa causa principalmente efectos de tamizado para la captura de partículas y un medio de filtración de profundidad que tiene una gran capacidad de carga sucia. Tales unidades de filtración están disponibles en una amplia gama de diseños y para diferentes aplicaciones.

### **1.3.2. Carbón Activado (CA)**

El carbón activado es un adsorbente universal. Es decir, retiene todo tipo de moléculas fluidas en estado líquido o vapor. Sin embargo prefiere las moléculas más ramificadas. Todo lo anterior siempre y cuando la molécula quepa dentro de los poros del carbón. Las moléculas que más tienden a cumplir con esta característica son las de tipo orgánico. Es por ello que para fines prácticos, se define al carbón activado como un adsorbente de moléculas orgánicas.

### **1.3.3. Ósmosis Reversa (OR)**

La ósmosis reversa es el mejor método para obtener un agua potable de máxima calidad mediante un método natural, sin usar productos químicos.

Su principio de su funcionamiento es el mismo que sigue nuestro cuerpo, en el que el agua se distribuye mediante la ósmosis natural, que separa las impurezas y la convierte en un beneficio para nuestro organismo.

La ósmosis inversa es el proceso físico a través del que se hace pasar el agua por una membrana semipermeable, con el fin de filtrar contaminantes, como pequeñas

partículas, metales pesados, exceso de sales, sustancias tóxicas y microorganismos.

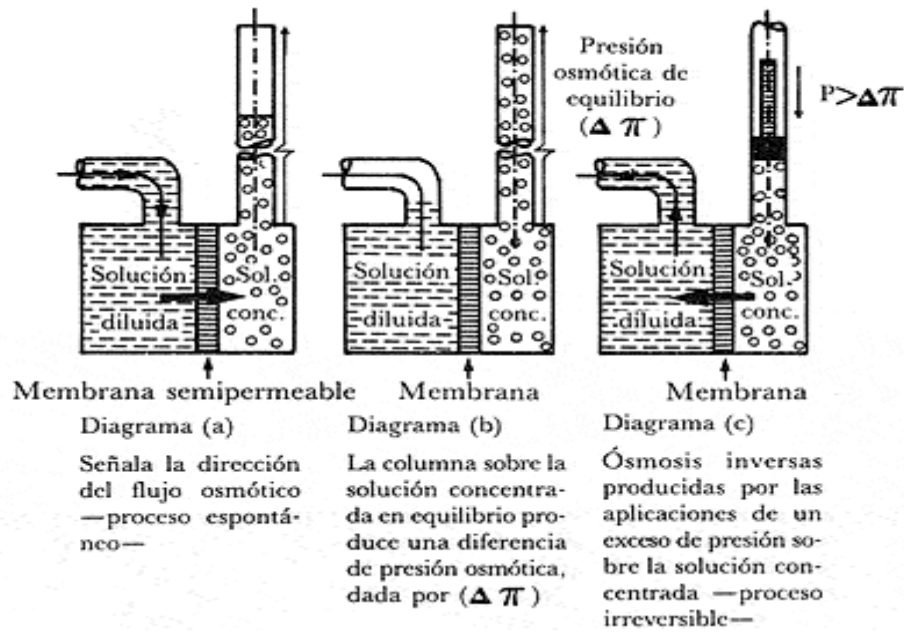


Gráfico 1.1. Esquema del principio de ósmosis inversa

Fuente: [http://www.acquamatter.com/osmosis\\_inversa\\_proceso.htm](http://www.acquamatter.com/osmosis_inversa_proceso.htm)

El fenómeno de ósmosis normal, también denominada ósmosis directa, resulta ser la solución lógica de un sistema no continuo entre dos recipientes que contienen soluciones salinas con diferentes concentraciones y que se ponen en contacto mediante una membrana semipermeable al paso de la solución.

Todo flujo osmótico se origina desde el recipiente de solución más diluida hasta el recipiente de solución más concentrada (Ver diagrama a, del gráfico 1.1). Esto se da como un proceso espontáneo para lograr llevar el sistema a un estado equilibrado en cuanto a concentración de sales y que es un ejemplo de la ley general de entropía. Este fenómeno ocurre cuando el flujo osmótico aumenta el nivel de una columna de líquido sobre la disolución concentrada y cuyo peso produce dicha presión osmótica de equilibrio (Ver diagrama b, del gráfico 1.1).

La segunda ley de la termodinámica garantiza que este proceso es siempre un proceso irreversible, en vista de que para devolver el sistema a su estado inicial, tiene la necesidad de efectuar activamente un trabajo mecánico neto y positivo contrario al aportado por el sistema. Dicha labor mecánica se realiza en la solución más concentrada, de tal forma que el flujo líquido del solvente ocurre en sentido opuesto al flujo líquido osmótico original tal como se describe en la ósmosis inversa. Para que tal cosa suceda es imprescindible que la presión aplicada tenga un valor mayor que la diferencia de las presiones osmóticas entre los recipientes (Ver el diagrama c del gráfico 1.1).

#### **1.3.3.1. Beneficios de la OR**

La OR garantiza el tratamiento físico, químico y bacteriológico del agua, que, en su estado natural, contiene gran cantidad de bacterias, procedentes de las heces de los animales o desechos vegetales arrastrados por las lluvias, y un elevado contenido de sales, como sodio, calcio, boro, hierro, cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos. Algunas de las citadas sustancias no son visibles.

- El sistema puede eliminar el óxido y residuos microscópicos.
- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua hasta el 99%.
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Puede filtrar, hierro, manganeso y sal, así como otros minerales perjudiciales.
- También productos químicos como el flúor y cloro puede ser removido.
- Las bacterias no pueden pasar a través de los filtros.
- El sistema de ósmosis inversa no pierde tanta agua, en comparación con otros sistemas de filtración.
- El agua se convierte en potable y usted puede ahorrar algo de dinero en agua embotellada.

#### **1.3.4. Electrodesionización (EDI)**

Esta nueva tecnología es un intercambio iónico, resultando en un proceso que elimina de manera efectiva los iones del agua a la vez que las resinas de intercambio

iónico son continuamente regeneradas por una corriente eléctrica. Esta regeneración electroquímica se sirve de un medio eléctricamente activo y de un potencial eléctrico para influenciar el transporte iónico y sustituye a la regeneración química de los sistemas convencionales de intercambio iónico.

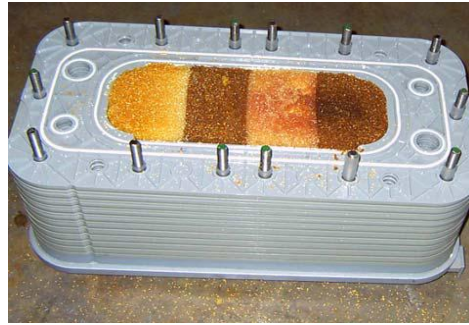


Gráfico 1.2. Esquema vistas de un módulo de EDI.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos51/intercambio-ionico/intercambio-ionico2.shtml>

La EDI (gráfico 1.2) produce agua de proceso industrial de la más alta calidad, usando 95% menos de productos químicos que la tecnología convencional de intercambio iónico. Con el sistema de EDI, membranas y electricidad reemplazan a los millones de galones de productos químicos ácidos y cáusticos que los antiguos procesos requerían diariamente.

#### **1.3.4.1. Aplicaciones de los EDI**

La EDI es útil para cualquier aplicación que requiera la eliminación constante y económica de las impurezas del agua sin necesidad de usar productos químicos peligrosos. Algunos ejemplos son:

- Reutilización del agua residual en la industria de la alimentación y la bebida
- Producción química
- Biotecnología
- Electrónica
- Cosmética
- Laboratorios

- Industria farmacéutica
- Agua para alimentación de calderas
- Reducción de TOC (Carbono Orgánico Total).

#### **1.3.4.2. Ventajas de los EDI**

Algunas de las ventajas de la EDI frente a los sistemas convencionales de intercambio iónico son:

- Operación simple y continua
- El uso de productos químicos de regeneración es totalmente eliminado
- Operación y mantenimiento económicos
- Bajo consumo energético
- Requiere muy pocas válvulas automáticas o secuencias complejas de control que puedan necesitar de la atención de un operador
- Ocupa menos espacio
- Produce calidad constante de agua sin fluctuaciones de flujo
- No contaminante, seguro y fiable: no hay manejo de productos químicos, no se producen efluentes peligrosos, no se vierten resinas.
- Elimina efectivamente las partículas inorgánicas disueltas
- En combinación con la ósmosis inversa como pre tratamiento, elimina más del 99,9% de los iones del agua
- Los equipos EDI, no necesitan sustancias regeneradoras ya que la regeneración de las resinas de estos equipos se realiza de forma automática mediante la acción de un campo eléctrico.

#### **1.3.4.3. Desventajade los EDI**

- Necesita de una purificación previa.

## 1.4. CALENTADOR DE AGUA

“En la actualidad las resistencias para calentar se utilizan para infinidad de aplicaciones. La gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%). Esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000° C), es resistivo (condición necesaria para generar calor), es muy resistente a los impactos y es inoxidable.”<sup>2</sup>

Un calentador de agua que será utilizado en la industria farmacéutica, deberá ser de tipo resistivo, ya que permite obtener agua caliente de una manera limpia y sanitaria.

## 1.5. ENERGÍA TOTAL DE UN FLUIDO

La energía total que tiene un fluido en movimiento es dada por la ecuación 1.

$$E_{\text{total}} = E_p + E_c + E_f \quad ; \quad E_{\text{total}} = Wz + \frac{WV^2}{2g} + \frac{W}{\gamma} p \quad (1)$$

Cada término recibe el nombre de cabeza de energía.

## 1.6. ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA

La ecuación general de la energía (ecuación 2) es una extensión de la ecuación de Bernoulli, que permite calcular las pérdidas y ganancia de energía en un sistema de flujo según gráfico 1.3

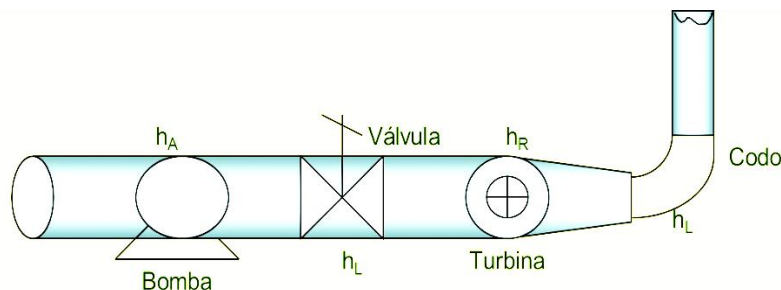


Gráfico 1.3. Esquema ecuación general de la energía

Fuente: [www.galeon.com/fluidos1/ecuaciones.ppt](http://www.galeon.com/fluidos1/ecuaciones.ppt)

<sup>2</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_calentadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_calentadora)

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_A - h_R - h_L = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad (2)$$

$h_A$  = Energía añadida o agregada al fluido por una bomba u otro dispositivo.

$h_R$  = Energía retirada o removida del fluido mediante un dispositivo mecánico, por ejemplo una turbina.

$h_L$  = Pérdidas de energía por parte del fluido por efecto de fricción o por presencia de válvulas, conectores, y rugosidad de tuberías.

$\frac{P_1}{\gamma}$  = Presión del tanque de succión dividido para el peso específico del fluido (en metros de columna de agua)

$\frac{P_2}{\gamma}$  = Presión del tanque de descarga dividido para el peso específico del fluido (en metros de columna de agua)

$Z_1$  = Punto cero tomado desde la superficie del tanque de succión (medido en metros de columna de agua).

$Z_2$  = Altura del líquido tomado desde la superficie del tanque de succión hasta la superficie del líquido del tanque o tubería en la descarga (medido en metros de columna de agua).

$\frac{v_1^2}{2g}$  = Velocidad de succión elevada al cuadrado dividida para la gravedad multiplicada por dos (medida en metros de columnas de agua).

$\frac{v_2^2}{2g}$  = Velocidad de descarga elevada al cuadrado dividida para la gravedad multiplicada por dos (medida en metros de columnas de agua)

### 1.6.1. Tipos de flujo en un sistema de transporte

Para analizar el comportamiento del fluido que en nuestro caso es agua, dependerá si el flujo es laminar o turbulento como se estudiará posteriormente en el cálculo.

Para predecir el tipo de flujo de la tubería se utilizará la ecuación número 3.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

$$NR = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (4)$$

Dónde:

NR= Número de Reynolds.

$\nu$  = Velocidad del fluido.

D = Diámetro interior de la tubería

$\mu$  = Viscosidad dinámica

$\nu$  = Viscosidad cinemática

$\rho$  = Densidad del líquido

NR < 2000 Flujo laminar

2000 < NR < 4000 Región Crítica

NR > 4000 Flujo turbulento

### 1.6.2. Pérdidas por fricción en flujo laminar

Si existe este tipo de flujo en el sistema purificador, el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido (Agua), se crea un esfuerzo cortante entre sus capas.

“Se pierde energía del fluido por acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los



parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como la ecuación de Hagen-Poiseuille.”<sup>3</sup>

$$h_l = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \quad (5)$$

La pérdida de energía, debido a la fricción en el flujo laminar puede calcularse con la ecuación de Darcey o con la ecuación Hagen-Poiseuille.

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ Ecuación de Darcey} \quad (6)$$

$$h_l = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \text{ Ecuación de Hagen - Poiseuille} \quad (7)$$

### 1.6.3. Pérdidas por fricción en flujo turbulento

Si el eflujo que circula por la tubería es turbulento, se debe calcular el número de Reynolds y la rugosidad de la tubería. La rugosidad es la relación del diámetro de la tubería  $D$  a la rugosidad promedio de la pared  $\epsilon$ .

El coeficiente de fricción lo podemos determinar de acuerdo al diagrama de Moody el cual muestra la gráfica del coeficiente de fricción ( $f$ ) versus el número de Reynolds  $NR$ , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad ( $D/\epsilon$ ).

### 1.6.4. Diagrama de Moody

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en el Gráfico 1.4. El diagrama muestra la gráfica

---

<sup>3</sup> Robert L.Mott, mecánica de fluidos sexta edición, pag.233

del factor de fricción  $f$  versus el número de Reynolds (NR), con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa ( $D/\varepsilon$ ).

Moody a partir de datos experimentales. Se grafica en escalas logarítmicas tanto a  $f$  como a NR, debido al rango tan amplio de valores que se obtiene. A la izquierda de la gráfica, para el número de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación  $f = 64/\text{NR}$  para el flujo laminar.

Para  $2000 < \text{NR} < 4000$  no hay curvas, debido a que esta zona crítica entre el flujo laminar a turbulento da como resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de  $\text{NR} = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de rugosidad relativa. Se puede hacer algunas observaciones importantes acerca de estas curvas.

1. Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa  $D/\varepsilon$ , el factor de fricción  $f$  disminuye.
2. Para una rugosidad relativa, el factor de fricción  $f$  disminuye con el aumento de número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de tubería completa.
3. Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ningún efecto sobre el factor de fricción.
4. Conforme se incrementa la rugosidad relativa, también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa.

## Diagrama de Moody

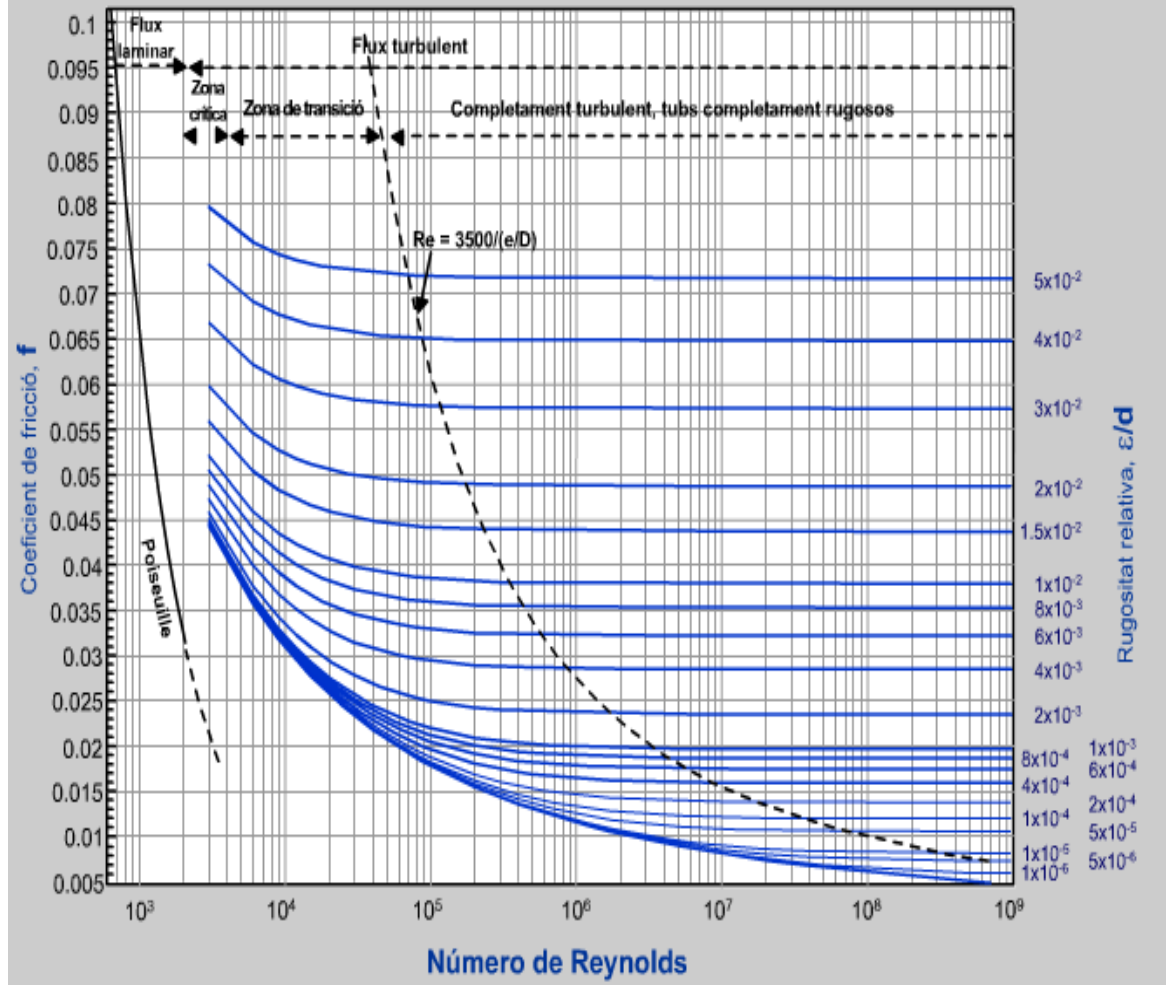


Gráfico 1.4. Diagrama de Moody

Fuente: <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.htm>

El gráfico 1.4 es una representación simplificada del diagrama de Moody donde identificamos las zonas diferentes, el factor de fricción más bajo posible para un número de Reynolds dado en el flujo turbulento está indicado por la línea de tuberías lisas. Entre la línea de tuberías lisas y la línea que señala al inicio de la zona de turbulencia completa esta la zona de transición. Aquí, las líneas distintas  $D/\epsilon$  son curvadas y se debe tener cuidado al evaluar el factor de fricción en forma apropiada.

En la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000,  $f$  se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{64}{NR} \quad (8)$$

“Para un flujo turbulento, para valores mayores de 4000,  $f$  se obtiene de la siguiente ecuación”<sup>4</sup>

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7(D/\varepsilon) + \frac{574}{NR^{0,90}}} \right) \right]^2} \quad (9)$$

### 1.6.5. La Tubería Farmacéutica

En la tabla 1.2 se puede ver el valor de  $\varepsilon$  de la rugosidad promedio de las tuberías existentes, para el presente proyecto y para cálculos teóricos, se toma como valor de  $\varepsilon = 0.0015\text{mm}$ , ya que como en los párrafos anteriores se dijo que la tubería de acero inoxidable 316L tiene que ser electro pulida (acabado espejo), entonces hacemos referencia al valor de rugosidad del vidrio.

**Coefficientes de rugosidad absoluta  $\varepsilon$ . (Ahmed N., 1987).**

Material	Rugosidad absoluta $\varepsilon$ (mm)
Concreto centrifugado nuevo**	0.16
Concreto centrifugado con protección bituminosa**	0.0015 a 0.125
Concreto de acabado liso**	0.025
Concreto alisado interiormente con cemento**	0.25
Concreto con acabado rugoso**	10.00
Acero bridado	0.91 a 9.10
Tubería de acero soldada	0.046
Acero comercial o hierro dulce	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.120
Hierro fundido	0.260
Hierro fundido oxidado**	1.0 a 1.5
Hierro galvanizado	0.15
Madera cepillada	0.18 a 0.90
Arcilla vitrificada*	0.15
Asbesto cemento nuevo**	0.025
Asbesto cemento con protección interior de asfalto**	0.0015
Vidrio, cobre, latón, madera bien cepillada, acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura, tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule. **	0.0015

\* Tomado de Saldarriaga J., 1998.

\*\* Tomado de Sotelo A., G., 1982.

Tabla 1.2. Coeficiente de rugosidad absoluta

Fuente: Flujo Uniforme y permanente, Gary Parker, pág. II4

<sup>4</sup> Robert L.Mott, Mecánica de fluidos sexta edicion,pag.242

### 1.6.6. Pérdidas mayores

Las pérdidas mayores son generadas en un sistema que genera turbulencia local; lo que ocasiona que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción por ejemplo un cambio en la velocidad o dirección del flujo hay pérdidas de este tipo. Básicamente este análisis se utiliza para el cálculo de pérdidas de energía en la tubería para conducir un fluido. Para el análisis se utilizará la ecuación 6.

### 1.6.7. Pérdidas menores

En el análisis de las pérdidas menores de energía que se produce en el sistema por accesorios tales como: filtros, codos, expansión o contracción de la sección del fluido, o por las válvulas utilizadas, se utilizara la siguiente ecuación:

$$h_l = k * \frac{V^2}{2 * g} \quad (10)$$

Dónde:

$h_l$  = Pérdida menor

$k$  = coeficiente de resistencia

$V$  = velocidad promedio del flujo en el tubo, donde ocurre la pérdida menor.

La magnitud del coeficiente de rugosidad depende de la geometría del dispositivo que ocasionó las pérdidas, y a veces de la velocidad de flujo.

#### 1.6.7.1. Pérdidas en la salida del fluido

“Cuando el fluido pasa por la tubería de descarga al tanque de almacenamiento como se indicara en el gráfico 1.5, su velocidad disminuye hasta cero. En el proceso

se disipa la energía cinética que el fluido tenía en la tubería de descarga, indica por la cabeza de  $\frac{v_1^2}{2g}$ . Por lo tanto se calculara con la siguiente ecuación 10:<sup>5</sup>

Esta ecuación se le denomina como energía perdida de salida. Para esto utilizamos un valor de  $K = 1$ . Se emplea este factor sin que importe la forma de la salida.

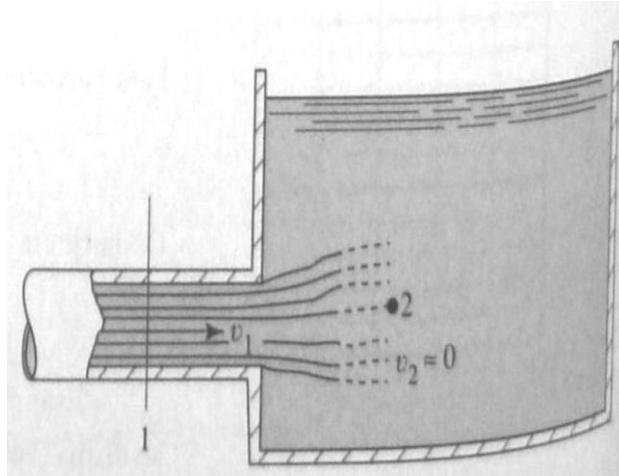


Gráfico 1.5. Pérdida en la salida

Fuente: Robert L.Mott, Mecánica de fluidos sexta edición, pag.284

### 1.6.7.2. Pérdidas en la entrada de un fluido

La pérdida ocurre cuando el flujo del tanque de salida, relativamente grande con relación al diámetro de la tubería de succión, el fluido se ve sometido a un cambio de velocidad de casi cero, en el tanque, a una grande, que se representa en la tubería.

Esta ecuación se le denomina como energía perdida de salida. Para esto utilizamos un valor de  $K = 0.04$  se emplea este factor porque la tubería conectada al tanque tiene que ser chaflanada o tener un radio por exigencia de la norma GMP.

En el gráfico1.6 se muestra los coeficientes de resistencia más utilizados para calcular las pérdidas de energía según la ecuación 10.

<sup>5</sup>Robert L.Mott, Mecánica de fluidos sexta edicion,pag.292

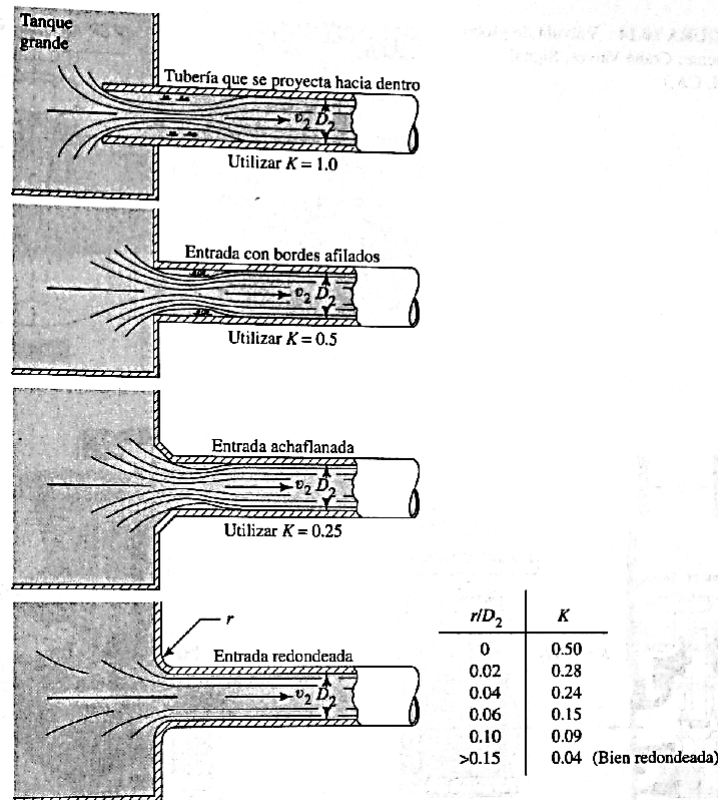


Gráfico 1.6. Pérdida en la entrada

Fuente: Robert L.Mott, Mecánica de fluidos sexta edición, pag.293

### 1.6.7.3. Pérdidas en válvulas

La pérdida de energía que representa cuando el fluido (agua), circula por las válvulas (globo, compuerta, bola, diafragma, etc.), se calcula con la ecuación de pérdidas menores indicadas anteriormente. Sin embargo, el método para determinar el coeficiente de resistencia  $k$  es diferente. Dicho análisis se lo realizara con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Le}{D} \times fT \quad (11)$$

Dónde:

$k$  = coeficiente de resistencia

$\frac{Le}{D}$  = relación de longitud equivalente con respecto al diámetro

$f_T$  = factor de fricción dependiendo del tipo de elemento

La tabla 1.3 indica el valor de  $Le/D$ , llamado relación de longitud equivalente y se considera para un tipo dado de válvula o acoplamiento.

Accesorio	$Le/D$
<b>Válvulas completamente abiertas</b>	
- Válvula de compuerta	8
- Válvula de globo	340
- Válvula de ángulo	150
- Válvula de bola	3
- Válvula de cheque	
Globo	600
Angulo	55
- Válvula de pie con coladera	
Disco cabezal	420
Disco con bisagra	75
Codo de 90°	30
Codo de 45°	16
Retorno a 180°	50
Tee de paso directo	20
Tee de salida lateral	60

Tabla 1.3. Factor de resistencia en válvulas y acoplamientos

Fuente: Flujo Uniforme y permanente, Gary Parker, pág. II17

Los valores para  $f_T$  que es el factor de fricción de la tubería varía según su tamaño y el de la válvula, lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia  $K$  también varíe, la tabla 1.4 presenta una lista de los valores de  $f_T$  para tamaños estándar de tubería de acero comercia, nueva y limpia.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Tabla 1.4. Factor de fricción para tubería

Fuente: Mott, Robert, Mecánica de fluidos, sexta edición, pág. 297



### 1.6.8. Energía Potencial de un fluido

Sea una columna de fluido de una altura  $h$  y un área  $A$ , como se muestra en el gráfico 1.7. Para elevar esta columna de agua a una altura total  $h$ , significa que se hace un trabajo en contra de la fuerza de gravedad. La fuerza requerida para hacer esto se expresa en la ecuación 12.

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad.

$$F = M \cdot g \quad (12)$$

$$\text{La masa de la columna (M) se expresa en la ecuación } M = \rho \cdot A \cdot h \quad (13)$$

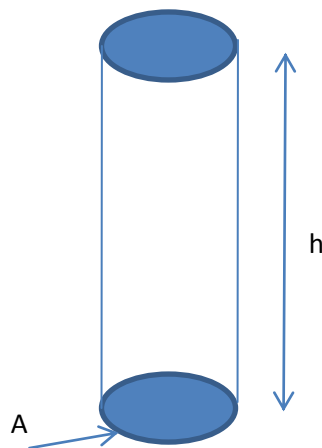


Gráfico 1.7. Esquema de una columna de un fluido

Fuente: Autores

Ahora se despeja la ecuación 12, para encontrar la fuerza requerida para elevar esta columna de fluido en contra de la fuerza de gravedad:

$$F = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \quad (14)$$

La cantidad de energía requerida para llevar a cabo la acción es:  $E = F \cdot S$

En este caso no todo el fluido está siendo levantado a una altura  $h$ , sino la altura promedio que se desplaza el fluido es  $h/2$ , por lo que se puede escribir como:

$$E_p = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \cdot S \quad \text{en donde: } S = h / 2$$

Esta es la energía potencial ( $E_p$ ) de la columna.

En el teorema de Bernoulli las energías se representan como presiones. Tomando en cuenta la ecuación de presión, se obtiene lo siguiente:

$$P = F / A \tag{15}$$

Y de la ecuación:  $E = F \cdot S$        $S =$  distancia recorrida

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:  $P = E / (A \cdot S)$

Entonces si se divide la ecuación de la energía potencial ( $E_p$ ) entre  $(A \cdot S)$  queda en términos de presión:

$$P_p = \rho \cdot g \cdot h \quad ; \quad P = \gamma \cdot h \tag{16}$$

Esta ecuación representa la energía potencial en términos de presión.

## CAPÍTULO II

### 2.0. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

#### 2.1. ESPECIFICACIONES

##### 2.1.1. Parámetros de diseño

Para determinar los parámetros de diseño se partirá de la capacidad máxima de producción, 2500 litro/hora.

Se debe tomar en cuenta la calidad de agua de suministro, para lo cual se tomó una muestra del agua proveniente de un pozo ubicado en la Av. Manuel Córdova Galarza Km. 6 ½. La tabla 2.1 muestra los resultados obtenidos.

Valor de pH = 6.27

Valor de conductividad = 520 uS/cm

Compuestos Inorgánicos			
Item	Parámetros	Unidades	Resultado
1	CLORUROS	mg/L	27,70
2	HIERRO	mg/L	0,01
3	SULFATOS	mg/L	55,00
4	MANGANESO	mg/L	< 0,001
5	SODIO	mg/L	79,97
6	BORO	mg/L	0,10
7	COBRE	mg/L	< 0,01
Características Físicas			
Item	Parámetros	Unidades	Resultado
1	COLOR	U.DE COLOR	1,00
2	TURBIDEZ	F.T.U	2,00

Tabla 2.1. Características Físico-Químicas del agua de pozo

Fuente: Autores

### **2.1.2. Parámetros funcionales del sistema de agua purificada**

Para obtener un óptimo rendimiento en la producción de agua purificada se debe tener un adecuado diseño, el cual debe satisfacer todos los requerimientos farmacopeicos y de diseño propio del equipo:

- El equipo purificador de agua deberá trabajar de manera continua y autónoma.
- Se debe tomar en cuenta que el producto final será utilizado como materia prima en la fabricación de medicamentos, por lo que debe garantizar la salud de los pacientes, con este antecedente se seleccionarán materiales que cumplan las normas farmacéuticas.
- El equipo deberá ser fácil de operar, mantener y sanitizar.
- Su diseño deberá ser de tal manera que no existan tramos en el que el agua se quede estancada, ya que sería fuente de contaminación.
- Deberá permitir calentar el agua desde la temperatura ambiente (20°C) hasta 80 °C – 85°C.
- El diseño de los tanques, tanto desferrizador y de carbón activado deberá permitir la regeneración del arena y del carbón, por medio del proceso de retrolavado.

### **2.1.3. Ambiente de trabajo**

El ambiente de trabajo es el medio donde va a funcionar el equipo purificador de agua. Los principales factores a tener en cuenta son: la temperatura y el porcentaje de humedad relativa, para lo cual se ha tomado datos dos variables tanto en la sierra como en la costa ecuatoriana.

- En la costa:  
Promedio; 75 % hR. y 26 °C.
- En la sierra:  
Promedio; 65 % hR y 18 °C.

#### **2.1.4. Materiales a utilizarse**

Debido al diseño y normativas se utilizarán materiales que no se puede encontrar localmente, por lo que es necesario realizar cotizaciones en países como Alemania, Brasil, etc.

Todo accesorio, material, tubería e instrumentación deberán ser grado farmacéutico.

La USP34 en las páginas 875 a 882 describe temas que se centran en el diseño, instalación, operación, mantenimiento y parámetros de seguimiento que facilitan la realización de un sistema de agua.

#### **2.2. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para el desarrollo del diseño del sistema purificador, se ha considerado dos alternativas en cuanto a las tecnologías para la obtención de agua purificada para la Industria Farmacéutica.

Lo recomendado por la FARMACOPEA Americana es:

- Obtención de agua purificada por el Método de Ósmosis Reversa.
- Obtención de agua purificada por el método de Destilación.

Se toman en cuenta los siguientes factores:

- ✓ Costo de operación
- ✓ Facilidad de mantenimiento
- ✓ Facilidad de operación
- ✓ Seguridad
- ✓ Eficiencia
- ✓ Facilidad de instalación
- ✓ Requerimientos farmacéuticos
- ✓ Proyección a futuro

## 2.2.1. Alternativa 1. Ósmosis Reversa

### 2.2.1.1. Descripción

La ósmosis reversa es un proceso que soluciona muchas de las deficiencias de la destilación.

En la práctica, el agua de alimentación se bombea a un recipiente de presión que contiene una espiral o un conjunto de fibras huecas de membranas semipermeables. El agua purificada pasa por la membrana para formar el ‘permeado’. Los contaminantes se acumulan en el agua residual, denominada ‘concentrado’, que se purga continuamente hasta su vaciado. Las membranas de ósmosis reversa tienen una excepcional eficacia de purificación, la ósmosis reversa es una tecnología muy rentable para un sistema de purificación de agua. Sin embargo, está limitada por el índice relativamente lento de producción y, por lo tanto, se utiliza normalmente para rellenar un depósito antes del uso o de una purificación adicional.

“La ósmosis reversa ofrece protección al sistema frente a las bacterias y microorganismos, y a menudo se combina con el intercambio iónico para mejorar considerablemente la calidad del agua producida”<sup>6</sup>.

### 2.2.1.2. Partes

Para el diseño del sistema se seleccionó las siguientes operaciones:

**a) Tanques de arenas o sedimentos;** El agua potable se filtra en una unidad de pretratamiento con un material desferrizador (arenas de filtración).

Esta etapa es necesaria, ya que elimina contaminantes sólidos de hasta un tamaño superior a 10 micras, que no caben en la mayoría de los poros que contiene el carbón. Entre este tipo de moléculas grandes se encuentran los ácidos que se generan durante la descomposición de los vegetales, y suelen estar presentes en cuerpos de agua

---

<sup>6</sup><http://es.scribd.com/doc/4892854/Destilacion>

superficiales. Es por ello, que un agua de este tipo (pozo) de fuente debe tratarse por medio de filtración de arenas, previo al carbón activado. De lo contrario, el carbón se satura con extrema rapidez.

**b) Tanque de carbón activado;** Elimina olor, sabor, color, aceites disueltos, algunos metales pesados (níquel, cromo y cobre), pero el carbón activado es usado principalmente para eliminar el cloro residual, que es agregado al agua como microbicida, esta acción se la denomina de cloración.

Es necesario eliminar el cloro ya que produce un mal sabor, es tóxico y ataca a las resinas de intercambio iónico, así como a las membranas de osmosis reversa.

**c) Pre-filtro;** Los cartuchos sintéticos son relativamente sensibles al cloro. Es por esta razón que se utiliza un pre-filtro de carbón activo, quien atrapa esta sustancia. Existen dos pre-filtros de 30 micras y dos prefiltros de 10 micras que permiten capturar los sedimentos mayores de 10  $\mu$ m. Al utilizar estos pre-filtros permite alargar la vida de la membrana, ya que impide que la membrana se tapone con las arenas o por la frotación de estas.

Es importante tener en cuenta que estos pre-filtros tienen una vida útil, luego de lo cual deben ser reemplazados.

**d) Ósmosis Reversa (OR)** Este procedimiento garantiza el tratamiento purificador físico, químico y bacteriológico del agua. Funciona mediante membranas semipermeables, enrolladas en espiral, que actúan de filtro, reteniendo y eliminando la mayor parte de los contaminantes al tiempo que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniendo un agua pura. Por la capacidad de producción del equipo y según el catálogo de las membranas seleccionadas, se instalan dos membranas en serie que tienen una eficiencia recomendada del 50%.

**c) Sistema de Electrodesionización (EDI);** Es un método eficaz recomendado utilizar luego de las membranas de osmosis reversa, para mejorar los atributos químicos del agua. Son dos los EDI conectados en serie, ya que, el catálogo de los EDI seleccionados nos indica la capacidad de producción de estos.

**d) Tanques de almacenamiento de agua;** El almacenamiento y distribución es considerado como parte clave de todo el sistema, y debe ser diseñado para ser completamente integrado totalmente con los componentes del sistema de purificación de agua.

“Los sistemas de almacenamiento y distribución deben ser configurados a fin de prevenir la recontaminación del agua después de su tratamiento y estar sujeto a monitoreo en línea y fuera de línea para asegurar que se mantienen las especificaciones apropiadas para el agua.”<sup>7</sup>

**e) Sistema de distribución;** La configuración del sistema de distribución permite un flujo constante de agua en la tubería a través de la recirculación y evita por completo los segmentos sin salida o no recirculantes.

Las bombas están diseñadas para que proporcionen condiciones de flujo de turbulencia para facilitar la distribución exhaustiva de calor, el flujo turbulento también retarda el desarrollo de biopelículas.

### **2.2.1.3. Ventajas**

Algunas ventajas de la ósmosis inversa frente a otros tratamientos de agua convencionales:

1. Tecnología utilizada es de primer nivel. Se dice “Tratamiento Limpio” porque prácticamente logra desaparecer el uso de químicos en el proceso.
2. Se reducen importantes costos dentro de la operación.
3. Producción dentro de sistemas automatizados. Las mediciones son mucho más controladas y más confiables.
4. Los espacios son reducidos y los flujos y calidades permanecen constantes.
5. Y su ventaja más preciada: produce agua sanitaria, ya que pueden lograr mejora la calidad química y de contenido microbiano.

---

<sup>7</sup>Reporte técnico de la OMS. Serie N° 929, 2005



#### **2.2.1.4. Desventajas**

- De cada 1 galón producido, se pierde otro galón. Esto hace el proceso un poco caro.

#### **2.2.2. Alternativa 2. Destilación**

##### **2.2.2.1. Descripción**

La destilación es un proceso de purificación de agua de eficacia comprobada durante mucho tiempo en el que el agua es tratada hasta que se evapora y el vapor se condensa y recoge. El equipo necesario no es muy caro, pero consume mucha energía. Normalmente utiliza 1kW de electricidad por litro de agua producida. Según el diseño del alambique, el agua destilada puede tener una resistividad de unos 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y será estéril cuando se produzca en el momento si se utiliza equipo diseñado específicamente, pero no así si no se almacena cuidadosamente. Además, las impurezas volátiles tales como el dióxido de carbono, sílice, amoníaco y varios compuestos orgánicos ‘pasarán’ al destilado.

##### **2.2.2.2. Partes**

En un aparato destilatorio, llamado por lo general alambique, hay que considerar tres partes:

- a) La caldera ó recipiente donde se coloca el líquido
- b) Cubierta donde se reúne el vapor
- c) El condensador ó espacio donde este vapor se convierte en líquido.

##### **2.2.2.3. Ventajas**

1. La destilación es efectiva para eliminar las bacterias y virus del agua así como para quitar los metales pesados.
2. Carece de cloro y otros elementos nocivos.

#### **2.2.2.4. Desventajas**

El proceso de destilación es lento y algo ineficiente porque le cuesta de 2 a 5 horas producir un poco de agua purificada y, además, utiliza electricidad durante todo el tiempo. La destilación no elimina ciertos componentes químicos orgánicos que se convierten fácilmente en gases.

### **2.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

#### **2.3.1. Evaluación**

Para una correcta selección de alternativas se considera los parámetros enunciados en la formulación de las alternativas.

#### **2.3.2. Costo de operación**

Los costos involucran, el costo de diseño-construcción y mantenimiento. Factor de ponderación 8/10.

#### **2.3.3. Facilidad de mantenimiento**

Se realiza una evaluación con la que el operador pueda realizar su propio mantenimiento, sin requerir de técnicos especializados. Factor de ponderación 7/10.

#### **2.3.4. Facilidad de operación**

La máquina no debe presentar ninguna dificultad de operación, por lo que cualquier persona la pueda operar con una breve inducción, además esta tiene que ser automática. Factor de ponderación 10/10.

#### **2.3.5. Seguridad**

Es importante que el equipo brinde una adecuada seguridad, tanto al medio como a las personas, por tal motivo debe presentar un factor de ponderación 10/10.

### 2.3.6. Eficiencia

La industria farmacéutica requiere de agua purificada constante, por lo que el sistema purificador tendrá que satisfacer esta necesidad. Factor de ponderación 9/10.

### 2.3.7. Facilidad de instalación

Las técnicas de instalación son importantes porque pueden afectar la integridad mecánica, sanitaria y de corrosión del sistema. Ponderación 8/10.

### 2.3.8. Requerimientos Farmacéuticos

**a) Métodos de conexión:** los componentes de del sistema incluyendo unidades de operación, tanques y cañerías de distribución requieren una atención cuidadosa para excluir problemas potenciales.

**b) Soldaduras:** deben proporcionar juntas confiables que posean superficies internas lisas y exentas de corrosión.

**c) Medidas de control:** incluyen una buena alineación, selección de un tamaño adecuado para las juntas, espaciamiento apropiado, fuerza de sellado uniforme y evitar los accesorios con uniones de rosca.

**d) Selección de componentes:** (equipos auxiliares), se debe realizar asegurándose de que no crean una fuente de ingreso de contaminación. Se deben construir intercambiadores de calor para evitar filtraciones de medio de transferencia de calor al agua para uso farmacéutico. Las bombas deben tener un diseño sanitario con sellos que impidan la contaminación del agua. Las válvulas deben poseer superficies internas lisas como ocurre por ejemplo con las válvulas de diafragma.

Factor de ponderación 10/10.

### 2.3.9. Proyección a futuro

La industria farmacéutica está evolucionando y con tendencia a expandirse, por lo que el sistema purificador tendrá que ser flexible y diseñado para que pueda incrementarse la producción de agua purificada. Factor de ponderación 8/10.

### 2.4 CALIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para seleccionar la alternativa más adecuada se debe seguir un criterio de comparación y ponderación en el cual se valora las alternativas planteadas anteriormente en el literal 2.2, y se procede a calificar a cada alternativa y posteriormente su selección según la tabla 2.2.

CRITERIOS DE COMPARACIÓN	FACTORES DE CALIFICACIÓN / ALTERNATIVAS			
	IDEAL	PONDERADO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Costos de operación	10	8	7	5
Facilidad de mantenimiento	10	7	7	5
Facilidad de operación	10	10	9	7
Seguridad	10	10	9	6
Eficiencia	10	9	9	5
Facilidad de instalación	10	8	7	5
Requerimientos farmacéuticos	10	9	9	6
Proyección a futuro	10	8	8	7
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>69</b>	<b>65</b>	<b>46</b>
		<b>ALTERNATIVA SELECCIONADA</b>	<b>ALTERNATIVA 1</b>	

Tabla 2.2 Análisis y Selección de las alternativas de Diseño

Fuente: Autores

Como resultado de la evaluación de las dos alternativas presentadas, la ALTERNATIVA 1 (Ósmosis Reversa) presenta una puntuación más alta, por lo tanto es la seleccionada para el diseño del sistema purificador de agua.

A continuación se detallan los tanques que intervienen en el diseño del sistema purificador de agua basados en la Alternativa 1.

Las alternativas en cuanto al diseño resultan ser limitadas, ya que las normativas son claras en cuanto a materiales y acabados se refiere, por lo que a continuación se despejarán algunas dudas, en cuanto a la forma de los distintos tanques utilizados en el sistema.

a) Tanques Desferrizador y de Carbón Activado.

Son tanques cilíndricos y verticales, con tapas elípticas 2:1 con capacidad de 400 litros y acabado interior sanitario, esto quiere decir que no deben existir aristas, que son las posibles fuentes de contaminación microbiana, además en su interior deberá existir un espacio libre de un 40% del volumen total del tanque, esto para la expansión de las sustancias (arenas y carbón), cuando se realice un retrolavado, por otro lado deberán ser de tal forma que nos permita la fácil evacuación del agua tanto por la parte superior como inferior, por esta razón la forma de estos tanques no puede ser cuadrada, redonda, rectangular o cualquier otra figura geométrica.

Con respecto al carbón activado hay que mencionar que, existen diversos métodos para eliminar compuestos orgánicos del agua. Cada método es competitivo para un tipo de contaminantes y para un cierto rango de concentración.

El carbón activado es el método más rentable para llevar la concentración de un nivel relativamente bajo a uno muy bajo y hasta prácticamente imperceptible. Es decir, en un método de refinación que se aplica para obtener agua muy pura.

b) Tanques de filtros de 30 um / 10 um y de membranas de ósmosis reversa.

Son tanques cilíndricos horizontales que reposan sobre bases de hormigón, que no se mencionan en este proyecto, ya que este es un tema netamente de obra Civil.

Las dimensiones son basadas en las medidas de los filtros de cartucho y membranas que serán utilizados para el efecto, para el diseño de la forma, estos no pueden tener ninguna otra forma que la de un cilindro, ya que esa es la geometría de los filtros y de las membranas. Además la restricción para su forma es mencionada en el ítem anterior.

c) Tanques calentadores.

En cuanto a su forma, son tanques cilíndricos con tapas semielípticas, estos no pueden optar ninguna otra forma geométrica por las restricciones ya mencionadas en el primer ítem. Sus dimensiones fueron calculadas según el requerimiento del diseño en cuanto a agua caliente se refiere y su fuente de calentamiento se seleccionó que deberá ser por niquelinas o resistencias, ya que es el método recomendado para calentar agua sanitaria.

d) Tanque de almacenamiento

Su diseño se basa en las condiciones de operación para impedir o reducir al mínimo el desarrollo de biopelículas, minimizar la corrosión, ayudar a la higienización química del tanque y proteger la integridad mecánica, es por estas razones que se diseña un tanque cerrado con su interior liso, con capacidad de un espacio libre superior usado para la recirculación de retorno y suministro. El tanque requiere ventilación para compensar la dinámica del cambio de los niveles de agua.

Por todo esto el tanque de almacenamiento tiene una forma cilíndrica vertical con tapas elípticas 2:1 y con patas que soportan su peso en condiciones de operación y no puede ser cuadrado, rectangular, redondo o cualquier otra figura geométrica, por las condiciones ya mencionadas.

## **CAPITULO III**

### **3.0. CÁLCULO, DISEÑO, SIMULACIÓN E INFORMACIÓN TÉCNICA**

En este capítulo se realiza el diseño mediante cálculos, cuya finalidad es determinar en valores numéricos: las pérdidas de energía que genera el sistema, los esfuerzos de algunos elementos sometidos a cargas y su dimensionamiento, la selección de los materiales y accesorios adecuados para la construcción del equipo (bombas, manómetros, válvulas, accesorios, etc.).

En las pérdidas de energía se debe utilizar un cálculo teórico de todos los elementos a instalarse tales como tuberías, codos, válvulas, filtros, medidores de presión, etc; para generar una cuantificación total de las mismas, que ayudarán posteriormente a la selección de las bombas a utilizarse.

El cálculo de esfuerzos por efecto de cargas aplicadas a los mismos, en el sistema se realiza específicamente en: tanques de: almacenamiento, desferrizador, de CA, pre filtros, membranas de OR y de calentamiento.

### **3.1. CÁLCULO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS**

En el estudio de la selección de tuberías se determinan los diámetros de la tuberías y accesorios, mientras mayor es el diámetro su costo será mayor y se sabe mientras menor es el diámetro mayor velocidad tanto de aspiración como descarga.

Toda la tubería será construida de acuerdo con las normas GMP, usando el acero inoxidable 316 L de grado sanitario así como los acoples rápidos tipo tri-clamp y demás conexiones y accesorios.

#### **3.1.1 Condiciones de diseño**

- Mediante este tipo de sistema se puede obtener 2500 litros de agua purificada en una hora.

- La presión necesaria en la membrana semipermeable de ósmosis reversa es de un valor promedio de 5 bares.
- El fluido utilizado es agua a 20° C (Temperatura promedio en Quito)
- El peso específico del agua a 20° C, es  $\gamma = 9,97 \text{ kN/m}^3$
- Densidad del agua a 20° C,  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
- Viscosidad dinámica del agua a 20° C  $\mu = 1.02 \times 10^{-3} \text{ NS/m}^2$

### **3.1.2. Partes y etapas de purificación del sistema**

El gráfico 3.1 muestra un esquema del diseño referente a todas las partes y etapas del sistema purificador de agua.



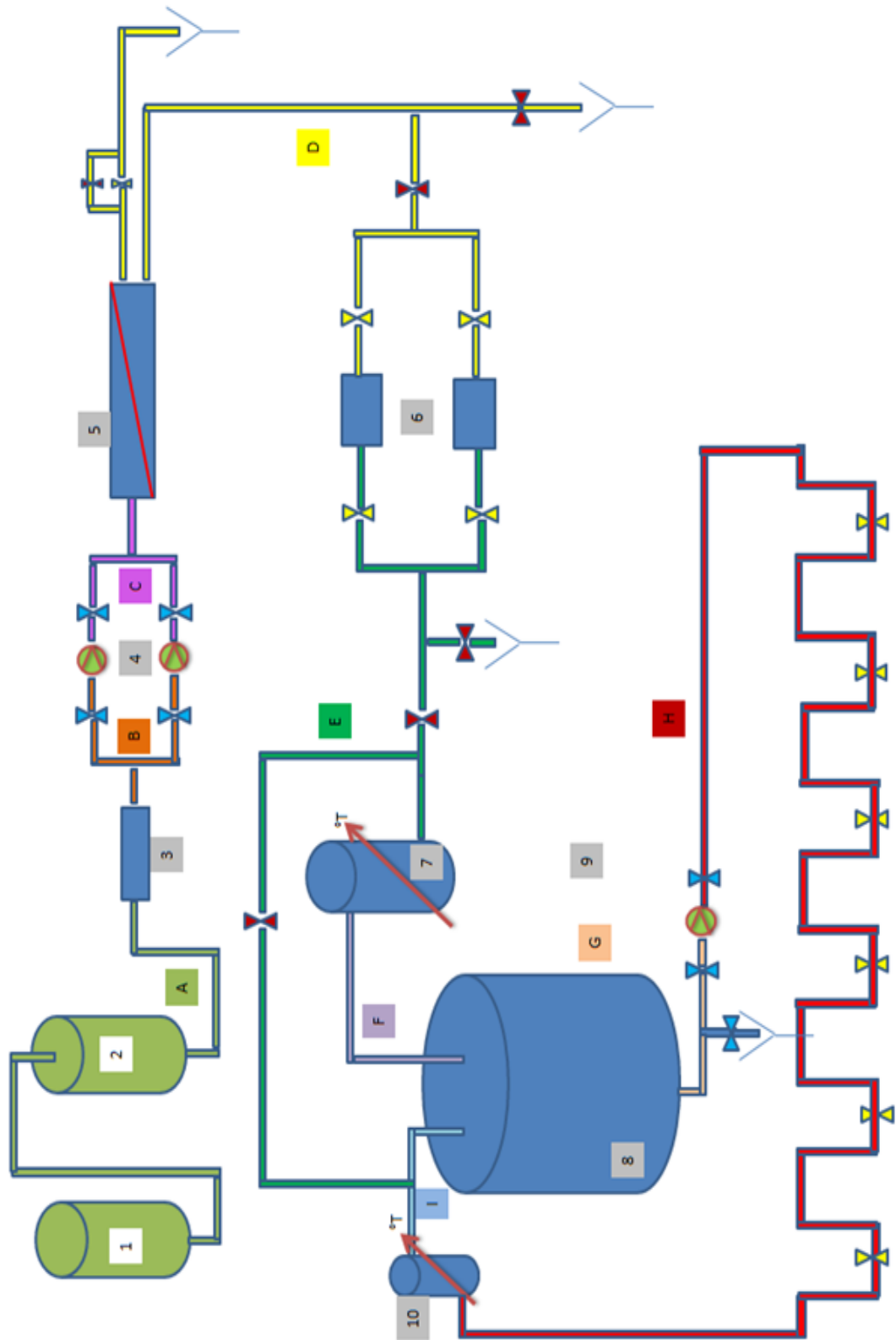














Gráfico 3.1. Partes principales y etapas del sistema purificador de agua

Fuente: Autores

Los elementos, partes y etapas que está constituido el sistema de acuerdo ala gráfica 3.1 son:

1. Tanque desferrizador
2. Tanque de carbón activado (CA)
3. Filtración (tanque de prefiltro y filtro)
4. Bomba N° 1
5. Carcasa de Osmosis reversa (OR)
6. Electrodesionizadores (EDI)
7. Tanque calentador N° 1
8. Tanque de Almacenamiento
9. Bomba N° 2
10. Tanque calentador N° 2

	Válvula de bola
	Válvula de globo
	Válvula de diafragma
	Tramo A
	Tramo B
	Tramo C
	Tramo D
	Tramo E
	Tramo F
	Tramo G
	Tramo H
	Tramo I

### 3.1.2.1. Etapa de filtración (tanque desferrizador y de carbón activado).

Dentro de esta etapa de filtración en el sistema purificador de agua se tiene dos tanques con las siguientes características (tabla 3.1).

<b>ELEMENTO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>Tanque desferrizador</b>	Filtro de grava y resina ablandador.
<b>Tanque de Carbón Activado (CA)</b>	(Filtro de CA, agua con programación automática) de uso farmacéutico, el grado de activación es de <1000 m <sup>2</sup> /gr

Tabla 3.1.Etapa de filtración

Fuente: Autores.

### 3.1.2.2. Etapa de micro filtración.

En esta etapa se utilizarán 4 filtros como se muestra en la tabla 3.2.

<b>ELEMENTO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>Prefiltro (2)</b>	Filtros de 30 u, con capacidad de 5 gpm de polipropileno y eficiencia del 100%.
<b>Filtro (2)</b>	Filtros de 10 u, con capacidad de 5 gpm de polipropileno y eficiencia del 100%.

Tabla 3.2.Etapa de microfiltración

Fuente: Autores.

### 3.1.2.3. Etapa de potencia (Bomba N° 1)

Según los cálculos realizados más adelante en este capítulo, la bomba de trabajo a emplearse en esta etapa es la que se muestra en la tabla 3.3.

<b>ELEMENTO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>Bomba N° 1 (2)</b>	Marca Grundfos, multietapas, modelo CRN 5-6 de 2hp de potencia a 60 Hz.

Tabla 3.3.Etapa de potencia

Fuente: Autores.

### 3.1.2.4. Etapa de filtración por Ósmosis Reversa (OR)

Para el efecto se utilizarán dos membranas como se muestra en la tabla 3.4.

ELEMENTO	CARACTERISTICAS
Membranas de OR	Marca TORAY, modelo TMG20-430, de composición de poliamida, trabaja a baja presión para agua salubre.

Tabla 3.4.Etapa de filtración por OR

Fuente: Autores.

### 3.1.2.5. Electrodesionizadores (EDI).

Esta es la última etapa para la obtención de agua purificada con un grado farmacéutico, para lo cual utilizamos dos EDI's como se muestra en la tabla 3.5.

ELEMENTO	CARACTERISTICAS
Electrodesionizadores (EDI)	Modelo XL-500-HTS (rango de flujo 6-10 gpm).

Tabla 3.5.Electrodesionizadores

Fuente: Autores.

### 3.1.3. Partes y elementos del sistema que generan pérdidas de energía

Este punto tiene la finalidad de que el sistema de circulación de flujo para un fluido se llega a obtener pérdidas de energía debido a muchos factores como:

- Pérdidas de energía por cambio en el tamaño de la trayectoria de flujo
- Pérdidas de energía por las válvulas y accesorios que conforman el sistema.
- La fricción conforme el fluido pasa por los ductos.

En el sistema purificador de agua se detallan las pérdidas de energía dependiendo de la trayectoria que tenga el fluido de trabajo y la carga que se aplique al sistema. En la tabla 3.6 detallamos los elementos que generan pérdidas de energía en el sistema:

<b>Pérdidas de energía</b>			
<b>Tramo A</b>			
<b>Item</b>	<b>Elemento</b>	<b>medida en plg</b>	<b>cantidad</b>
1	Orilla de tanque (entrada)	1	2
2	Orilla de tanque (salida)	1	2
3	Codo de 90°	1	7
4	Tubería de descarga	1	4 metros
<b>Tramo B</b>			
5	Orilla de tanque (entrada)	2	1
6	Codo de 90°	2	2
7	Tee	2	1
8	Válvula de bola	2	2
9	Tubería de succión	2	1,5 metros
<b>Tramo C</b>			
10	Válvula de bola	2	2
11	Codo de 90°	2	2
12	Tee	2	1
13	orilla de tanque (salida)	2	1
14	Tubería de descarga	2	3 metros
<b>Tramos D, E y F</b>			
15	orilla de tanque (entrada)	1	5
16	orilla de tanque (salida)	1	4
17	Válvula de globo	1	5
18	Válvula de diafragma 2/2	1	6
19	Codo de 90°	1	10
20	Tee	1	8
21	Tubería de descarga	1	17 metros
22	Tanque de calentamiento	NA	1
<b>Elementos de filtración</b>			
23	Filtros de 30 micras	NA	2
24	Filtros de 10 micras	NA	2
25	Membranas de OR	NA	2
26	Electrodesionizadores EDI	NA	2

Tabla 3.6. Elementos que generan pérdidas de energía en el sistema

Fuente: Autores.

### **3.1.4. Análisis de las pérdidas de energía**

Es importante saber cuáles son las pérdidas para realizar un diseño óptimo en un sistema, por ende el conocimiento real de las pérdidas de energía que se producen a través de todo el sistema, estas son causadas por la fricción interna que produce el fluido en las tuberías y accesorios, tales pérdidas tienen como resultado la disminución de presión en la succión y en la descarga.

Para realizar el cálculo teórico de pérdidas de energía se parte de datos que se detallan:

#### **3.1.4.1. Datos del sistema**

$Q = 5000$  litros por hora (de alimentación)

$\rho = 998 \text{ Kg/m}^3$  = densidad del agua a  $20^\circ \text{C}$

$\mu = 1.02 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$  Viscosidad dinámica del agua a  $20^\circ \text{C}$

$D_{s,d} = 0.0475 \text{ m}$  (Diámetro interior de succión equivalente a 2 plg.) Anexo 27

$D_i = 0.0221 \text{ m}$  (Diámetro interior de descarga equivalente a 1 plg.) Anexo 27

#### **3.1.4.2. Velocidad del sistema**

En el sistema purificador de agua se asumen valores con la ayuda de la tabla 3.7, que es una tabla de velocidades de flujo recomendables para el sistema de flujo de potencia la cual nos ayudara a calcular la sección transversal y diámetros finales de las tuberías y así lograr un rendimiento razonable, al tomar en cuenta las pérdidas de energía, las presiones en puntos críticos del sistema, la energía requerida en la bomba y el costo de ciclo de vida del equipo

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de retorno	4-13	1.5-4
Líneas de descarga	7-18	2-5.5

Tabla 3.7. Velocidades recomendadas en un sistema de flujo  
Fuente: Moot, Robert, Mecánica de fluidos, cuarta edición, pág. 262

### 3.1.4.3. Cálculo de la tubería de entrada a los filtros (descarga tramo A)

Nuestro diseño considera un caudal necesario de 5000 litros/hora de agua. Para hacer una selección inicial del tamaño de tubería utilizaremos un diámetro inicial de 1 plg. En la línea A (según gráfico 3.1) del sistema.

Tubería de descarga, diámetro 1 plg

$$D_i = 0.0221 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{D_i^2 \cdot \pi}{4} = 383.59 \text{ mm}^2 \text{ ó } 3.8359 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.3.1. Velocidad promedio real del flujo en la tubería

$$V_d = \frac{Q}{A_s} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{3.8359 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$V_d = 3.62 \text{ m/seg}$ . Al comparar este valor con la tabla (velocidad promedio) cumplimos el rango recomendado.

#### 3.1.4.3.2. Diámetro de la tubería

Entonces si hubiésemos escogido un valor de  $V_d = 3 \text{ m/seg}$ , nos resultaba lo siguiente:

$$Ad = Q/Vd$$

$$Ad = 1.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / 3 \text{ m/s} = \frac{1.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{3 \text{ m/s}} = 4.629 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Donde:

$$Dd = \sqrt{\frac{4Ad}{\pi}}$$

$$Dd = 0.0242 \text{ m} \text{ ó } 0.95 \text{ plg.}$$

En conclusión la tubería a utilizar es de 1 plg, así demostramos que lo que asumimos es correcto.

### 3.1.4.3.3. Pérdidas mayores

Como en todo sistema de flujo de agua existen pérdidas que genera la fricción en las tuberías y accesorios, en este capítulo se realiza un análisis de este fenómeno.

#### 3.1.4.3.3.1. Cálculo del área de la tubería de descarga

$$Ad = \frac{\pi \cdot Ds^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.02211 \text{ m})^2}{4} = 3.8359 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.3.3.2. Cálculo de la velocidad de descarga

$$Vd = \frac{Q}{As} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{3.8359 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 3.36 \text{ m/seg.}$$

#### 3.1.4.3.3.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 plg.

$$NR = \frac{\rho \cdot Vd \cdot Dd}{\mu} = \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3.36 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.02211 \text{ m}}{1.02 \times 10^{-3} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}$$



$$NR = 72654.4$$

Cuando  $NR < 2000$  el flujo es Laminar. Si  $NR > 4000$  el flujo se considera Turbulento, entre  $2000 < NR < 4000$  existe una zona de transición.

Tomado en cuenta que en el sistema existe flujo turbulento, procedemos a calcular todas las pérdidas del mismo.

### 3.1.4.3.3.4. Cálculo de la rugosidad relativa

Para lo cual tomamos en cuenta el valor de rugosidad absoluta para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6} \text{m}$  (tabla 1.2).

$$\frac{Dd}{\varepsilon} = \frac{0.0221 \text{m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{m}}$$

$$\frac{Dd}{\varepsilon} = 14733.33$$

### 3.1.4.3.3.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times \frac{Dd}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times 14733.33} + \frac{5.74}{72654.4^{0.90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0189$$

$$\text{Pérdidas mayores: } hl = f \times \frac{ld}{Dd} \times \frac{(Vd)^2}{2g}$$

Donde:

ld= longitud de la tubería de descarga

Dd= diámetro interior de descarga de la tubería de diámetro nominal de 1 plg.

hd= pérdidas en la tubería de descarga

$$hd = f \times \frac{ld}{Dd} \times \frac{(Vd)^2}{2g} = 0.0189 \times \frac{4m}{0.0221m} \times \frac{(3.36m/seg)^2}{2 \times 9.81m/seg^2}$$

$$hd = 0.585m$$

#### **3.1.4.3.4. Pérdidas menores**

##### **3.1.4.3.4.1. Cálculo de pérdidas de energía en la entrada (orilla del tanque)**

Para efectos de cálculo y tomando en cuenta que la entrada es bien redondeada se tiene un coeficiente de resistencia igual a  $k = 0.04$  (Gráfico 1.6).

$$hl = \frac{k \cdot (Vd)^2}{2g} = 0.04 \times \frac{(3.36m/seg)^2}{2 \times 9.81m/seg^2}$$

$$hl = 0.023m.$$

Multiplicamos el número total de entradas en la descarga y se tiene la pérdida total de energía en acoplamientos por orilla:

$$0.023m \times 2 = 0.046 m.$$

##### **3.1.4.3.4.2. Cálculo de pérdidas de energía en la salida (orilla del tanque)**

Coeficiente de resistencia igual a  $k = 1$  (Gráfico 1.5)

$$hl = \frac{k \cdot (Vd)^2}{2g} = 1 \times \frac{(3.36m/seg)^2}{2 \times 9.81m/seg^2}$$

$$hl = 0.576m \times 2 = 1.152m.$$

### 3.1.4.3.4.3. Cálculo de pérdidas en codos a 90°

$$Le/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.023 \text{ (factor de fricción para tubería de 1 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.023$$

$$k = 0.46$$

Utilizando la ecuación número 10 se tiene:

$$hc = 0.46 \times \frac{(3.36 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2} = 0.264 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdidas totales en codos a } 90^\circ = 4 \times 0.264 = 1.056 \text{ m}$$

### 3.1.4.4. Cálculo de la etapa de succión del sistema (tramo B)

Para este análisis se consideró un caudal nominal de 5000 litros por hora ó  $1.388 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$ , en la succión del sistema purificador de agua, debido a que el fabricante de las membranas de OR recomienda trabajar con una eficiencia del 50 %.

Para la selección de la tubería de succión se realizó el siguiente cálculo, donde se tomó como referencia una velocidad media de 0.90 m/seg. (Tabla 3.7).

$$As = \frac{Q}{Vs} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{0.90 \text{ m/seg}}$$

$$As = 1.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.4.1. Diámetro de la tubería

Con el área transversal se procede a calcular el diámetro de la tubería:

$$Ds = \sqrt{1.54 \times 10^{-3} \times 4 / \pi}$$

Ds = 2 plg.

### 3.1.4.4.2. Pérdidas mayores

#### 3.1.4.4.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión

$$As = \frac{\pi \cdot Ds^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.0475 \text{ m})^2}{4}$$

$$As = 1.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.4.2.2. Cálculo de la velocidad de succión

$$Vs = \frac{Q}{As} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{1.772 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$Vs = 0.783 \text{ m/seg.}$$

#### 3.1.4.4.2.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de succión de 2 plg.

$$NR = \frac{\rho \cdot Vs \cdot Ds}{\mu}$$

Entonces:

$$NR = \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0.783 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.0475 \text{ m}}{1.02 \times 10^{-3} \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}}$$

$$NR = 36390.30$$

Cuando  $NR < 2000$  el flujo es Laminar. Si  $NR > 4000$  el flujo se considera Turbulento, entre  $2000 < NR < 4000$  existe una zona de transición.

Tomado en cuenta que en el sistema existe flujo turbulento, se procede a calcular todas las pérdidas del mismo.

#### 3.1.4.4.2.4.Cálculo de la rugosidad relativa

Para lo cual se toma cuenta el valor de rugosidad absoluta para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6}$  m (tabla 1.2)

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = \frac{0.0475\text{m}}{1.5 \times 10^{-6}\text{m}}$$

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = 31666.66$$

#### 3.1.4.4.2.5.Cálculo del factor de fricción en tuberías

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \times \frac{D_s}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}}\right)\right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \times 31666.66} + \frac{5.74}{36390.30^{0.90}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.016$$

$$\text{Perdidas mayores: } h_l = f \times \frac{l_s}{D_s} \times \frac{(V_s)^2}{2g}$$

Donde:

$l_s$ = longitud de la tubería de succión

$D_s$ = diámetro interior de succión de la tubería de diámetro nominal de 2plg.

$h_s$ = pérdidas en la tubería de succión

$$h_s = 0.016 \times \frac{1.5\text{m}}{0.0475\text{m}} \times \frac{(0.783\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h_s = 0.0158\text{m}$$

### 3.1.4.4.3. Pérdidas menores

#### 3.1.4.4.3.1. Entrada (orilla del tanque de filtros de 30 micras) tramo B

Para efectos de cálculo y tomando en cuenta que la entrada es bien redondeada se tiene un coeficiente de resistencia igual a  $k = 0.04$  (gráfico 1.6)

$$h = \frac{k \cdot (Vs)^2}{2g} = 0.04 \times \frac{(0.783 \text{m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{m/seg}^2}$$

$$h = 0,00125 \text{ m.}$$

#### 3.1.4.4.3.2. Cálculo de pérdidas en codos a 90°

$$Le/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

Según ecuación número 10:

$$hc = 0.38 \times \frac{(0.783 \text{m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{m/seg}^2}$$

$$hc = 0.011 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdidas totales en codos a } 90^\circ = 2 \times 0.011 = 0.023 \text{ m}$$

#### 3.1.4.4.3.3. Cálculo de pérdidas en tee

$$Le/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

$$h_t = 0.38 \times \frac{(0.783/\text{seg})^2}{2 \times 9.81 \text{m}/\text{seg}^2}$$

$$h_t = 0.011 \text{m}$$

#### 3.1.4.4.3.4. Cálculo de pérdidas en válvula de bola (1)

Para definir este cálculo se toma en consideración abierta 100%

$$L_e/D = 3 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 3 \times 0.019$$

$$k = 0.057$$

$$h_t = 0.057 \times \frac{(0.783 \text{m}/\text{seg})^2}{2 \times 9.81 \text{m}/\text{seg}^2}$$

$$h_t = 0.00178 \text{m}$$

$$\text{Pérdidas totales en válvulas de bola} = 0.00178 \text{m} \times 2 = 0.00356$$

#### 3.1.4.5. Cálculo de la etapa de descarga (tramo C)

El diseño considera un caudal necesario de 5000 litros/hora de agua. Para hacer una selección inicial del tamaño de tubería se utilizará un diámetro inicial de 2 plg. En la línea C (según gráfico 3.1) del sistema.

Tubería de descarga, diámetro 2plg.

$$D_i = 0.0475 \text{m}$$

$$A_d = \frac{D_i^2 \cdot \pi}{4} = 1.77 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

### 3.1.4.5.1. La velocidad promedio real del flujo en la tubería es:

$$V_d = \frac{Q}{A_s} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{1.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$V_d = 0.78 \text{ m/seg}$$

Al comparar este valor con la tabla (velocidad promedio) NO cumple el rango recomendado, pero al ser la entrada a la carcasa de OR se necesita tener un diámetro considerable en la tubería, ya que esta será sometida a una presión de trabajo (5 bar) y por ende se reduce la velocidad del flujo.

### 3.1.4.5.2. Diámetro de la tubería a la entrada a la carcasa de OR

$$D_d = \sqrt{0.00177 \text{ m}^2 \times 4 / \pi}$$

$$D_d = 1.86 \text{ plg.}$$

En conclusión la tubería a utilizar es de 2 plg, ya que la velocidad de flujo disminuye en este tramo ( $V_d = 0.78 \text{ m/seg}$ ) por lo antes ya explicado.

### 3.1.4.5.3. Diámetro de la tubería a la salida de la carcasa de OR (D)

Para este tramo de tubería se considera una velocidad promedio recomendada de  $V_d = 3 \text{ m/seg}$ . (tabla 3.7) y caudal de 2500 litro/hora o  $6.944 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$ .

$$A_d = \frac{Q}{V_d} = \frac{6.944 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{3 \text{ m/seg}}$$

$$A_d = 2.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Donde:

$$D_d = \sqrt{2.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 4 / \pi}$$



$$Dd = 0.675 \text{plg.}$$

En conclusión el diámetro de la tubería para el tramo D, será de 1 plg.

Y como el caudal es el mismo para los tramos E y F el diámetro de la tubería será de 1 plg para dichos tramos.

#### **3.1.4.5.4. Pérdidas mayores en el tramo C**

##### **3.1.4.5.4.1. Cálculo del área de la tubería de descarga de 2 plg.**

$Ds = 0.0475 \text{ m}$  = diámetro interno de una tubería de 2plg.

$$Ad = 1.77 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

##### **3.1.4.5.4.2. Cálculo de la velocidad de descarga.**

$$Vd = \frac{Q}{Ad} = \frac{1.388 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{1.77 \times 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$Vd = 0.78 \text{ m/seg}$$

##### **3.1.4.5.4.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 2plg.**

$$NR = \frac{\rho \cdot Vs \cdot Ds}{\mu}$$

Entonces:

$$NR = 36390.30 = \text{NR de succión.}$$

##### **3.1.4.5.4.4. Cálculo de la rugosidad**

Para lo cual se toma en cuenta el valor de rugosidad para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6} \text{m}$  (tabla 1.2).

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = \frac{0.0475 \text{ m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = 31666.66$$

### 3.1.4.5.4.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times \frac{D_s}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.016$$

Pérdidas mayores:  $h_l = f \times \frac{l_d}{D_d} \times \frac{(V_d)^2}{2g}$

$$h_d = f \times \frac{l_s}{D_s} \times \frac{(V_d)^2}{2g} = 0.016 \times \frac{3 \text{ m}}{0.0475 \text{ m}} \times \frac{(0.783 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$h_d = 0.0316 \text{ m.}$$

### 3.1.4.5.5. Pérdidas mayores en los tramos D, E y F

#### 3.1.4.5.5.1. Cálculo del área de la tubería de descarga de 1 plg.

$D_s = 0.0221 \text{ m}$  = diámetro interno de una tubería de 1 plg.

$$A_d = 3.83 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.5.5.2. Cálculo de la velocidad de descarga

$$V_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{6.944 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{3.83 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$Vd = 1.81 \text{ m/seg}$$

### 3.1.4.5.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 plg.

$$NR = \frac{\rho \cdot Vd \cdot Dd}{\mu} = \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.0221 \text{m}}{1.02 \times 10^{-3} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}$$

$$NR = 39138.23$$

Entonces:

$$NR = 39183.23 \quad \text{es flujo turbulento.}$$

### 3.1.4.5.4. Cálculo de la rugosidad

Para lo cual se toma en cuenta el valor de rugosidad para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$  (tabla 1.2).

$$\frac{Ds}{\varepsilon} = \frac{0.0221 \text{m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{m}}$$

$$\frac{Ds}{\varepsilon} = 14733.33$$

### 3.1.4.5.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times \frac{Ds}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times 14733.33} + \frac{5.74}{39138.23^{0.90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.022$$

$$\text{Pérdidas mayores: } hd = f \times \frac{ld}{Dd} \times \frac{(Vd)^2}{2g}$$

$$hd = 0.022 \times \frac{17\text{m}}{0.0221\text{m}} \times \frac{(1.81\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

hd= 2.98m = pérdidas de energía en la tubería de 1 plg. En los tramos D, E y F

### 3.1.4.5.6. Pérdidas menores.

#### 3.1.4.5.6.1. Salida de orilla (tubería de 2 plg) tramo C

Coefficiente de resistencia igual a  $k = 1$  (gráfico 1.5)

$$hl = \frac{k \cdot (Vd)^2}{2g} = 1 \times \frac{(0.78\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$hl = 0.031\text{m}.$$

#### 3.1.4.5.6.2. Salida de orilla (tubería de 1 plg) tramos D, E y F

$$h = \frac{k \cdot (Vd)^2}{2g} = 1 \times \frac{(1.81\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h = 0.167 \text{ m}$$

$$h \text{ total} = 0.167 \times 3 = 0.501\text{m}$$

En este punto se tiene el cálculo de las pérdidas de energía a la salida por orilla en la tubería de diámetro 1 plg. En los tramos (D, E y F)

#### 3.1.4.5.6.3. Entrada de orilla (tubería de 1 plg) tramos D, E y F

$$Ad = \frac{\pi \cdot Ds^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.02211\text{m})^2}{4}$$

$$Ad = 3.8359 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

#### 3.1.4.5.6.4. Cálculo de la velocidad de descarga

$$V_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{6.944 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{3.8359 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_d = 1.81 \text{ m/seg.}$$

$$h_l = \frac{k \cdot (V_d)^2}{2g} = 0.04 \times \frac{(1.81 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$h_l = 6.68 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_{\text{total}} = 6.68 \times 10^{-3} \times 5 = 0.034 \text{ m}$$

En este punto se tiene el cálculo de las pérdidas de energía de entrada por orilla a la tubería de diámetro 1 plg. En los tramos (D, E y F)

#### 3.1.4.5.6.5. Pérdidas en codos a 90° (tubería de 2 plg) tramo C

$$L_e/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

Para lo cual se utiliza la ecuación número 10.

$$h_c = 0.38 \times \frac{(0.78 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$h_c = 0.0117 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdidas totales en codos a } 90^\circ = 2 \times 0.0117 = 0.023 \text{ m}$$

### 3.1.4.5.6.6. Pérdidas en codos a 90° (tubería de 1 plg) tramo D, E y F

$$Le/D = 20$$

$$fT = 0.023 \text{ (factor de fricción para tubería de 1 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.023$$

$$k = 0.46$$

$$hc = 0.46 \times \frac{(1.81 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2} = 0.076 \text{ m.}$$

$$\text{Pérdidas totales en codos a } 90^\circ = 4 \times 0.076 = 0.30 \text{ m.}$$

### 3.1.4.5.6.7. Pérdidas en tee (tubería de 2 plg) tramo C

$$Le/D = 20$$

$$fT = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

$$ht = 0.38 \times \frac{(0.783 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$ht = 0.011 \text{ m}$$

### 3.1.4.5.6.8. Pérdidas en tee (tubería de 1 plg) tramos D, E y F

$$Le/D = 60 \text{ (tabla 1.3) como flujo en el ramal}$$

$$fT = 0.023 \text{ (factor de fricción para tubería de 1 plg)}$$

$$k = 60 \times 0.023$$

$$k = 1.83$$

$$ht = 1.83 \times \frac{(1.81 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2} = 0.30 \text{ m}$$

$$h_{\text{total}} = 0.30\text{m} \times 2 = 0.60 \text{ m}$$

### 3.1.4.5.6.9. Pérdidas en válvula de diafragma 2/2 (2)

Para definir este cálculo se considera el dato del fabricante de la válvula de diafragma seleccionada (Anexo 28)

$$\text{Max } \Delta \text{ Presión} = 1 \text{ bar} = 100\text{kN/m}^2 \text{ (Anexo 28 pag. 2)}$$

$$\text{Max. } \Delta P = \gamma \times h$$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{100 \text{ kN/m}^2}{9.79\text{kN/m}^3}$$

$$h = 10.21\text{m}$$

Pérdidas totales en válvulas de diafragma tipo 2/2 # 687 = 10.21m x 6 = 61.26m.

### 3.1.4.5.6.10. Pérdidas en válvula de globo (3)

Para definir este cálculo se toma en consideración, válvula abierta 100%.

$$L_e/D = 340 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.023 \text{ (factor de fricción para tubería de 1plg)}$$

$$k = 340 \times 0.023$$

$$k = 7.82$$

$$h_t = 7.82 \times \frac{(1.81\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h_t = 1.307 \text{ m}$$

Pérdidas totales en válvulas de globo = 1.307 m x 5 = 6.53 m.

### 3.1.4.6. Cuantificación de las pérdidas de energía (hl)

La tabla 3.8 muestra las pérdidas de energía que cada accesorio genera al sistema.

ITEM	ACCESORIO	VALOR H (m)
<b>SUCCION TRAMO B</b>		
1	tubería de succión de 2 plg	0,0158
2	acoplamiento al tanque de orilla 2plg	0,0012
3	codos a 90 de 2 plg	0,0230
4	tee de 2 plg	0,0110
5	válvula de bola	0,0036
<b>DESCARGA TRAMO C</b>		
5	tubería de descarga de 2 plg	0,0316
6	acoplamiento al tanque de orilla 2plg	0,0310
7	codos a 90 de 2 plg	0,0230
8	tee de 2 plg	0,0110
<b>DESCARGA TRAMO D, E y F</b>		
9	tubería de descarga de 1 plg	2,9800
10	acoplamiento al tanque de orilla 1plg (salida)	0,5010
11	acoplamiento al tanque de orilla 1plg (entrada)	0,0340
12	codos a 90 de 1 plg	0,3000
13	tee de 1 plg	0,6000
14	válvulas de diafragma	61,2600
15	válvulas de globo	6,5300
	TOTAL	72,3562

Tabla 3.8. Cuantificación de pérdidas de energía

Fuente: Autores.

### 3.1.4.7. Pérdidas de energía en elementos filtrantes y tanque de calentamiento

Para analizar estos elementos se debe tomar en cuenta la variación de presión obtenida del fabricante, como también de datos obtenidos con pruebas en equipos purificadores de agua.



Cabe recalcar que en el diseño del sistema purificador de agua, los cálculos son solo del sistema en sí, mas no el cálculo del sistema de alimentación, es por eso que en este punto únicamente calcularemos las pérdidas de energía de los filtros, de las membranas de OR, de los EDI's y de los tanques de calentamiento.

#### **3.1.4.7.1. Filtros de 30 micras**

Para obtener el dato de las pérdidas de energía en los filtros se observa en el dato de caída de presión que nos proporciona el fabricante (Anexo 32).

Como el caudal es de aproximadamente 22 GPM se extendió la gráfica del proveedor hasta lograr que nuestro requerimiento sea visible en dicha gráfica.

$$\text{Caída de presión} = 1.469 \text{ psi} = 10.12 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma = 9.79 \text{ kN/m}^3 = \text{peso específico del agua}$$

Despejando la ecuación número 16 se tiene:

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{10.12 \text{ kN/m}^2}{9.79 \text{ kN/m}^3}$$

$$h = 1.03 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas totales en los filtros} = 1.03 \text{ m} \times 2 = 2.06 \text{ m.}$$

#### **3.1.4.7.2. Filtros de 10 micras**

Para obtener el dato de las pérdidas de energía en los filtros se observa el dato de caída de presión que nos proporciona el fabricante (Anexo 32).

Con un caudal de aproximadamente 22 GPM se extendió la gráfica del proveedor hasta lograr que nuestro requerimiento sea visible en dicha gráfica.

Caída de presión = 6.461 psi = 44.547kN/m<sup>2</sup>

$\gamma = 9.79 \text{ kN/m}^3$  = peso específico del agua.

$$\Delta P = \gamma \times h ; h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{44.547\text{kN/m}^2}{9.79\text{kN/m}^3}$$

$h = 4.55 \text{ m}$

Pérdidas totales en los filtros = 4.55 m x 2 = 9.10m.

### **3.1.4.7.3. Membranas de OR**

De igual manera se obtiene el dato máximo de presión diferencial o caída de presión que nos proporciona el fabricante (Anexo 21).

Max  $\Delta$  Presión = 1 bar = 100 kN/m<sup>2</sup>

Max.  $\Delta P = \gamma \times h$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{100 \text{ kN/m}^2}{9.79\text{kN/m}^3}$$

$h = 10.21\text{m}$

Pérdidas totales en las membranas de OR= 10.21m x 2 = 20.42m.

### **3.1.4.7.4. Electrodesionizadores EDI**

De igual manera se obtiene el dato máximo de presión diferencial o caída de presión que nos proporciona el fabricante (Anexo 31).

Max  $\Delta$  Presión = 3bar = 300kN/m<sup>2</sup>

$$\text{Max. } \Delta P = \gamma \times h$$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{300 \text{ kN/m}^2}{9.79 \text{ kN/m}^3}$$

$$h = 30.64 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas totales en los EDI} = 30.64 \text{ m} \times 2 = 61.28 \text{ m.}$$

### 3.1.4.7.5. Tanque de calentamiento 1

Para calcular las pérdidas de energía en tanques se aplica la ecuación de la energía potencial que a continuación se explica:

$$E_p = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \cdot S \quad ; \quad S = h/2$$

$$E_p = \frac{\rho \cdot A \cdot h^2 \cdot g}{2} \quad ; \quad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi (0.5 \text{ m})^2}{4} = 0.196 \text{ m}^2$$

$$E_p = \frac{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.196 \text{ m}^2 (1.5 \text{ m})^2 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{2}$$

$$E_p = 2156 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{seg}^2} = 2.156 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### 3.1.4.7.5.1. Cálculo de la presión

$$P = \frac{F}{A} \quad ; \quad F = \frac{E_p}{S}$$

$$P = \frac{E_p}{S \cdot A} \quad ; \quad S = \frac{h}{2} = \frac{1.5 \text{ m}}{2} = 0.75 \text{ m.}$$

$$P = \frac{2.156 \text{ kN} \cdot \text{m}}{0.75 \text{ m} \times 0.196 \text{ m}^2} = 14.66 \text{ kPa}$$

### 3.1.4.7.5.2. Cálculo de pérdida de energía en el tanque

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{14,66 \text{ kN/m}^2}{9,79 \text{ kN/m}^3}$$

$$h = 1,49 \text{ m}$$

### 3.1.4.8. Pérdidas totales en el sistema

La tabla 3.9, muestra los valores de las pérdidas de energía que generan los elementos de filtración, tanque de calentamiento 1 y accesorios.

<b>ELEMENTO</b>	<b>VALOR H (m)</b>
filtros de 10 micras (2)	9,10
filtros de 30 micras (2)	2,06
membranas de OR (2)	20,42
electrodesionizadores EDI (2)	61,28
tanque calentador 1	1,49
Accesorios de fricción	72,36
<b>TOTAL</b>	<b>166,71</b>

Tabla 3.9. Pérdidas totales de energía

Fuente: Autores

### 3.1.4.9. Selección de la bomba de trabajo No 1

La tabla 3.10 muestra algunos factores para la selección de una bomba específica.

<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>NUESTRO CASO</b>
1	Naturaleza del fluido	agua a 20 <sup>o</sup> C.
2	Caudal	5000 litros/hora
3	Condiciones del lado de succión	Diámetro 2 plg.

4	Condiciones del lado de descarga	Diámetro 2 plg.
5	Cabeza total sobre la bomba	
6	Tipo de fuente de potencia	motor eléctrico
7	Costos	NA
8	Normas y estándares	GMP
9	Condiciones ambientales	normales
10	Espacio	suficiente

Tabla 3.10. Factores para la selección de la bomba

Fuente: Autores

El fabricante o su representante local, proporcionan catálogos e información de las bombas para una correcta selección.

La altura equivalente es el factor más importante para la selección de la bomba de trabajo utilizada para determinado caudal.

La tabla 3.11 muestra el valor total de la altura total en metros de columna de agua necesarios para la elección de la bomba correcta según los cálculos anteriores, cabe recalcar que se recomienda multiplicar el valor h total por un factor de seguridad, que en este caso será de 1.5.

<b>ELEMENTO</b>	<b>h TOTAL requerido en m</b>	<b>h TOTAL requerido en ft.</b>
Bomba número 1	166,71	546,8088
factor de seguridad 1.5 recomendado por EUROPUMP	250,065	820,2132

Tabla 3.11. Altura total del sistema

Fuente: Autores

De los catálogos de las diferentes bombas recomendadas para este fin se seleccionó una bomba marca Grundfos de 6 etapas modelo CRN5-6 (Anexo 29) debido a que esta cumple los requerimientos de diseño tanto de presión como de caudal, mismo

que se encuentra dentro de la curva de operación. (Anexo 29). Es una bomba que trabaja con un caudal de 5m<sup>3</sup>/h y es de 6 etapas

### 3.1.4.9.1. Curva de rendimiento según número de etapas

El gráfico 3.2 muestra el punto de operación de la bomba seleccionada.

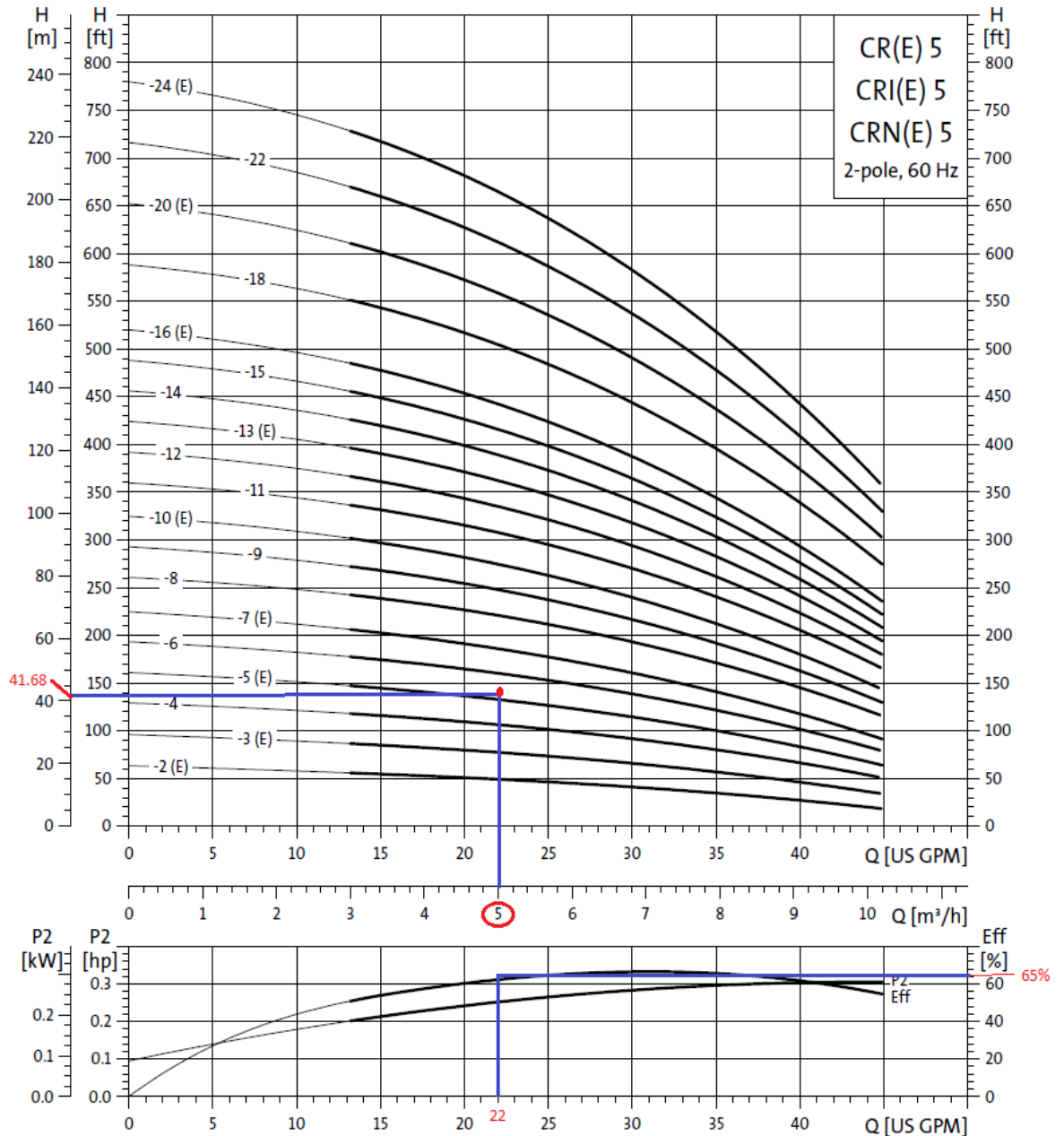


Gráfico 3.2. Punto de operación de la bomba CRN5-6

Fuente: [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

### 3.1.4.10. Análisis para el cálculo teórico de la potencia de la bomba.

A continuación se realiza un balance de energía al sistema, aplicando la ecuación número 2.

Donde:

$$\frac{P1}{\gamma} = \frac{400 \text{ kN/m}^2}{9.79 \text{ kN/m}^3} = 40.85 \text{ m}; \text{ por efecto que la presión en la succión es de 4 bar.}$$

$$\frac{P2}{\gamma} = 0 ; \text{ por efecto que en el tanque de descarga no hay presión.}$$

Z1 = 0 ; punto de inicio del sistema (tomado desde la superficie del tanque de succión)

Z2 = 2m ; Altura del líquido tomado desde z1 hasta la superficie de la tubería de descarga.

$$\frac{V1^2}{2g} = \frac{(0.783 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})} = 0.03 \text{ m}; \text{ tomando en cuenta la velocidad de succión.}$$

$$\frac{V2^2}{2g} = \frac{(0.783 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})} = 0.03 \text{ m}; \text{ tomando en cuenta la velocidad de descarga}$$

hA= ζenergía agregada por la bomba al sistema

hR =0; energía removida por algún elemento mecánico.

hL = pérdidas totales del sistema.

### 3.1.4.10.1. Energía agregada por la bomba al sistema.

$$h_A = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L - \frac{p_1}{\gamma} - \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h_A = z_2 + h_L - \frac{p_1}{\gamma}$$

$$h_A = 2\text{ m} + 166.71\text{ m} - 40.85$$

$$h_A = 127.86\text{ m.}$$

### 3.1.4.10.2. Cálculo de la potencia agregada al fluido por la bomba.

Con la fórmula mostrada a continuación se calcula la potencia teórica que deberá tener la bomba.

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q \quad (17)$$

Donde:

$P_A$  = potencia agregada al fluido

$h_A$  = energía suministrada por la bomba al fluido

$Q$  = caudal de descarga

$$P_A = 127.86\text{ m} \times \frac{9790\text{ N}}{\text{m}^3} \times 1.388 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$P_A = 1737.42\text{ W} = 1.73\text{ kW.}$$

Para calcular la potencia real de la bomba se tomará en cuenta la eficiencia de la misma (Gráfico 3.2).

$$\text{Pot} = \frac{P_A}{e} \quad (18)$$



$$\text{Pot} = \frac{1.73 \text{ kW}}{0.65}$$

Pot = 2.66 kW = 1.98 hp. = 2hp (Anexo 29).

### 3.1.4.11. Elementos del sistema de distribución.

Los siguientes son los factores que generan pérdidas:

- Pérdidas de energía por las válvulas y accesorios que conforman el sistema.
- La fricción conforme el fluido pasa por los ductos.

En el sistema de distribución de agua se detallan las pérdidas de energía dependiendo de la trayectoria que tenga el fluido del trabajo y la carga que se aplique al sistema.

En la tabla 3.12, detallamos los elementos que generan pérdidas de energía en el sistema de distribución:

<b>Pérdidas de energía en la distribución</b>			
<b>Succión</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Elemento</b>	<b>medida en plg</b>	<b>cantidad</b>
1	Orilla de tanque (entrada)	2	1
2	Tee	2	1
3	Válvula de bola	2	1
4	Tubería de succión	2	2 metros
5	Codo 90 °	2	1
<b>Descarga</b>			
6	Válvula de bola	1 ½	1
7	Codo de 90°	1 ½	29
8	Tubería de succión	1 ½	100 metros
9	Tanque calentador N° 2	NA	1
10	Válvula de globo	1 ½	6
11	Orilla de tanque (salida)	1 ½	2
12	Orilla de tanque (entrada)	1 ½	1

Tabla 3.12. Elementos que generan pérdidas en el sistema de distribución

Fuente: Autores

Para realizar el cálculo teórico de pérdidas de energía debemos partir de los datos que se detallan:

#### 3.1.4.11.1. Datos del sistema

$Q = 10000$  litros por hora (en la distribución)

$\rho = 971.60 \text{ Kg/m}^3$  = densidad del agua a  $80^\circ \text{ C}$  (Anexo 33)

$\mu = 0,354 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$  Viscosidad dinámica del agua a  $80^\circ \text{ C}$

$D_s = 0.0475 \text{ m}$  (Diámetro interior de succión equivalente a 2 plg.) (Anexo 27)

$D_d = 0.0348 \text{ m}$  (Diámetro interior de descarga equivalente a 1 1/2 plg.) (Anexo 27)

El peso específico del agua a  $80^\circ \text{ C}$ , es  $\gamma = 9,56 \text{ kN/m}^3$

#### 3.1.4.11.2. Etapa de succión del sistema de distribución

Para este análisis se consideró un caudal nominal de 10000 litros por hora ó  $2.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$ , en la succión del sistema de distribución de agua, debido a que la demanda de agua purificada para una Planta Farmacéutica es grande.

Para la selección de la tubería de succión se realizó el siguiente cálculo, donde se tomó como referencia una velocidad media de  $0.90 \text{ m/seg}$ . (Tabla 3.7).

$$A_s = \frac{Q}{V_s} = \frac{2.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{1.2 \text{ m/seg}}$$

$$A_s = 2.308 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

##### 3.1.4.11.2.1. Diámetro de la tubería.

Como ya se tiene el área transversal, se calcula el diámetro de la tubería:

$$D_s = \sqrt{2.308 \times 10^{-3} \times 4 / \pi}$$

$$D_s = 0.0542 \text{ m } \text{ ó } 2.1 \text{ plg.}$$

Obteniendo este resultado concluimos que la medida del diámetro de succión será de 2 plg., en el sistema de distribución y para los cálculos siguientes se utilizarán los datos de la tubería de acero inoxidable 316L.

### 3.1.4.11.2.2. Pérdidas mayores.

#### 3.1.4.11.2.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión.

$$A_s = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.0475 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_s = 1.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.11.2.2.2. Cálculo de la velocidad de succión.

$$V_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{2.77 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{1.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$V_s = 1.56 \text{ m/seg}$$

#### 3.1.4.11.2.2.3. Cálculo de pérdidas de energía en la tubería de succión de 2plg.

Utilizando la ecuación número 4 se tiene:

$$NR = \frac{971.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1.56 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.0475 \text{ m}}{0.354 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}}$$

$$NR = 20337.72$$

Cuando  $NR < 2000$  el flujo es Laminar. Si  $NR > 4000$  el flujo se considera Turbulento, entre  $2000 < NR < 4000$  existe una zona de transición.

Tomado en cuenta que en el sistema existe flujo turbulento, se procede a calcular todas las pérdidas del mismo.

#### 3.1.4.11.2.2.4. Cálculo de la rugosidad

Para lo cual tomamos en cuenta el valor de rugosidad para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6}$  m (tabla 1.2).

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = \frac{0.0475\text{m}}{1.5 \times 10^{-6}\text{m}}$$

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = 31666.66$$

#### 3.1.4.11.2.2.5 Cálculo del factor de fricción en tuberías.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times \frac{D_s}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times 31666.66} + \frac{5.74}{20337.72^{0.90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.025$$

Pérdidas mayores:

Donde:

$l_s$  = longitud de la tubería de succión

$D_s$  = diámetro interior de succión de la tubería de diámetro nominal de 2plg.

$h_s$  = pérdidas en la tubería de succión

$$h_s = f \times \frac{l_s}{D_s} \times \frac{(V_s)^2}{2g} = 0.025 \times \frac{2\text{ m}}{0.0475\text{m}} \times \frac{(1.56\text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h_s = 0.1306\text{m}$$

### 3.1.4.11.2.3. Pérdidas menores

Se utiliza la ecuación número 10.

#### 3.1.4.11.2.3.1. Entrada (orilla del tanque de almacenamiento).

Para efectos de cálculo y tomando en cuenta que la entrada es bien redondeada se tiene un coeficiente de resistencia igual a  $k = 0.04$  (gráfico 1.6).

$$h = \frac{k.(Vs)^2}{2g} = 0.04 \times \frac{(1.56 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$h = 0,00496 \text{ m.}$$

#### 3.1.4.11.2.3.2. Cálculo de pérdidas en codos a 90°.

$$Le/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

$$hc = 0.38 \times \frac{(1.56 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$hc = 0.0471 \text{ m.}$$

#### 3.1.4.11.2.3.3. Cálculo de pérdidas en tee.

$$ht = \frac{k.(Vs)^2}{2g} = 0.38 \times \frac{(1.56 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$Le/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 20 \times 0.019$$

$$k = 0.38$$

$$h_t = 0.0471 \text{ m}$$

#### **3.1.4.11.2.3.4. Cálculo de pérdidas en válvula de bola.**

Para definir este cálculo se tiene en consideración abierta 100%.

$$h_t = \frac{k \cdot (V_s)^2}{2g} = 0.057 \times \frac{(1.56 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$L_e/D = 3 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.019 \text{ (factor de fricción para tubería de 2 plg)}$$

$$k = 3 \times 0.019$$

$$k = 0.057$$

$$h_t = 0.00707 \text{ m}$$

#### **3.1.4.11.3. Cálculo de la etapa de descarga**

Para la selección de la tubería de succión se realizó el siguiente cálculo, donde se tomó como referencia una velocidad media de 5.5 m/seg. (Tabla 3.7).

$$A_s = \frac{Q}{V_s} = \frac{2.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{3 \text{ m/seg}}$$

$$A_s = 9.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### **3.1.4.11.3.1. Diámetro de la tubería.**

Como ya se tiene el área transversal, se procede a calcular el diámetro de la tubería:

$$D_s = \sqrt{9.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 4 / \pi}$$

$$D_s = 0.034 \text{ m} \text{ ó } 1.35 \text{ plg.}$$

Para hacer una selección inicial del tamaño de tubería se utiliza un diámetro inicial de 1 1/2 plg. En la línea de descarga del sistema de distribución.

$$D_i = 0.0348 \text{ m}$$

### 3.1.4.11.3.2. Pérdidas mayores

#### 3.1.4.11.3.2.1. Cálculo del área de la tubería de succión

$$A_d = \frac{D_i^2 \cdot \pi}{4} = 9.50 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.11.3.2.2. La velocidad promedio real del flujo en la tubería

$$V_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{2.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{seg}}{9.50 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$V_d = 2.91 \text{ m/seg}$$

#### 3.1.4.11.3.2.3. Pérdidas de energía en la tubería de descarga de 1 1/2 plg

Utilizando la ecuación número 4 se tiene:

$$NR = \frac{971.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2.91 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.0348 \text{ m}}{0.354 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}}$$

$$NR = 27794.34$$

Cuando  $NR < 2000$  el flujo es Laminar. Si  $NR > 4000$  el flujo se considera Turbulento, entre  $2000 < NR < 4000$  existe una zona de transición.

Tomado en cuenta que en el sistema existe flujo turbulento, se procede a calcular todas las pérdidas del mismo.

### 3.1.4.11.3.2.4. Cálculo de la rugosidad

Para lo cual se toma en cuenta el valor de rugosidad para tubo de acero de precisión (en referencia al acero inoxidable), equivalente a  $1.5 \times 10^{-6}$  m. (tabla 1.2).

$$\frac{D_s}{\varepsilon} = \frac{0.0475 \text{ m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}} = 31666.66$$

### 3.1.4.11.3.2.5. Cálculo del factor de fricción en tuberías

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times \frac{D_s}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{NR^{0.90}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \times 31666.66} + \frac{5.74}{27794.34^{0.90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.023$$

$$hd = f \times \frac{ld}{D_d} \times \frac{(V_d)^2}{2g} = 0.023 \times \frac{100 \text{ m}}{0.0348 \text{ m}} \times \frac{(2.91 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

Donde:

ld= longitud de la tubería de succión

Dd= diámetro interior de succión de la tubería de diámetro nominal de 1 ½ plg.

hd= pérdidas en la tubería de succión

$$hd = 28.55 \text{ m}$$

### 3.1.4.11.3.3. Pérdidas menores

Para lo cual se utiliza la ecuación número 10.



### 3.1.4.11.3.3.1. Cálculo de pérdidas en válvula de bola

Para definir este cálculo se toma en consideración abierta 100%.

$$h_v = \frac{k.(Vd)^2}{2g} = 0.063 \times \frac{(2.91\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$L_e/D = 3 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.021 \text{ (factor de fricción para tubería de } 1 \frac{1}{2} \text{ plg)}$$

$$k = 3 \times 0.021$$

$$k = 0.063$$

$$h_v = 0.0272 \text{ m}$$

### 3.1.4.11.3.3.2. Calculo de pérdidas en codos a 90°

$$h_c = \frac{k.(Vd)^2}{2g} = 0.42 \times \frac{(2.91 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$L_e/D = 20 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$f_T = 0.021 \text{ (factor de fricción para tubería de } 2 \text{ plg)}$$

$$k = 20 \times 0.021$$

$$k = 0.42$$

$$h_c = 0.18 \text{ m.}$$

$$\text{Cálculo total de pérdidas en codos de } 90^\circ = 0.18 \times 29 = 5.22 \text{ m}$$

### 3.1.4.11.3.3.3. Cálculo de pérdidas de energía en válvulas de globo

$$h = \frac{k.(Vd)^2}{2g} = 7.14 \times \frac{(2.91 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$Le/D = 340 \text{ (tabla 1.3)}$$

$$fT = 0.021 \text{ (factor de fricción para tubería de } 1 \frac{1}{2} \text{ plg)}$$

$$k = 340 \times 0.021$$

$$k = 7.14$$

$$h = 3.08 \text{ m.}$$

$$\text{Cálculo total de pérdidas en válvulas de globo} = 3.08 \times 6 = 18.48 \text{ m}$$

#### **3.1.4.11.3.3.4. Cálculo de pérdidas de energía por orilla en la salida**

$$h = \frac{k.(Vd)^2}{2g} = 1 \times \frac{(2.91\text{m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h = 0.432 \text{ m} \times 2 = 0.864\text{m}$$

#### **3.1.4.11.3.3.5. Pérdidas de energía (entrada orilla del tanque calentador 2)**

Para efectos de cálculo y tomando en cuenta que la entrada es bien redondeada se tiene un coeficiente de resistencia igual a  $k = 0.04$  (gráfico 1.6)

$$h = \frac{k.(Vd)^2}{2g} = 0.04 \times \frac{(2.91 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9.81\text{m/seg}^2}$$

$$h = 0.017 \text{ m.}$$

#### **3.1.4.11.4. Cuantificación de las pérdidas de energía (hl)**

La tabla 3.13 muestra los valores de las pérdidas de energía que se generan tanto en la succión como en la descarga del sistema de distribución, por acción de los accesorios.

ITEM	ACCESORIO	VALOR H (m)
<b>SUCCION</b>		
1	Orilla de tanque (entrada)	0.0049
2	Tee	0.0471
3	Válvula de bola	0.0070
4	Tubería de succión	0.1306
5	Codo 90°	0,0471
<b>DESCARGA</b>		
6	Válvula de bola	0,0272
7	Codo 90°	5.2200
8	Tubería de succión	28.5500
9	Válvula de globo	18.4800
10	Orilla de tanque (salida)	0.8640
11	Orilla de tanque (entrada)	0.0170
<b>TOTAL</b>		<b>53.39</b>

Tabla 3.13. Cuantificación de pérdidas de energía

Fuente: Autores.

### 3.1.4.11.5. Pérdidas de energía en el tanque calentador N° 2

Para calcular las pérdidas de energía en tanques, aplicamos la ecuación de la energía potencial que a continuación se explica:

$$E_p = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \cdot S \quad ; \quad S = h/2$$

$$E_p = \frac{\rho \cdot A \cdot h^2 \cdot g}{2} \quad ; \quad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi (0.3m)^2}{4} = 0.070 \text{ m}^2$$

$$E_p = \frac{971.6 \frac{kg}{m^3} \times 0.070 \text{ m}^2 (1 \text{ m})^2 \times 9.8 \frac{m}{seg^2}}{2}$$

$$E_p = 333.25 \frac{kg \cdot m^2}{seg^2} = 0.333 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 3.1.4.11.5.1. Cálculo de la presión

$$P = \frac{F}{A} \quad ; \quad F = \frac{Ep}{S}$$

$$P = \frac{Ep}{S.A} \quad ; \quad S = \frac{h}{2} = \frac{1 \text{ m}}{2} = 0.5\text{m.}$$

$$P = \frac{0.333 \text{ kN.m}}{0.5\text{m} \times 0.070\text{m}^2} = 9.514 \text{ kPa}$$

### 3.1.4.11.5.2. Cálculo de la pérdida de energía en el tanque

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{9.51 \text{ kN/m}^2}{9.56 \text{ kN/m}^3}$$

$$h = 0.99 \text{ m}$$

### 3.1.4.11.6. Pérdidas totales en el sistema de distribución

La tabla 3.14 muestra el valor total de las pérdidas de energía en la distribución.

ELEMENTO	VALOR H (m)
tanque calentador 2	0.99
Accesorios de fricción	53.39
<b>TOTAL</b>	<b>54.38</b>

Tabla 3.14. Pérdidas totales de energía en la distribución.

Fuente: Autores.

### 3.1.4.12. Selección de la bomba de trabajo No 2

Para la selección de la bomba N° 2, existen algunos factores a tomar en cuenta y se muestran en la tabla 3.15.

ITEM	CRITERIO	NUESTRO CASO
1	Naturaleza del fluido	agua a 80 ° C.
2	Caudal	10000 litros/hora
3	Condiciones del lado de succión	Diámetro 2 plg.
4	Condiciones del lado de descarga	Diámetro 1 ½ plg.
5	Cabeza total sobre la bomba	
6	Tipo de fuente de potencia	motor eléctrico
7	Costos	NA
8	Normas y estándares	GMP
9	Condiciones ambientales	normales
10	Espacio	suficiente

Tabla 3.15. Factores para la selección de la bomba

Fuente: Autores.

En La tabla 3.16, el resumen de la altura total en metros de columna de agua necesarios para la elección de la bomba correcta según los cálculos anteriores, cabe recalcar que se recomienda multiplicar el valor h total por un factor de seguridad, que en este caso será de 1.5.

ELEMENTO	h TOTAL requerido en m	h TOTAL requerido en ft.
Bomba número 1	54.38	178.41
factor de seguridad 1.5 recomendado por EUROPUMP	81.57	267.61

Tabla 3.16. Altura total del sistema (distribución)

Fuente: Autores

Por asesoramiento, tanto de proveedores como de profesionales en cuanto a tratamiento de agua se recomienda buscar en los catálogos de las diferentes bombas marca Grundfos grado sanitario, y se llega a la final selección de una bomba de 2 etapas modelo HYGIANA I/2 32/25/4/2 con motor de 5 HP (Anexo 24) debido a que

esta cumple los requerimientos de diseño tanto de presión como de caudal, mismos que se encuentran dentro de la curva de operación. (Anexo 23).

### 3.1.4.12.1. Curva de rendimiento según número de etapas

El gráfico 3.3 muestra el punto de operación de la bomba seleccionada.

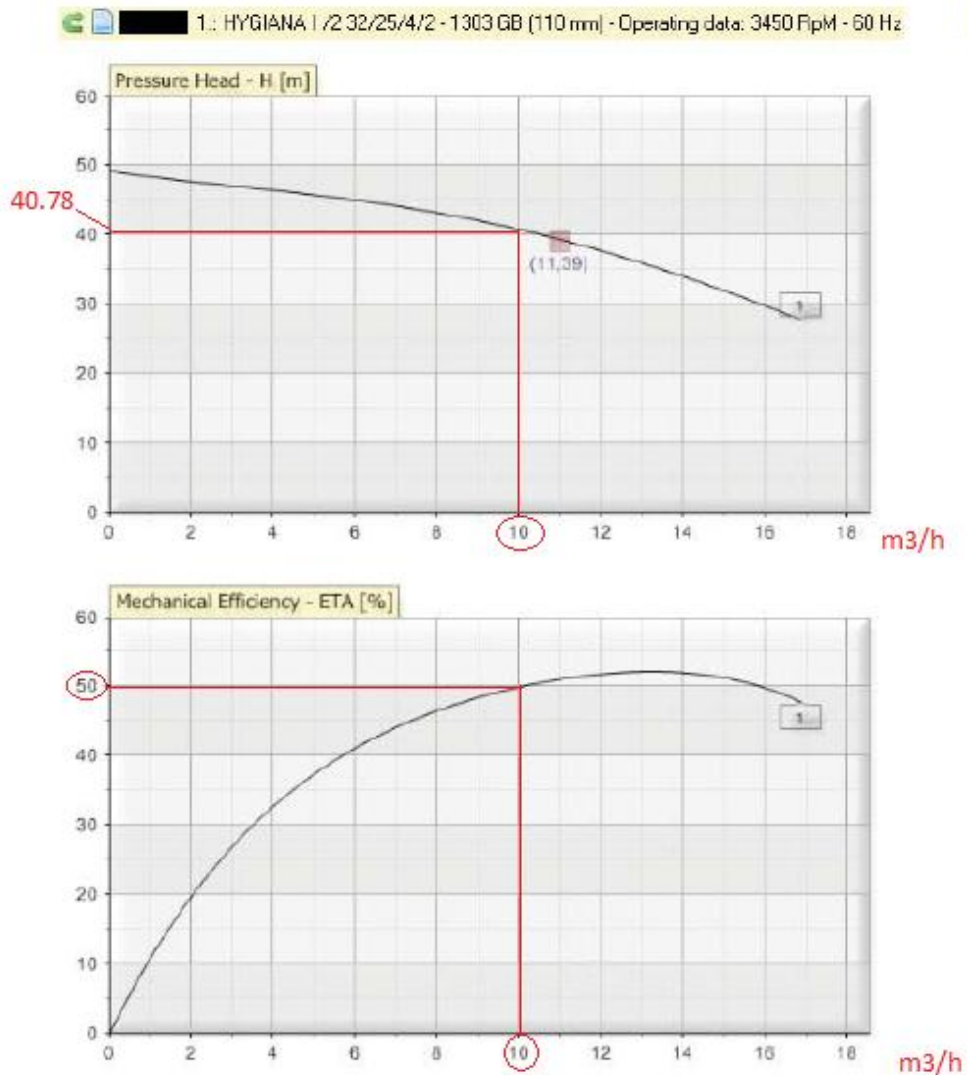


Gráfico 3.3. Punto de operación de la bomba Hygiana

Fuente: Acero Comercial Ecuatoriano S.A.

### 3.1.4.13. Análisis para el cálculo teórico de la potencia de la bomba

A continuación se realiza un balance de energía al sistema, aplicando la ecuación número 2.

Donde:

$$\frac{P_1}{\gamma} = 0 ; \text{ por efecto que en el tanque acumulador la presión tiende a cero.}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 0 ; \text{ por efecto que en el tanque de descarga no hay presión.}$$

$Z_1 = 0$  ; punto de inicio del sistema (tomado desde la superficie del tanque de succión)

$Z_2 = 10\text{m}$  ; Altura del líquido tomado desde  $z_1$  hasta la superficie de la tubería de descarga.

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{(1.56 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})} = 0.124 \text{ m}; \text{ tomando en cuenta la velocidad de succión.}$$

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{(2.91 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})} = 0.432 \text{ m}; \text{ tomando en cuenta la velocidad de descarga}$$

$h_A =$  energía agregada por la bomba al sistema

$h_R = 0$ ; energía removida por algún elemento mecánico.

$h_L =$  pérdidas totales del sistema.

#### **3.1.4.13.1. Energía agregada por la bomba al sistema**

$$h_A = 10\text{m} + 0.432\text{m} + 54.38 - 0.124\text{m}$$

$$h_A = 64.68 \text{ m}$$

#### **3.1.4.13.2. Cálculo de la potencia agregada al fluido por la bomba**

Con la fórmula mostrada a continuación, se calcula la potencia teórica que deberá tener la bomba.

$$PA = hA \cdot \gamma \cdot Q$$

Dónde:

PA = potencia agregada al fluido

hA = energía suministrada por la bomba al fluido

Q = caudal de descarga

$$PA = 64.68 \text{ m} \times \frac{9560 \text{ N}}{\text{m}^3} \times 2.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$PA = 1712.80 \text{ W} = 1.712 \text{ kW.}$$

Para calcular la potencia real de la bomba se tomará en cuenta la eficiencia de la misma (gráfico 3.3)

$$\text{Pot} = \frac{PA}{e} = \frac{1.505 \text{ kW}}{0.5}$$

$$\text{Pot} = 3.424 \text{ kW}$$

$$\text{Pot} = 4 \text{ kW} \quad (\text{Anexo 24}).$$

### 3.2. CÁLCULO Y DISEÑO DE TANQUES

El gráfico 3.4. Muestra los tanques horizontal y vertical que se estudiarán en este literal. Cada uno de los recipientes se diseñará en base al manual de recipientes; presión, diseño y cálculo por Eugene F.



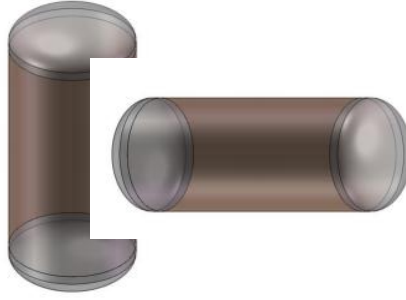


Gráfico 3.4. Tanques horizontal y vertical

Fuente: Autores

### 3.2.1. Presión de diseño (P dis)

La presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 lb/pulg<sup>2</sup> o 10% más que la presión de trabajo, la que sea mayor. También debe tomarse en consideraciones la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente.

Si  $P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2$ .

$P = 1.1 \cdot P_{dis}$ .

Si  $P_{dis} \leq 300 \text{ lb/pulg}^2$ .

$P = P_{dis} + 30 \text{ lb/pulg}^2$ .

### 3.2.2. Presión máxima permisible

El término “**Máxima presión de trabajo permisible nuevo y frío**” es usado frecuentemente. Esto significa: La presión máxima permisible, cuando se encuentra en las siguientes condiciones:

- a) El recipiente no está corroído (nuevo).
- b) La temperatura no afecta a la resistencia a la tensión del material (temperatura ambiente frío).
- c) Tampoco se consideran los efectos producidos por la acción del viento, presión hidrostática, etc.

$$(P)_{\text{máx.}} = \frac{f_y \times E \times t_n}{R_i - 0.4 \times t_n}$$

### 3.2.3. Cálculo del espesor de la pared de los tanques

Se analizará el cálculo del espesor de los tanques desferrizadores en donde se usará la ecuación número 20.

$$t = \frac{P_{dis} \times R_i}{f_y \times E - 0.6 \times P_{dis}} \quad (20)$$

### 3.2.4. Esfuerzo de diseño a la tensión ( $f_y$ )

Es el valor máximo al que se puede someter un material, que forma parte de un recipiente a presión, en condiciones normales de operación. Su valor es aproximadamente el 25% del esfuerzo último a la tensión del material en cuestión.

### 3.2.5. Eficiencia de la soldadura (E)

Se puede definir la eficiencia de las soldaduras, como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas. Sus valores están dados en la tabla 3.17. En la cual se muestran los tipos de unión más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión.

FACTOR DE SOLDADURA

$\psi$	Tipo de soldadura
0,7	Doble cordón no radiografiada
0,85	Doble cordón p/ radiografiada
1	Doble cordón t/ radiografiada
0,65	Simple cordón no radiografiada
0,8	Simple cordón p/ radiografiada
0,9	Simple cordón t/ radiografiada

Tabla 3.17. Factores de soldadura

Fuente: Asme sección VIII

### 3.2.6. Tapa elíptica 2:1 o semielíptica

La ecuación número 21 se usará para el cálculo del espesor de una tapa semielíptica.

$$t = \frac{P_{dis} \times R_i}{(21) \times f_y \times E - 0.2 \times P}$$

### 3.2.7. Cálculo de los tanques desferrizadores

Los parámetros de trabajo y de diseño para los tanques desferrizadores se detallan en la tabla 3.20.

#### 3.2.7.1. Cálculo de la altura de diseño

Aplicando los parámetros de diseño se obtiene los siguientes resultados:

$$V = \frac{D^2 \times \pi}{4} h$$

Despejando:

$$H1 = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

Altura del cilindro.

$$H1 = \frac{4 \times 0,4m^3}{\pi \times 0,25m^2} = 2.037183 \text{ m}$$

#### 3.2.7.2. Cálculo de la presión de operación del tanque desferrizador

En este punto se calculará la presión interna del tanque.

$$V = \frac{p}{\gamma}$$

Volumen de arena o carbón:

$$V = \frac{150 \text{ kg}}{1800 \text{ kg/m}^3} = 0.083333m^3$$

$$h = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,083333m^3}{\pi \times 0,25m^2}$$

Altura del carbón activado:  $h = 0.424411 \text{ m}$

Como siguiente paso se analizará las presiones en los puntos A, B, C (ver gráfico 3.5). Los datos de trabajo se detallan en la tabla 3.18.

Datos	
P operación=	1000000 N/m <sup>2</sup>
γ agua=	999 kg/m <sup>3</sup>
γ arena=	1800 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 3.18. Datos de operación

Fuente: Autores

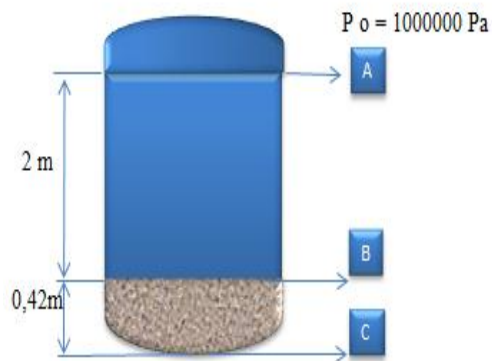


Gráfico 3.5. Esquema del tanque desferrizador

Fuente: Autores

Análisis de las presiones internas en el tanque:  $P_A = P_o$

$P_A =$  Presión en el punto A = 10 bar

$P_o =$  Presión de operación

Análisis en el punto B:  $P_B = (\gamma \times h_1)$

$\gamma =$  peso específico del agua

$h_1 =$  altura del liquido

$$P_B = \frac{999 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ m}}{10000 \text{ cm}^2} = 0.1998 \text{ kg/cm}^2$$

Conversión a bares:  $P_B = 0.195036867 \text{ bar}$

Análisis en el punto C:  $P_C = P_B + \gamma(h)$

$P_B$  = presión en el punto B

$\gamma$  = peso específico de carbón activado

$h$  = altura del carbón

$$P_C = 10 \text{ bar} + 0.195936867 \text{ bar} + 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.424411 \text{ m}$$

$$P_C = 10 \text{ bar} + 0.195936867 \text{ bar} + 0.074916902 \text{ bar}$$

$$P_C = 10.27 \text{ bar} = P_{\text{dis}}$$

“Con la presión de diseño ya calculada se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes con una presión mayor que la de diseño. Este requisito se satisface con una presión de 30 lb/plg<sup>2</sup> o 10% más que la de presión de diseño”<sup>8</sup>.

En este caso se escoge el valor de 30 PSI = 2.0684 bar

$$P_{\text{dis}} = 10.27 \text{ bar} + 2.068427188 \text{ bar} = 12.3384 \text{ bar}$$

Por lo tanto la presión de diseño es:

$$P_{\text{dis}} = 13 \text{ bar}$$

### 3.2.7.3. Diseño del espesor de la parte cilíndrica del tanque desferrizador

Para el diseño del espesor de los tanques desferrizadores se debe tener en consideración los siguientes datos (ver tabla 3.19).

Radio interior del cilindro, $R_i =$	0.25 m
Diámetro interior del cilindro, $D_i =$	0.5m

<sup>8</sup> Manual de Recipiente, Diseño y calculo, Eugene F. Megyesy, pág. 15

Altura de diseño, H=	2m
Altura de la cara lateral, h1=	0.125m
Presión interior de diseño	1300000 Pa
Eficiencia de la junta, E =	0.85
Corrosión Permisible =	1
Esfuerzo permisible, fy =	176519700 N/m <sup>2</sup>

Tabla 3.19. Datos generales del tanque desferrizador

Fuente: Autores

**Nota:** Eficiencia de la junta 0.85 significa, El punto óptimo de eficiencia de soldaduras, por experiencia para los cuerpos cilíndricos, se tiene cuando E = 0.85, es decir, el espesor no es muy grande y el costo del radiografiado es relativamente bajo.

Con los datos obtenidos anteriormente se realiza el cálculo del espesor utilizando la ecuación número 20.

$$t = \frac{1300000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.25\text{m}}{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.6 \times 1300000 \text{ N/m}^2} = 0.002177 \text{ m}$$

Se escoge un espesor de 4 milímetros.

$$t = 0.004 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\frac{t}{r} < 10$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$\frac{4}{250} < 10 ; \quad 0.016 < 10 \text{ Es de pared delgada}$$

### 3.2.7.4. Cálculo de la Presión máxima permisible de los tanques desferrizadores

Es la máxima presión que el espesor seleccionado para el tanque puede soportar, calculado con la ecuación número 19 obtenida por el libro Manual de recipientes a presión pág. 16 (Megyesy, 1992).

$$P_{\text{máx}} = \frac{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.004\text{m}}{0.25\text{m} - 0.4 \times 0.004\text{m}} = 24.16131159 \text{ bar}$$

La presión máxima permisible es de 24.16131159 bar, para el tanque diseñado con una plancha de acero inoxidable 316L de 4mm de espesor.

### 3.2.7.5. Cálculo del espesor de la cabeza elíptica 2:1 bajo presión interna

En este caso se selecciona una cabeza elíptica 2:1 ver gráfico 3.6.

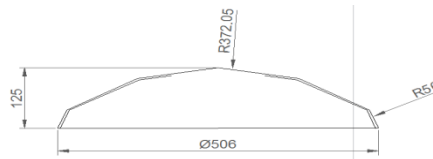


Gráfico 3.6. Esquema de una cabeza semielíptica

Fuente: Autores

En este análisis se realiza el cálculo del espesor mediante la ecuación número 21 obtenida del libro Manual de Recipientes a Presión diseño y cálculos a presión, Pág. 18.

$$t = \frac{1300000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.25 \text{ m}}{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.2 \times 1300000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0.01084 \text{ m}$$

Por lo tanto se escoge un espesor de 3 mm.

$$t = 3 \text{ mm}$$

### 3.2.7.6. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 de los tanques desferrizadores

Para este análisis se realizara el cálculo de la presión mediante la ecuación número 22 tomado del libro Manual de Recipientes a Presión diseño y cálculos a presión, Pág. 18.

$$P_{\text{máx.}} = \frac{2 \times f_y \times E \times t}{R_i + 0.2 \times t} \quad (22)$$

$$P_{\text{máx.}} = \frac{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.003\text{m}}{0.25\text{m} + 0.2 \times 0.003\text{m}} = 3592380.2 \text{ Pa}$$

Es la presión máxima permisible para la cabeza semielíptica de los tanques desferrizadores con un espesor de 3mm.

### 3.2.7.7. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro

Para su diseño se utiliza una presión en base al esfuerzo que va a ser sometido el material, a continuación se calcula los esfuerzos a tensión. (Gráfico 3.7.)

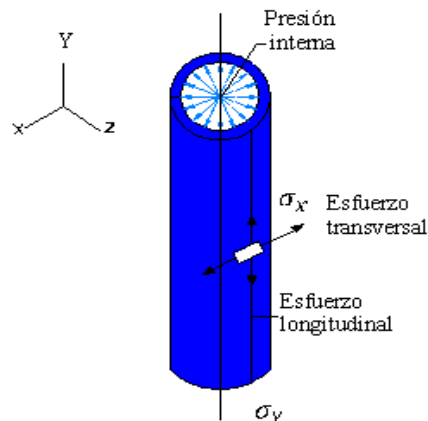


Gráfico 3.7. Cilindro de pared delgada sometido a presión interna

Fuente: Autores

Con los siguientes datos que se indica en la tabla 3.20, se determinará los esfuerzos transversales y longitudinales.



Pi=	1300000 Pa
Ri=	0.25 m
E=	0.85
fy=	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	0.5 m

Tabla 3.20. Datos principales de los tanques desferrizadores

Fuente: Autores

### 3.2.7.8. Esfuerzo Circunferencial o tangencial ( $\sigma_x$ )

Para el esfuerzo circunferencial o tangencial se utilizará la ecuación número 23:

$$\sigma_x = \frac{P_i \times r_i}{t} \quad (23)$$

Si la pared del cilindro es relativamente delgada el esfuerzo trasversal máximo es  $\sigma_x$ .

$$\sigma_x = \frac{1300000 \frac{N}{m^2} \times 0.25m}{0.004 m} = 81250000 N/m^2$$

### 3.2.7.9. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )

Para el esfuerzo longitudinal o axial se utilizará la ecuación 24.

$$\sigma_y = \frac{P_i \times r_i}{2t} \quad (24)$$

$$\sigma_y = \frac{1300000 \frac{N}{m^2} \times 0.25m}{2 \times 0.004m} = 40625000 N/m^2$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{f_y}{\sigma} \quad (25)$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo, que es el esfuerzo transversal. Se utiliza un acero inoxidable AISI 316L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700 \text{ N/m}^2$ , se utiliza la ecuación número 25.

$$n = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{81250000 \text{ N/m}^2} = 2.17$$

Lo que indica que el espesor señalado es suficiente para soportar los esfuerzos aplicados.

#### **3.2.7.10. Selección del MAN-HOLE (Diámetro interior) y accesorios**

Todos los recipientes sujetos a presión que contendrán aire comprimido y aquellos sometidos a agua, corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados. Los registros de inspección que aparecen en la tabla ubicada en el Anexo 17.

En este caso es un diámetro interior mayor de 19.69 pulgadas y según la tabla obtenemos un registro de hombre con un mínimo de 15 pulgadas de diámetro interior o dos tubos roscados de 2 pulgadas de diámetro.

Para accesorios soldados y roscados, los más comunes usados ver el Anexo 18.

#### **3.2.7.11. Cálculo del peso del tanque**

$$W = W_{\text{agua}} + w_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

#### **3.2.7.12. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)**

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{tc}} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = A \times L = \frac{\pi D_i^2 \times L}{4} = \frac{\pi (0.5\text{m})^2 \times 2\text{m}}{4} = 0.4\text{m}^3$$

$$V_{\text{tapas}} = 2.0944 \times r_i \times r_i \times h$$

$$V_{\text{tapas}} = 0.0163625 \text{ m}^3$$

Son dos tapas el resultado del volumen es:

$$V_{\text{tapas}} = 0.032725 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tc}} = 0.4 \text{ m}^3 + 0.032725\text{m}^3 = 0.432725 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 0.432725 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 432.725 \text{ kg}$$

### **3.2.7.13. Cálculo del peso del recipiente vacío**

$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Altura del anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times$   
número de anillos  $\times$  número planchas Anillos

$$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 1\text{m} \times 0.004\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 2 \times 1$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 156.16 \text{ kg}$$

### **3.2.7.14. Peso de los accesorios**

$W_{\text{accesorios}} = 10\% \times W_{\text{recipiente vacío}}$

$$W_{\text{accesorios}} = 15.616 \text{ kg}$$

### **3.2.7.15. Peso de las caras laterales**

$W_{\text{caras}} = \text{Volumen de la tapa lateral} \times \text{Densidad del acero}$

$$W \text{ caras} = 0.000856733\text{m}^3 \times 8000 \text{ kg/m}^3$$

$$W \text{ caras} = 6.85 \text{ kg} \times 2 = 13.7 \text{ kg}$$

$$W \text{ recipiente vacío} = 156.16 \text{ kg} + 15.616 \text{ kg} + 13.7 \text{ kg} = 185.476 \text{ kg}$$

### 3.2.7.16. Peso total del tanque

$$W \text{ total} = W \text{ agua} + W \text{ recipiente vacío} + W \text{ arena}$$

$$W \text{ total} = 432.725 \text{ kg} + 185.476 \text{ kg} + 150 \text{ kg} = 768.201 \text{ kg}$$

### 3.2.7.17. Valores calculados del tanque desferrizador

Todos los valores calculados, se muestran detalladamente en la siguiente tabla 3.21.

<b>DISEÑO DE LOS TANQUES DESFERRIZADORES</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
TIPO DE TAPAS LATERALES	SEMIESFERICA	-
ALTURA TOTAL DEL TANQUE	2.25	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	0.5	m
CAPACIDAD DEL TANQUE	0.4	m <sup>3</sup>
ALTURA DE DISEÑO	2	m
PRESION INTERIOR DE DISEÑO	1300000	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2.44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1,22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0.004	m
ESPESOR DE LA PLANCHA TAPA LATERAL	0.003	m
NUMERO DE ANILLOS	2	Unidades
ALTURA DEL ANILLO	1	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	1	Unidad

NUMERO DE PLANCHAS LATERALES	1	Unidad
TUBERIA DIAMETRO NOMINAL	25.4	mm
MAN-HOLE (Diámetro interior)	200	mm
PESO TOTAL DEL TANQUE	768.201	kg

Tabla 3.21. Valores de los tanques desferrizadores

Fuente: Autores

**Nota:** El sistema tiene dos tanques desferrizadores con las mismas medidas y características de diseño, ver tabla 3.21.

### 3.2.7.18. Cálculo y diseño de las columnas de soporte

Se considera un cilindro sometido a compresión. (Gráfico 3.8.)

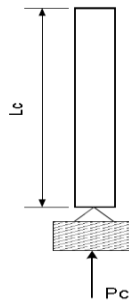


Gráfico 3.8. Cilindro a compresión

Fuente: Autores

$L_c$  = Longitud del cilindro sin arriostrar

$P_c$  = Carga axial a la que se verá expuesta la columna

Para la determinación de  $P_c$ , se hacen las consideraciones siguientes:

- a) Se tomarán en cuenta las condiciones normales de operación.
- b) No se consideran condiciones accidentales de viento o sismo.

Para las condiciones normales de operación, la carga para una columna es igual a la ecuación número 26:

$$P_w = \frac{W}{N_p} \quad (26)$$

$W$  = Peso total de recipiente, en condiciones de operación

$N_p$  = número de columnas.

Ya conocidas las condiciones de carga, se realiza el siguiente análisis: (gráfico 3.9).

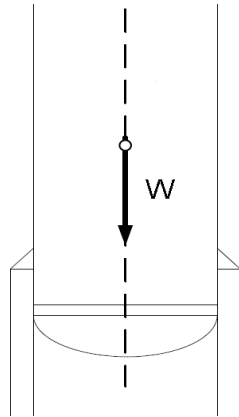


Gráfico 3.9. Esquema de tanque vertical

Fuente: Autores

Análisis de la columna A: (gráfico 3.10).

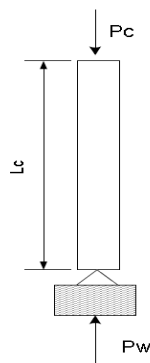


Gráfico 3.10. Columna A

Fuente: Autores

$P_c$  = carga axial de la columna

Donde  $P_c = P_w$

$$P_w = \frac{768.201 \text{ kg}}{3} = 256.067 \text{ kg}$$

### 3.2.7.18.1. Selección del perfil de la columna

Es un cilindro circular que debe soportar una carga de compresión  $P_c = 206.67 \text{ kg}$  el esfuerzo último en compresión del material es de  $\sigma_y = 176519700 \text{ Pa}$  o  $1800 \text{ kg/cm}^2$  ver anexo 16 y 36.

#### 3.2.7.18.1.1. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$

Para columnas se utiliza la ecuación número 27 tomado de la norma API -650 punto 3.10.3.4.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{f_y}} \quad (27)$$

$f_y$  = esfuerzo de resistencia del material

$E$  = módulo de elasticidad

Datos:

$$f_y = 1800 \text{ kg / cm}^2$$

$$E = 193 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$r = 2.19 \text{ cm}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{176519700 \text{ N/m}^2}} = 146.91$$

La longitud efectiva es:

$$L_e = k \times L$$

$k = 2.1$ , condiciones de apoyos tipo columna empotrada libre

$Le = 2.1 \times 0.5\text{m} = 1.05 \text{ m}$

### 3.2.7.18.1.2. Cálculo de las tensiones admisibles de compresión en los apoyos

Para los apoyos tubulares se utiliza la ecuación número 28.

$\lambda = Le/r = 1.05 \text{ m}/0.0219 \text{ m} = 47.94$

Cuando  $\lambda = 47.94 \leq Cc = 146.91$ .

$$F_a = \frac{\left[ \frac{1 - \left(\frac{L}{r}\right)^2}{2 Cc^2} \right] \sigma_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{L}{r}\right)}{8 Cc} - \frac{\left(\frac{L}{r}\right)^3}{8 Cc^3}} \left[ 1.6 - \frac{L}{200 r} \right] \quad (28)$$

Dónde:

$F_a$  = Esfuerzo de compresión admisible

$L$  = longitud de la columna no arriostrada

$r$  = menor radio de giro de la columna

$$F_a = \frac{167121243.7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1.784693904} \left[ 1.6 - \frac{L}{200 r} \right]$$

$F_a = 58567664.11 \text{ Pa} = 597.22 \text{ kg/cm}^2$

Tensión de trabajo (S) en una pata:

$S = P_w / A = 256.067 / 2.92 \text{ cm}^2 = 87.69 \text{ kg/cm}^2$

$S = 87.69 \text{ kg/cm}^2 < \text{Tensión admisible } F_a = 597.22 \text{ kg/cm}^2$



Los soportes para el tanque desferrizador son válidos y el número de columnas son tres.

### 3.2.7.18.1.3. Diseño de la placa base del tanque desferrizador

Se requiere contar con una placa base que sea capaz de soportar el esfuerzo producido por el peso del tanque.

Se propone una placa, de 10 cm x 10 cm, empleando un acero AISI 304,  $f_y = 2100$  kg/cm<sup>2</sup>.

El área =  $10 \times 10 = 100$  cm<sup>2</sup>

La carga de diseño es 768.2 kg

El esfuerzo permisible para la placa; según el manual del AISC (American Institute of Steel Construction) es  $0.75 f_y$ .

Por lo tanto,

$$0.75 f_y = 0.75 \times 2100 \text{ kg/cm}^2 = 1575 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo para la carga de 768.2 kg es:

$$\sigma = \frac{768.2 \text{ kg}}{100 \text{ cm}^2} = 7.682 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 1575 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 8 \text{ kg/cm}^2$$

La placa es adecuada para soportar la carga producida por el peso del tanque

Para el cálculo del espesor de la placa se utiliza la ecuación número 29 obtenida del manual de la AISC, pág. 3-106.

$$t_p = 2 b \sqrt{\frac{\sigma}{f_y}} \tag{29}$$

Dónde:

$t_p$  = espesor de la placa

$b$  = longitud de la placa

$\sigma$  = esfuerzo de la carga

$f_y$  = límite de fluencia

$$t_p = 2 \times 10 \text{ cm} \sqrt{\frac{8 \text{ kg/cm}^2}{2100 \text{ kg/cm}^2}} = 1.23 \text{ cm}$$

$t_p = 12 \text{ mm}$

### **3.2.8. Diseño del tanque de prefiltros**

A continuación se detalla los siguientes parámetros de trabajo y de diseño para el tanque de prefiltros.

Temperatura externa = Temperatura interior,  $T_o = T_i = 28^\circ\text{C}$

Presión operación,  $P_o = 10 \text{ Bar}$

Diámetro interior del cilindro,  $D_i = 0.25 \text{ m}$

Peso específico del agua,  $\gamma = 999 \text{ kg/m}^3$

Esfuerzo permisible máximo,  $f_y = 176519700 \text{ kg/cm}^2$

#### **3.2.8.1. Cálculo de la presión de operación del tanque de prefiltros**

En este punto se calculará la presión interna del tanque, como se indica:

$$P_{\text{dis}} = 10 \text{ bar} + 999 \text{ kg/m}^3 \times 0.25 \text{ m} = 10.0244 \text{ bar}$$

Para el diseño del tanque para los pre-filtros se aumenta 30 PSI a la presión de diseño como se indica a continuación.

$$P_{\text{dis}} = 10.0244 \text{ bar} + 2.0684272 \text{ bar} = 12.0928272 \text{ bar}$$

P dis = 13 bar

### 3.2.8.2. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de los prefiltros

Para el cálculo del espesor del tanque de prefiltro se debe tener en consideración los parámetros de diseño del literal 3.2.8.

**Nota:** Eficiencia de la junta 0.85 significa, El punto óptimo de eficiencia de soldaduras, por experiencia para los cuerpos cilíndricos, lo tenemos cuando  $E = 0.85$ , es decir, el espesor no es muy grande y el costo del radiografiado es relativamente bajo.

A continuación se realiza el cálculo del espesor con la ecuación número 20, obtenida del libro Manual de recipientes a presión pág. 18 (Megyesy, 1992).

$$t = \frac{1300000 \text{ Pa} \times 0.125 \text{ m}}{176519700 \text{ Pa} \times 0.85 - 0.6 \times 1300000 \text{ Pa}} = 0.0010887 \text{ m}$$

En este análisis se escoge un valor de 2 mm para el espesor del cilindro.

Por lo tanto:

$$\frac{t}{r} < 10$$

$$\frac{2}{125} < 10$$

0.016 < 10 Cumple es de pared delgada

### 3.2.8.3. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de prefiltros

En este análisis se utilizará la ecuación número 19 para deducir la presión máxima que soporta el cilindro.

$$P_{\text{máx}} = \frac{176519700 \text{ Pa} \times 0.85 \times 0.002 \text{ m}}{0.125 \text{ m} - 0.4 \times 0.002 \text{ m}} = 24.0066 \text{ bar}$$

La presión máxima permisible es de 24 bar para el tanque diseñado con una plancha de acero inoxidable de 2 mm de espesor.

#### 3.2.8.4. Cálculo del espesor de las caras laterales elíptica 2:1

En este punto se calcula el espesor de las caras del tanque utilizando la ecuación número 21:

$$t = \frac{1300000 \text{ N/m}^2 \times 0.125 \text{ m}}{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.2 \times 1300000 \text{ N/m}^2} = 0.5419856 \text{ m}$$

Por lo tanto se escoge un espesor de 2 mm

#### 3.2.8.5. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 o semielíptica

Para este cálculo se utiliza la ecuación número 22.

$$P = \frac{2 \times \frac{176519700 \text{ N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.002 \text{ m}}{0.125 \text{ m} + 0.2 \times 0.002 \text{ m}} = 47.86021 \text{ Pa}$$

Este resultado es la presión máxima que soportara la cabeza del cilindro con un espesor de 2mm.

#### 3.2.8.6. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro de prefiltros

Para el diseño se utiliza una presión en base al esfuerzo que será sometido el material, luego se calcula los esfuerzos a tensión. (Gráfico 3.7).

Con los datos de la tabla 3.22, se realiza los cálculos correspondientes a los esfuerzos transversales y longitudinales.

Pi=	1300000 Pa
Ri=	0.125 m
E=	0.85
fy=	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	0.25 m

Tabla 3.22. Datos principales del tanque de prefiltros

Fuente: Autores

### 3.2.8.6.1. Esfuerzo Circunferencial o tangencial ( $\sigma_x$ )

Si la pared del cilindro es relativamente delgada el esfuerzo trasversal máximo es  $\sigma_x$ . Para el esfuerzo circunferencial o tangencial utilizando la siguiente ecuación número 23:

$$\sigma_x = \frac{1300000 \text{ N/m}^2 \times 0.125 \text{ m}}{0.002 \text{ m}} = 81250000 \text{ N/m}^2$$

### 3.2.8.6.2. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )

Para el esfuerzo longitudinal o axial se utiliza la ecuación número 24.

$$\sigma_y = \frac{1300000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.125 \text{ m}}{2 \times 0.002 \text{ m}} = 40625000 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo que es el esfuerzo transversal. Se utiliza un acero inoxidable AISI 316L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700 \text{ N/m}^2$ .

$$n = \frac{f_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{81250000 \text{ N/m}^2} = 2.17255$$

El espesor señalado es suficiente para soportar los esfuerzos aplicados.

### 3.2.8.7. Cálculo del peso del tanque

$$W = W_{\text{agua}} + W_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

### 3.2.8.8. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{tc}} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = A \times L = \frac{\pi D_i^2 \times L}{4}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = \frac{\pi (0.25\text{m})^2 \times 1.6\text{m}}{4} = 0.0785 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tapas}} = 2.0944 \times r_i \times r_i \times h$$

Dónde:

$$r_i = \text{radio interior} = 0.125 \text{ m}$$

$$h = \text{altura de la cabeza} = 0.05\text{m}$$

$$V_{\text{tapas}} = 0.001636 \text{ m}^3$$

Son dos tapas; el resultado del volumen de las tapas es:

$$V_{\text{tapas}} = 0.003273 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tc}} = 0.0785 \text{ m}^3 + 0.003273 \text{ m}^3 = 0.081773 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 0.081773 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 81.773 \text{ kg}$$

### 3.2.8.9. Cálculo del peso del recipiente vacío

$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Altura del anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times$   
 $\text{número de anillos} \times \text{número planchas Anillos}$

$$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 1.6\text{m} \times 0.002\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 62.464 \text{ kg}$$

### 3.2.8.10. Peso de los accesorios

$W_{\text{accesorios}} = 10\% \times W_{\text{recipiente vacío}}$

$$W_{\text{accesorios}} = 6.2464 \text{ kg}$$

### 3.2.8.11. Peso de las caras laterales

$W_{\text{caras}} = \text{Volumen} \times \text{Densidad del acero}$

$$W_{\text{caras}} = \frac{\pi (0.302\text{m})^2 \times 0.002\text{m}}{4}$$

$$W_{\text{caras}} = 0.00143262 \times 2 = 0.002865 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{caras}} = 0.002865 \text{ m}^3 \times 8000 \text{ kg/m}^3 = 2.29 \text{ kg}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = 62.464 \text{ kg} + 6.2464 \text{ kg} + 2.29 \text{ kg} = 71 \text{ kg}$$

### 3.2.8.12. Peso total del tanque

$W_{\text{total}} = W_{\text{agua}} + W_{\text{recipiente vacío}}$

W total = 81.773 kg + 71kg = 152.77 kg

### 3.2.8.13. Valores calculados para el tanque de prefiltros

Todos los valores calculados, se muestran detalladamente en la tabla 3.23.

<b>DISEÑO DE LOS TANQUES PREFILTROS</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
TIPO DE TAPAS LATERALES	SEMIELIPTICA	-
LONGITUD TOTAL DEL TANQUE	1.64672	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	0.25	m
CAPACIDAD DEL TANQUE	0.074809	m <sup>3</sup>
ALTURA DE DISEÑO	1.524	m
PRESION INERIOR DE DISEÑO	1300000	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	-
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2.44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1.22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0.002	m
ESPESOR DE LA PLANCHA TAPA LATERAL	0.002	m
NUMERO DE ANILLOS	1	Unidades
LONGITUD DEL ANILLO	1.524	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	1	Unidades
NUMERO DE PLANCHAS LATERALES	1	Unidades
TUBERIA DIAMETRO NOMINAL	25.4	mm
TUBERIA DE SALIDA NOMINAL	50.8	mm
MAN-HOLE (Diámetro interior)	-	-
PESO DEL TANQUE DE PREFILTRO	152.77	kg

Tabla.3.23. Valores del tanque de prefiltros

Fuente: Autores



**Nota.** El tanque de prefiltros es un tanque horizontal, que se muestra en el plano con código 10.91465.01.01.00. El tanque tiene unos apoyos de concreto, el mismo que es un tema de obra civil.

### **3.2.9. Diseño del tanque de la ósmosis reversa (OR)**

A continuación se detalla los parámetros de trabajo y de diseño para el tanque de la ósmosis reversa.

#### **3.2.9.1. Parámetros de trabajo**

Temperatura externa = Temperatura interior,  $T_o = T_i = 28^\circ\text{C}$

Presión externa,  $P_e = 101352.9\text{ Pa}$  (Presión atmosférica)

Presión operación,  $P_o = 10\text{ Bar}$

#### **3.2.9.2. Parámetros de diseño**

Diámetro interior del cilindro,  $D_i = 0.25\text{ m}$

Corrosión permisible,  $\text{Corr} = 1\text{ mm}$

Eficiencia de la juntan,  $E = 0.85$

Esfuerzo permisible máximo,  $f_y = 176519700\text{ kg/cm}^2$

#### **3.2.9.3. Cálculo de la presión de operación del tanque OR**

En este punto se calculará la presión interna del tanque.

$$P_{\text{dis}} = 10\text{bar} + \frac{999\text{kg} \times 0.25\text{m}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{dis}} = 10\text{ bar} + 0.024492108\text{ bar} = 10.024492\text{ bar}$$

Para el diseño del tanque de ósmosis reversa se aumentará 30 PSI o 2.0684272 bares a la presión de diseño por lo tanto se obtiene:

$$P_{\text{dis}} = 12.092919\text{ bar}$$

#### 3.2.9.4. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de OR

Para el cálculo del espesor del tanque de la OR, se debe tener en consideración los parámetros de diseño que se detallaron anteriormente.

A continuación se realiza el cálculo del espesor con la ecuación número 20.

$$t = \frac{1209291.9 \text{ Pa} \times 0.125 \text{ m}}{176519700 \text{ Pa} \times 0.85 - 0.6 \times 1209291.9 \text{ Pa}} = 0.001012 \text{ m}$$

En este análisis se escoge como espesor 2 milímetros.

Por lo tanto:

$$\frac{t}{r} < 10$$

$$\frac{2}{125} < 10$$

0.016 < 10 es de pared delgada

#### 3.2.9.5. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de OR

En este análisis se utilizará la ecuación número 19 para el cálculo de la presión máxima que soporta el cilindro.

$$P \text{ máx} = \frac{176519700 \text{ Pa} \times 0.85 \times 0.002 \text{ m}}{0.125 \text{ m} - 0.4 \times 0.002 \text{ m}} = 24.16 \text{ Pa}$$

La presión máxima permisible es de 24.2 bares para el tanque diseñado con una plancha de acero 316L de 2 mm de espesor.

Nota: Las tapas laterales del tanque de OR son bridas planas ver anexo 22.

#### 3.2.9.6. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro de OR

Para el diseño se utilizará una presión en base al esfuerzo que va a ser sometido el material y se calculará los esfuerzos a tensión.

Con los datos de la tabla 3.24, se realizara los cálculos correspondientes a los esfuerzos transversal y longitudinal.

Pi=	1209291.93 Pa
Ri=	0.125 m
E=	0.85
fy=	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	0.25 m

Tabla 3.24. Datos principales del tanque de OR  
Fuente: Autores

### 3.2.9.6.1. El esfuerzo tangencial o circunferencial

Para el esfuerzo tangencial o circunferencial se utiliza la ecuación número 23.

$$\sigma_x = \frac{1209291.93 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.125 \text{m}}{0.002 \text{ m}} = 75580745.63 \text{ Pa}$$

### 3.2.9.6.2. Esfuerzo Longitudinal o axial

Para el análisis esfuerzo longitudinal o axial se utiliza la ecuación número 24.

$$\sigma_y = \frac{1209291.93 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.125 \text{m}}{0.002 \text{ m}} = 37790372.81 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo que es el esfuerzo transversal.

Se utiliza un acero inoxidable AISI 316L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700$  N/m<sup>2</sup>.

$$n = \frac{f_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{75580745.63 \text{ N/m}^2} = 2.34$$

### 3.2.9.7. Cálculo del peso del tanque

$$W = W_{\text{agua}} + w_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

### 3.2.9.8. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{tc}} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = A \times L = \frac{\pi D_i^2 \times L}{4}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = \frac{\pi (0.25\text{m})^2 \times 2.18\text{m}}{4} = 0.10701 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tc}} = 0.10701 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 0.10701 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 107 \text{ kg}$$

### 3.2.9.9. Cálculo del peso del recipiente vacío

$$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Long. Anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times \text{número de anillos} \times \text{número planchas Anillos}$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 2.18\text{m} \times 0.002\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1$$

$$W \text{ cuerpo} = 85.11 \text{ kg}$$

### 3.2.9.10. Peso de los accesorios

$$W \text{ accesorios} = 10\% \times W \text{ recipiente vacío}$$

$$W \text{ accesorios} = 8.51 \text{ kg}$$

$$W \text{ recipiente vacío} = 85.11 \text{ kg} + 8.51 \text{ kg}$$

$$W \text{ recipiente vacío} = 93.62 \text{ kg}$$

### 3.2.9.11. Peso total del tanque

$$W \text{ total} = W \text{ agua} + W \text{ recipiente vacío}$$

$$W \text{ total} = 107 \text{ kg} + 93.62 \text{ kg}$$

$$W \text{ total} = 200.62 \text{ kg}$$

### 3.2.9.12. Valores calculados del tanque OR

Todos los valores calculados, se muestran detalladamente en la tabla 3.25.

<b>DISEÑO DEL TANQUE OSMOSIS REVERSA</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>

TIPO DE TAPAS LATERALES	Planas	-
LONGITUD DEL TANQUE	2.68	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	0.25	m
CAPACIDAD DEL TANQUE	0.1070105	m <sup>3</sup>
ALTURA DE DISEÑO	2.18	m
PRESION INERIOR DE DISEÑO	1209291.93	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	-
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2.44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1.22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0.002	m
ESPESOR DE LAS TAPAS LATERALES	0.002	m
NUMERO DE ANILLOS	1	Unidades
ALTURA DEL ANILLO	2.18	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	1	Unidad
TUBERIA DIAMETRO NOMINAL ENTRADA	50.8	mm
TUBERIA DIAMETRO NOMINAL SALIDA	25.4	mm
PESO DEL TANQUE OR CON AGUA	200.62	kg

Tabla 3.25. Valores del tanque de OR

Fuente: Autores.

**Nota.** El tanque de OR es un tanque horizontal que se muestra el plano con código 10.9145.01.03.00. El tanque tiene unos apoyos de concreto el mismo que es un tema de obra civil.

### 3.2.10. Diseño del tanque de almacenamiento

Para este análisis las dimensiones requeridas son para un volumen de 4500 litros o 4.5 m<sup>3</sup>, se almacenará agua purificada.

#### 3.2.10.1. Datos de diseño:

Se utiliza la calculadora Tank para obtener los siguientes resultados de cálculo (ver gráfico 3.11).

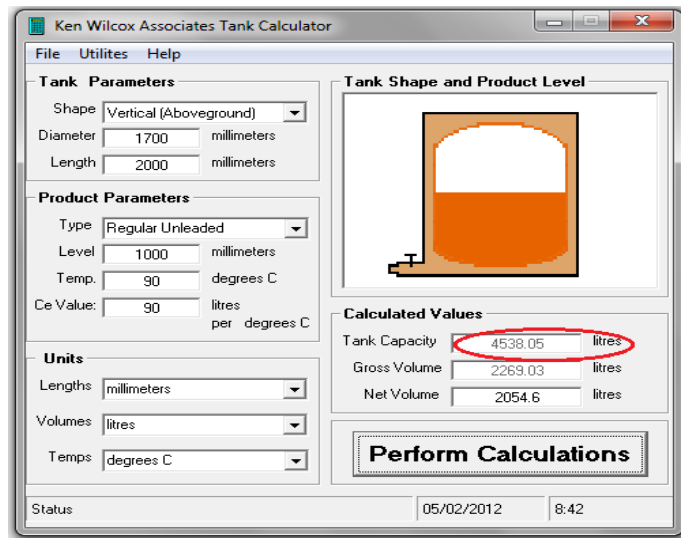


Gráfico 3.11. Capacidad del tanque  
Fuente: Programa Calculadora Tank

### 3.2.10.2. Parámetros de trabajo

Temperatura externa = Temperatura interior,  $T_o = T_i = 28^\circ\text{C}$

Presión externa,  $P_e = 101352.9\text{ Pa}$  (Presión atmosférica)

Presión operación,  $P_o = 10\text{ Bar}$

### 3.2.10.3. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se detallan en la tabla 3.29.

### 3.2.10.4. Cálculo de la presión de operación del tanque de almacenamiento

En este punto se calculará la presión de interna del tanque.

$$P_{\text{dis}} = 1\text{bar} + \frac{999\text{kg} \times 2\text{m}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{dis}} = 1\text{ bar} + 0.195936867\text{ bar} = 1.1959369\text{ bar}$$

Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes con una presión mayor que la de diseño. Este requisito se satisface con una presión de 30 lb/plg<sup>2</sup> o 10% más que la de presión de diseño.

En este caso se escoge el valor de 30 PSI, por lo que se obtiene lo siguiente:

$$P_{dis} = 1.1959369 \text{ bar} + 2.068427188 \text{ bar} = 3.264364088 \text{ bar}$$

### 3.2.10.5. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque de almacenamiento

Para el cálculo del espesor del tanque de almacenamiento se debe tener en consideración los datos de la tabla 3.26.

Radio interior del cilindro, Ri =	0.85 m
Diámetro interior del cilindro, Di=	1.7m
Altura de diseño, H=	2m
Altura de la cara lateral, h1=	0.425m
Presión interior de diseño	3.2643641 bar
Eficiencia de la junta, E =	0.85
Corrosión Permisible =	1
Esfuerzo permisible, fy =	176519700 N/m <sup>2</sup>

Tabla 3.26. Parámetros de trabajo del tanque de almacenamiento

Fuente: Autores.

Se realiza el cálculo del espesor con la ecuación número 20.

$$t = \frac{326436.41 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \text{m}}{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.6 \times 326436.41 \text{ N/m}^2} = 0.001852$$

Por lo tanto se escoge un espesor de 3 mm.



$$t = 0.003 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\frac{t}{r} < 10$$

$$\frac{3}{1700} < 10$$

0.002 < 10 es de pared delgada

### 3.2.10.6. Cálculo de la presión máxima permisible del tanque de almacenamiento

Se analizará la presión máxima que el recipiente puede soportar con un espesor de 3 mm con la ecuación número 19.

$$P_{\text{máx.}} = \frac{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,85 \times 0.003 \text{m}}{0.85 \text{m} - 0.4 \times 0.003 \text{m}} = 5.3 \text{ bar}$$

La presión máxima permisible es de 5.3 bar, para el tanque diseñado con una plancha de acero inoxidable 316 L de 3mm de espesor.

### 3.2.10.7. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna

Se realizará el cálculo del espesor de las cabezas elipsoidales 2:1 con la ecuación número 21.

$$t = \frac{326436.41 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \text{m}}{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.2 \times 326436.41 \text{ N/m}^2} = 0.000925 \text{ m}$$

En donde se escoge un espesor de 3 mm.

### 3.2.10.8. Presión máxima de la cabeza elíptica 2:1 del tanque de almacenamiento

Se analizará el cálculo de la presión mediante la ecuación número 22.

$$P \text{ máx} = \frac{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.003 \text{ m}}{0.85 \text{ m} + 0.2 \times 0.003 \text{ m}} = 10.58 \text{ bar}$$

### 3.2.10.9. Esfuerzos principales en el cilindro del tanque de almacenamiento

Para el diseño se utiliza una presión en base al esfuerzo que va a ser sometido el material (tabla 3.27) y se calcula los esfuerzos a tensión.

Pi=	326436.41 Pa
Ri=	0.85 m
E=	0.85
fy=	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	1.7 m

Tabla 3.27. Datos principales del tanque de almacenamiento

Fuente: Autores

#### 3.2.10.9.1. El esfuerzo tangencial o circunferencial ( $\sigma_x$ )

Para el esfuerzo tangencial o circunferencial se utiliza la ecuación número 23.

$$\sigma_x = \frac{326436.41 \text{ N/m}^2 \times 0.85 \text{ m}}{0.003 \text{ m}} = 92490316.17 \text{ Pa}$$

#### 3.2.10.9.2. Esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ )

Para el esfuerzo longitudinal o axial se utilizara la ecuación número 24.

$$\sigma_y = \frac{326436.41 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \text{ m}}{2 \times 0.003 \text{ m}} = 46245158.08 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo que es el esfuerzo transversal. Se utiliza un acero inoxidable AISI 316L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700 \text{ N/m}^2$ .

$$n = \frac{f_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{92490316.17 \text{ N/m}^2} = 1.91$$

Lo que indica que el espesor señalado es suficiente para soportar los esfuerzos aplicados.

### 3.2.10.10. Volumen de las cabezas elipsoidales 2:1

Para el siguiente análisis se utilizará la tabla del anexo 19, tomado del libro Pressure Vessel manual de recipientes para saber el volumen de las cabezas elipsoidales.

Según el diámetro interno del tanque es de 66.92 pulgadas se obtiene un volumen como indica la tabla del Anexo 19, y para tener un valor más exacto se realiza una interpolación, ver gráfico 3.12.

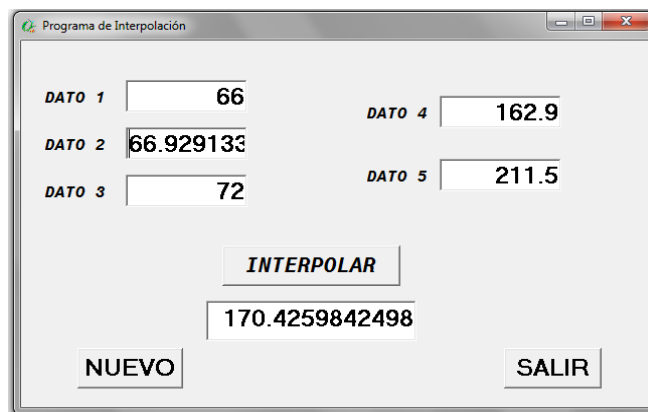


Gráfico 3.12. Esquema del programa de interpolación

Fuente: Autores.

El volumen de la cabeza elipsoidal 2:1 es de 170.42 galones que transformando en litros se obtiene 645.13 litros.

### **3.2.10.11. Selección del MAN-HOLE (Diámetro interior)**

Todos los recipientes sujetos a presión que contendrán aire comprimido y aquellos sometidos a agua, corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados. Los registros de inspección que aparecen en la tabla ubicada en el Anexo 17, en vista de que se estiman como las más económicas.

En este caso es un diámetro interior mayor de 66.92 pulgadas y según la tabla se obtiene un registro de hombre con un mínimo de 15 pulgadas de diámetro interior o dos tubos roscados de 2 pulgadas de diámetro.

Para los accesorios soldados y roscados los más comunes usados ver el Anexo 18.

### **3.2.10.12. Cálculo del peso del tanque**

$$W = W_{\text{agua}} + W_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

### **3.2.10.13. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)**

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{tc}} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = A \times L = \frac{\pi D_i^2 \times L}{4}$$

$$V_{\text{tc}} = \frac{\pi (1.7\text{m})^2 \times 2\text{m}}{4} = 4.5396 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 4.5396 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{agua tapa}} = 645.3 \text{ kg}$$

$$W_{\text{agua}} = 4539.6 \text{ kg} + 645.3 \text{ kg}$$

$$W_{\text{agua}} = 5184.9 \text{ kg}$$

#### **3.2.10.14. Cálculo del peso del recipiente vacío**

$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Altura del Anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times$   
número de anillos  $\times$  número planchas Anillos

$$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 2.18\text{m} \times 0.002\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 468.48 \text{ kg}$$

#### **3.2.10.15. Peso de los accesorios**

$$W_{\text{accesorios}} = 10\% \times W_{\text{recipiente vacío}}$$

$$W_{\text{accesorios}} = 46.848 \text{ kg}$$

#### **3.2.10.16. Peso de las caras lateral**

$$\text{Volumen de la cara lateral} = \frac{\pi (2.00161\text{m})^2 \times 0.003\text{m}}{4} = 0.009439\text{m}^3$$

$$W_{\text{cara}} = \text{Volumen} \times \text{Densidad del acero}$$

$$W_{\text{cara}} = 75.51 \text{ kg} \times 2 = 152.02 \text{ kg}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = 468.48 \text{ kg} + 46.848 \text{ kg} + 151.02 \text{ kg}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = 666.348 \text{ kg}$$

### 3.2.10.17. Peso total del tanque

$W_{total} = W_{agua} + W_{recipiente\ vacio}$

$W_{total} = 5184.9\text{ kg} + 666.348\text{ kg}$

$W_{total} = 5851.248\text{ kg}$

### 3.2.10.18. Valores obtenidos de cálculos para el tanque de almacenamiento

Todos los valores calculados se muestran detallados en la tabla 3.28.

<b>DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
TIPO DE TAPAS LATERALES	SEMIELIPTICA	-
ALTURA TOTAL DEL TANQUE	2.85	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	1.7	m
CAPACIDAD DEL TANQUE	5.184733914	m <sup>3</sup>
VOLUMEN DEL LIQUIDO 90%	4.666260522	m <sup>3</sup>
ALTURA DE DISEÑO	2	m
PRESION INERIOR DE DISEÑO	326436.4055	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	-
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2.44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1.22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA TAPA LATERAL	0.003	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0.003	m
NUMERO DE ANILLOS	1	Unidades
ALTURA DEL ANILLO	2	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	5	Unidad
NUMERO DE PLANCHAS LATERALES	4	Unidades
TUBERIA DE ENTRADA	0.0254	m

TUIBERIA DE SAIDA	0.0508	m
MAN-HOLE (Diámetro interior)	0.381	m
PESO TOTAL DEL TANQUE	5851.328	kg

Tabla 3.28. Datos del tanque de almacenamiento

Fuente: Autores.

### 3.2.10.19. Cálculo y diseño de las columnas soporte

Condiciones de apoyo tipo columna empotrada libre;  $K = 2.1$

Se considera un cilindro sometido a compresión. (Gráfico 3.8).

Ya conocidas las condiciones de carga, se realiza el análisis utilizando el gráfico 3.9 y gráfico 3.10.

Utilizando la ecuación número 26 se obtiene lo siguiente:

$$P_w = \frac{5851.248 \text{ kg}}{3} = 1950.416 \text{ kg}$$

#### 3.2.10.19.1. Selección del perfil de la columna

Se determinara la carga permisible de compresión que la columna cargada puede soportar, la carga de compresión  $P_c = 1950.416 \text{ kg}$ .

Datos:

$$L = 14.1732 \text{ plg}$$

$$r = 2.25 \text{ plg}$$

$$A = 5.58 \text{ plg}^2$$

$$\text{Diámetro} = 6 \text{ plg}$$

Datos tomados del manual AISC pág. 3-36 ver anexo 37.

$$L_e = k \times L$$

$$k = 2.1$$

$$L_e = 2.1 \times 14.1732 \text{ plg} = 29.7633 \text{ plg}$$

$$\lambda = L_e/r = 29.7633 \text{ plg} / 2.25 \text{ plg} = 13.23$$

Tabla C-36 AISC pág. 3-16 ver anexo 38.

Se obtiene:

$$F_a = 21 \text{ Ksi}$$

$F_a$  = Esfuerzo de compresión admisible del material

$$P_{cr} = F_a \times A$$

$$P_{cr} = 21 \text{ Ksi} \times 5.58 \text{ plg}^2$$

$$P_{cr} = 117180 \text{ lb} = 53151.95 \text{ kg}$$

$$1950.416 \text{ kg} < 53151.95 \text{ kg} \text{ cumple}$$

Los soportes para el tanque de almacenamiento son válidos y el número de columnas son tres.

### **3.2.10.20. Diseño de la placa base del tanque de almacenamiento**

Se requiere contar con una placa base que sea capaz de soportar el esfuerzo producido por el peso del tanque.



Se propone una placa, de 25 cm x 25 cm, empleando un acero AISI 304,  $f_y = 2100$  kg/cm<sup>2</sup>.

El área =  $25 \times 25 = 625$  cm<sup>2</sup>

La carga de diseño es 5851.328 kg

El esfuerzo permisible para la palca según el manual del AISC es  $0.75 f_y$ .

Por lo tanto,

$$0.75 f_y = 0.75 \times 2100 \text{ kg/cm}^2 = 1575 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo para la carga de 5851.328 kg es:

$$\sigma = \frac{5851.328 \text{ kg}}{625 \text{ cm}^2} = 9.36 \text{ kg/cm}^2 = 9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 1575 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 9 \text{ kg/cm}^2$$

La placa es adecuada para soportar la carga producida por el peso del tanque.

Para el cálculo del espesor de la placa se utiliza la ecuación número 29 obtenida del manual de la AISC, pág. 3-106.

$$t_p = 2 \times 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{9 \text{ kg/cm}^2}{2100 \text{ kg/cm}^2}} = 3.3 \text{ cm}$$

$$t_p = 33 \text{ mm.}$$

### **3.2.11. Calentadores de agua purificada**

#### **3.2.11.1. Calentador 1**

##### **3.2.11.1.1. Transferencia de calor**

La transferencia de calor se define como la energía que se transmite de una región a otra, como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ellas.

Si se realiza un balance de energía donde existe trabajo para cualquier de los fluidos se obtiene que:

$$Q = \Delta H$$

Y considerando el calor específico constante se tiene la ecuación número 30.

$$Q = M \times c_p \times \Delta T \quad (30)$$

Dónde:

Q = Potencia (W)

M = Flujo másico (kg/s)

C<sub>p</sub> = calor específico (J/kg °C)

Δ T= Diferencia de Temperaturas (°C)

“En la transferencia de calor, la solución de un problema requiere de suposiciones e idealizaciones, pues resulta casi imposible describir los fenómenos físicos con exactitud, y para expresar un problema en forma de una ecuación con solución es necesario hacer algunas aproximaciones.”<sup>9</sup>

No existen métodos simples para la solución de problema nuevos o inexplorados y una suposición válida para un problema puede no serlo para otro. Sin embargo el primer requisito para hacer una buena suposición o aproximación de ingeniería es un buen entendimiento del problema a resolver. El fenómeno de transferencia de calor se analiza por tres métodos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. En la mayoría de las situaciones naturales el calor se transfiere no solo por uno sino por varios mecanismos que operan en forma simultánea.

---

<sup>9</sup> INCROPERA, F; Fundamentos de transferencia de calor; 199; pag 587.

Para el análisis se tiene los datos e incógnitas a encontrar de la tabla 3.29.

Cp agua=	4184 J/kg °C
d=	1 kg/l
Qw=	1600 l/h
$\Delta T =$	70°C
T entrada =	20°C
T salida =	90°C
Potencia=Q=	? W

Tabla 3.29. Datos (calentador 1)

Fuente: Autores

Se supone que la pérdida de calor con el medio ambiente es insignificante, al igual que los cambios en la energía cinética y potencial.

### 3.2.11.1.2. Desarrollo

Primero se obtiene las propiedades termo físicas del agua, en este caso el parámetro que se involucra en los cálculos es el calor específico a presión constante (Cp), este dato se lo obtiene de las tablas termodinámicas del agua.

En este primer paso se debe hallar el flujo másico utilizando la ecuación número 31 ver los datos que están en la tabla 3.29.

$$M= d \times Q_w \quad (31)$$

Dónde:

M = masa (kg)

d = densidad (kg/l)

Qw = caudal de agua (l/h)

$$M = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 1600 \text{ l/h}$$

El flujo másico es:

$$M = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 1600 \text{ l/h} / 3600 = 0.444 \text{ kg/s}$$

Con este resultado obtenido se reemplaza en la ecuación número 30.

$$Q = 0.44 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{4184 \text{ J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (90 - 20) ^\circ\text{C} = 128.8672 \text{ kW}$$

Este valor obtenido es el calor que necesita para llegar a un de temperatura máxima de 90 °C.

### 3.2.11.1.3. Diseño del tanque calentador uno

Se realizará el cálculo de la presión de diseño del tanque calentador uno, teniendo como datos lo siguiente:

Presión de operación = 5 bar

Peso específico del agua = 999 kg/ m<sup>3</sup>

Volumen = 0.271695 m<sup>3</sup>

$$P_{\text{dis}} = 5 \text{ bar} + \frac{999 \text{ kg} \times 1.330 \text{ m}}{\text{m}^3} = 5.130298 \text{ bar}$$

“A esta presión de diseño se aumentarán 2.068 bares como recomendación para el diseño del tanque”<sup>10</sup>.

P dis = 7.198298 bar

---

<sup>10</sup> Manual de Recipiente, Diseño y calculo, Eugene F. Megyesy, pág. 15

### 3.2.11.1.3.1. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque calentador 1

Se realiza el cálculo del espesor utilizando la ecuación número 20 y utilizando los datos de la tabla 3.30.

Radio interior del cilindro, Ri=	0.255 m	255 mm
Diámetro interior del cilindro, Di=	0.51m	510 mm
Altura de diseño, H=	1.33m	1330 mm
Altura de la cara lateral, h1	0.1275m	127.5 mm
Presión interior de diseño=	719829.8 Pa	
Eficiencia de la junta, E=	0.85	
Corrosión permisible, Coor=	1	
Esfuerzo permisible, fy=	1800kg/cm <sup>2</sup>	176519700 N/m <sup>2</sup>

Tabla 3.30. Datos de diseño del calentador 1

Fuente: Autores

$$t = \frac{719829.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.255 \text{ m}}{\frac{176519700 \text{ N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.6 \times 719829.8 \text{ N/m}^2} = 0.001229 \text{ m}$$

Por lo tanto el espesor del cilindro será de 2 mm.

### 3.2.11.1.3.2. Cálculo de la Presión máxima permisible del tanque calentador 1

En este punto se analiza la presión máxima que el recipiente puede soportar con un espesor de 2 mm, utilizando la ecuación número 19.

$$P_{\text{máx}} = \frac{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.002 \text{ m}}{0.85 \text{ m} - 0.4 \times 0.002 \text{ m}} = 11.77 \text{ bar}$$

### 3.2.11.1.3.3. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna

En este análisis se realiza el cálculo del espesor utilizando la ecuación número 21.

$$t = \frac{719829.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.255 \text{ m}}{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.2 \times 719829.8 \text{ N/m}^2} = 0.000612 \text{ m}$$

Se selecciona 2 mm como espesor para las cabezas del recipiente.

#### 3.2.11.1.3.4. Presión máxima de la cabeza semiesférica del tanque calentador 1

Para este análisis realizará el cálculo de la presión mediante la ecuación número 22.

$$P = \frac{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.002 \text{ m}}{0.255 \text{ m} + 0.2 \times 0.002 \text{ m}} = 23.49 \text{ Bar}$$

Es la presión máxima permisible para la cabeza semiesférica del tanque calentador uno, con un espesor de 2 mm.

#### 3.2.11.1.3.5. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro del calentador 1

Se realizará los cálculos correspondientes, esfuerzos transversales y longitudinales. (tabla 3.31), si la pared del cilindro es relativamente delgada el esfuerzo transversal máximo es  $\sigma_x$ .

Pi=	719829.8 Pa
Ri=	0.255 m
E=	0.85
$\sigma_y$ =	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	0.51 m

Tabla 3.31. Datos principales del tanque calentador 1

Fuente: Autores.

### 3.2.11.1.3.5.1. Cálculo del esfuerzo tangencial ( $\sigma_x$ ) del calentador 1

En este punto se analiza el valor del esfuerzo circunferencial o tangencial por medio de la ecuación número 23.

$$\sigma_x = \frac{719829.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.255 \text{ m}}{0.002 \text{ m}} = 91778299.5 \text{ Pa}$$

### 3.2.11.1.3.5.2. Cálculo del esfuerzo Longitudinal ( $\sigma_y$ ) del calentador 1

En este punto se analiza el valor del esfuerzo longitudinal o axial por medio de la ecuación número 24.

$$\sigma_y = \frac{719829.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.255 \text{ m}}{2 \times 0.002 \text{ m}} = 45889149.75 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo que es el esfuerzo transversal. Se utiliza acero inoxidable AISI 316L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700 \text{ N/m}^2$ .

$$n = \frac{f_y}{\sigma} = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{91778299.5 \text{ N/m}^2} = 1.92$$

### 3.2.11.1.3.6. Cálculo del peso del tanque

$$W = W_{\text{agua}} + W_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

### 3.2.11.1.3.7. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{tc} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = A \times L = \frac{\pi D_i^2 \times L}{4}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = \frac{\pi (0.51\text{m})^2 \times 1.33\text{m}}{4} = 0.2717 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tapas}} = 2.0944 \times r_i \times r_i \times h$$

Dónde:

$$r_i = \text{radio interior} = 0.255 \text{ m}$$

$$h = \text{altura de cabeza} = 0.1275 \text{ m}$$

$$V_{\text{tapas}} = 0.01736 \text{ m}^3$$

Son dos tapas el resultado del volumen de las tapas es:

$$V_{\text{tapas}} = 0.03472 \text{ m}^3$$

$$V_{tc} = 0.2717 \text{ m}^3 + 0.03472 \text{ m}^3$$

$$V_{tc} = 0.30642 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 0.30642 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 306.42 \text{ kg.}$$

### **3.2.11.1.3.8. Cálculo del peso del recipiente vacío**

$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Altura del Anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times$   
número de anillos  $\times$  número planchas Anillos

$$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 1.33\text{m} \times 0.002\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 51.92 \text{ kg}$$



### 3.2.11.1.3.9. Peso de los accesorios

W accesorios = 10% x W recipiente vacío

W accesorios = 5.192 kg

### 3.2.11.1.3.10. Peso de las caras laterales

$$V_{\text{cuerpo}} = \frac{\pi (0.613\text{m})^2 \times 0.002\text{m}}{4} = 0.000590256 \text{ m}^3$$

W cara = Volumen x Densidad del acero x 2

W cara = 0.000590256 m<sup>3</sup> x 8000 kg/m<sup>3</sup> x 2 = 9.44 kg

W recipiente vacío = 51.92 kg + 5.192 kg + 9.44 kg = 66.552 kg

### 3.2.11.1.3.11. Peso total del tanque

W total = W agua + W recipiente vacío

W total = 306.42 kg + 66.552 kg = 372.972 kg

### 3.2.11.1.3.12. Valores obtenidos para el calentador 1

Todos los valores calculados, se muestran detalladamente en la tabla 3.32.

<b>DISEÑO DEL TANQUE CALENTADOR 1</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
TIPO DE TAPAS LATERALES	SEMIELIPTICA	-
ALTURA TOTAL DEL TANQUE	1.33	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	0.51	m

CAPACIDAD DEL TANQUE	0.271695143	m <sup>3</sup>
ALTURA DE DISEÑO	1.33	m
PRESION INERIOR DE DISEÑO	719829.8	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	-
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2.44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1.22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA TAPA LATERAL	0.002	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0.002	m
NUMERO DE ANILLOS	1	Unidades
ALTURA DEL ANILLO	1.33	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	1	Unidad
NUMERO DE PLANCHAS LATERALES	1	Unidad
TUBERÍA NOMINAL DE ENTRADA	25.4	mm
TUBERÍA NOMINAL DE SALIDA	25.4	mm
PESO TOTAL DEL TANQUE	372.972	kg

Tabla 3.32. Valores de diseño (calentador 1)

Fuente: Autores.

### 3.2.11.1.3.13. Cálculo y diseño de las columnas de soporte

Condiciones de apoyos tipo columna empotrada libre;  $K = 2.1$

Se considera un cilindro sometido a compresión, como el del gráfico 3.8.

Ya conocidas las condiciones de carga, se realiza el análisis según gráfico 3.9 y gráfico 3.10.

Utilizando la ecuación número 26 se tiene el siguiente resultado:

$$P_w = \frac{372.972 \text{ kg}}{3} = 124.324 \text{ kg}$$

### 3.2.11.1.3.13.1. Selección del perfil de la columna

Es un cilindro circular que debe soportar una carga de compresión  $P_c = 124.324 \text{ kg}$  el esfuerzo último en compresión del material es de  $\sigma_y = 176519700 \text{ Pa}$  o  $1800 \text{ kg/cm}^2$  (ver anexo 16 y 36).

### 3.2.11.1.3.13.2. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$

Utilizando la ecuación número 27 se tiene:

Datos:

$$f_y = 1800 \text{ kg / cm}^2$$

$$E = 193 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$L = 0.36 \text{ m}$$

$$r = 2.19 \text{ cm}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{176519700 \text{ N/m}^2}}$$

$$C_c = 146.91$$

La longitud efectiva es:

$$L_e = k \times L$$

$$k = 2.1$$

$$L_e = 2.1 \times 0.36 \text{ m} = 0.756 \text{ m}$$

### 3.2.11.1.3.13.3. Tensiones admisibles de compresión en los apoyos

Para apoyos tubulares:

$$\lambda = L_e/r = 0.756 \text{ m} / 0.0219 \text{ m} = 34.52$$

Cuando  $\lambda = 34.52 \leq C_c = 146.91$ .

Se utiliza la ecuación número 28.

$$F_a = \frac{\frac{171646636.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{14.61}}{1.5178} = 7740547.319 \text{ Pa}$$

$$F_a = 78.931615985 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión de trabajo en una pata:

$$S = F_c / A = 124.324 / 2.92 \text{ cm}^2 = 42.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 42.58 \text{ kg/cm}^2 < \text{Tensión admisible } F_a = 78.93 \text{ kg/cm}^2$$

Los soportes del tanque calentador uno son tres y son válidos.

#### **3.2.11.1.4. Diseño de la placa base del tanque calentador 1**

Se requiere contar con una placa base que sea capaz de soportar el esfuerzo producido por el peso del tanque.

Se propone una placa, de 8 cm x 8 cm, empleando un acero AISI 304,  $f_y = 2100 \text{ kg/cm}^2$ .

$$\text{El área} = 8 \times 8 = 64 \text{ cm}^2$$

La carga de diseño es 372.972 kg.

El esfuerzo permisible para la placa según el manual del AISC es 0.75  $f_y$ .

Por lo tanto:

$$0.75 f_y = 0.75 \times 2100 \text{ kg/cm}^2 = 1575 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo para la carga de kg es:

$$\sigma = \frac{372.972 \text{ kg}}{64 \text{ cm}^2} = 5.82 \text{ kg/cm}^2 = 6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 1575 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 6 \text{ kg/cm}^2$$

La placa es adecuada para soportar la carga producida por el peso del tanque.

Para el cálculo del espesor de la placa se utiliza la ecuación número 29 obtenida del manual de la AISC, pág. 3-106.

$$t_p = 2 \times 6 \text{ cm} \sqrt{\frac{6 \text{ kg/cm}^2}{2100 \text{ kg/cm}^2}} = 0.64 \text{ cm}$$

$$t_p = 6 \text{ mm}$$

### 3.2.11.2. Calentador 2

#### 3.2.11.2.1. Transferencia de calor

En el análisis se tiene los datos de la tabla 3.33.

Cp agua=	4184 J/kg °C
d=	1 kg/l
Qw=	500 l/h
Δ T =	20°C
T entrada =	70°C
T salida =	90°C
Potencia=Q=	W= ¿

Tabla 3.33. Datos del calentador 2

Fuente: Autores

Utilizando la ecuación número 31 se obtiene lo siguiente:

$$M = \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 500 \text{ l/h}\right) / 3600 = 0.1389 \text{ kg/s}$$

Con este resultado obtenido se utiliza la ecuación número 30.

$$Q = 0.1389 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{4184 \text{ J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (90 - 70)^\circ\text{C} = 11.623 \text{ kW}$$

El valor obtenido es el calor que se necesita para llegar a un de temperatura de 90 °C.

### 3.2.11.2.2. Cálculo de la presión de diseño del tanque calentador 2

Para este análisis se realiza los siguientes cálculos, utilizando los datos de la tabla 3.34.

Diámetro interior	0,2 m
Presión de operación	5 bar
Altura	0,55 m
γ agua	999 kg/m <sup>3</sup>
Volumen	0,0172788 m <sup>3</sup>

Tabla 3.34. Datos de diseño calentador 2

Fuente: Autores

$$P \text{ dis} = 5 \text{ bar} + \frac{999 \text{ kg} \times 0.45 \text{ m}}{\text{m}^3}$$

$$P \text{ dis} = 5.04808 \text{ bar}$$

“A esta presión de diseño se aumentarán 2.068 bar como recomendación para el diseño del tanque”<sup>11</sup>,

Se obtiene como resultado:

$$P_{dis} = 7.11608 \text{ bar}$$

### 3.2.11.2.3. Cálculo del espesor de la parte cilíndrica del tanque calentador 2

El cálculo del espesor se realiza con la ecuación número 20, y se utilizan los datos de la tabla 3.35.

Radio interior del cilindro, Ri=	0.1 m	100 mm
Diámetro interior del cilindro, Di=	0.2 m	200 mm
Altura de diseño, H=	0.55m	550 mm
Altura de la cara lateral, h1	0.05m	50 mm
Presión interior de diseño=	711608 Pa	
Eficiencia de la junta, E=	0.85	
Corrosión permisible, Coor=	1	
Esfuerzo permisible, fy=	1800 Kg/cm <sup>2</sup>	176519700 N/m <sup>2</sup>

Tabla 3.35. Parámetros de diseño

Fuente: Autores

$$t = \frac{711608 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.1 \text{ m}}{\frac{176519700 \text{ N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.6 \times 711608 \text{ N/m}^2} = 0.0004756 \text{ m}$$

Por lo tanto se selecciona un espesor de 1 mm.

### 3.2.11.2.4. Presión máxima permisible del tanque calentador 2

<sup>11</sup> Manual de Recipiente, Diseño y calculo, Eugene F. Megyesy, pág. 15

En este punto se analizará la presión máxima que el recipiente puede soportar con un espesor de 1 mm, con la ecuación número 19.

$$P_{\text{máx}} = \frac{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.001 \text{ m}}{0.1 \text{ m} - 0.4 \times 0.001 \text{ m}} = 1506443.223 \text{ Pa}$$

La presión máxima permisible es de 15.06 bar, para el tanque diseñado con una plancha de acero inoxidable 316 L de 1 mm de espesor.

### 3.2.11.2.5. Cálculo del espesor de la cabeza elipsoidal 2:1 bajo presión interna

En este análisis se realiza el cálculo del espesor mediante la ecuación número 21.

$$t = \frac{711608 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.1 \text{ m}}{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 - 0.2 \times 711608 \text{ N/m}^2} = 0.000237 \text{ m}$$

Se escoge 1 mm como espesor para la cabeza del recipiente.

### 3.2.11.2.6. Presión máxima de la cabeza semiesférica del tanque calentador 2

Este análisis se lo realiza con la ecuación número 22.

$$P = \frac{2 \times 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.001 \text{ m}}{0.1 \text{ m} + 0.2 \times 0.001 \text{ m}} = 3006848.597 \text{ Pa}$$

Es la presión máxima permisible es de 30.07 bar para la cabeza semiesférica con un espesor de 1 mm.

### 3.2.11.2.7. Cálculo de los esfuerzos principales en el cilindro calentador 2

Para su diseño se utiliza una presión en base al esfuerzo que va a ser sometido el material y se calcula los esfuerzos a tensión. Con los datos que indica la tabla 3.36, se realizará los cálculos correspondientes a los esfuerzos transversales y longitudinales.



Pi=	711608Pa
Ri=	0.1m
E=	0.85
fy=	176519700 kg/cm <sup>2</sup>
Di=	0.2 m

Tabla 3.36. Datos principales del calentador 2

Fuente: Autores

Si la pared del cilindro es relativamente delgada el esfuerzo transversal máximo es  $\sigma_x$ .

### 3.2.11.2.7.1. Cálculo del esfuerzo tangencial ( $\sigma_x$ ) del calentador 2

En este punto se analiza el valor del esfuerzo tangencial o circunferencial utilizando la ecuación número 23.

$$\sigma_x = \frac{711608 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.1 \text{ m}}{0.001 \text{ m}} = 71160800 \text{ Pa}$$

### 3.2.11.2.7.2. Cálculo del esfuerzo Longitudinal o axial ( $\sigma_y$ ) del calentador 2

En este punto se analiza el valor del esfuerzo longitudinal o axial utilizando la ecuación número 24.

$$\sigma_y = \frac{711608 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.1 \text{ m}}{2 \times 0.001 \text{ m}} = 35580400 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad se aplica al de mayor esfuerzo que es el esfuerzo transversal. Se utiliza un acero inoxidable AISI 316 L con un límite de fluencia  $f_y = 176519700$  N/m<sup>2</sup>.

$$n = \frac{f_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{176519700 \text{ N/m}^2}{71160800 \text{ N/m}^2} = 2.5$$

### 3.2.11.2.8. Cálculo del peso del tanque

$$W = W_{\text{agua}} + w_{\text{rec.vacío}}$$

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del fluido contenido (agua)}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = \text{Peso del recipiente vacío}$$

### 3.2.11.2.9. Cálculo del peso del fluido contenido (agua)

$$W_{\text{agua}} = (\text{volumen del } V_{\text{tc}} \times \delta_{\text{agua}})$$

$$V_{\text{tc}} = V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = \frac{\pi (0.2 \text{ m})^2 \times 0.55 \text{ m}}{4} = 0.01728 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tapas}} = 2.0944 \times r_i \times r_i \times h$$

Dónde:

$$r_i = \text{radio interior} = 0.1 \text{ m}$$

$$h = \text{altura de cabeza} = 0.05 \text{ m}$$

$$V_{\text{tapas}} = 0.0010472 \text{ m}^3$$

Son dos tapas el resultado del volumen de las tapas es:

$$V_{\text{tapas}} = 0.0020944 \text{ m}^3$$

$$V_{tc} = 0.01728 \text{ m}^3 + 0.0020944 \text{ m}^3$$

$$V_{tc} = 0.0193744 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 0.0193744 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 19.3744 \text{ kg}$$

### **3.2.11.2.10. Cálculo del peso del recipiente vacío**

$W_{\text{cuerpo}} = \text{Long. Plancha} \times \text{Altura del Anillo} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del acero} \times$   
 $\text{número de anillos} \times \text{número planchas Anillos}$

$W_{\text{cuerpo}} = 2.44\text{m} \times 0.55\text{m} \times 0.001\text{m} \times 8000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \times 1$
--

$$W_{\text{cuerpo}} = 10.736 \text{ kg}$$

### **3.2.11.2.11. Peso de los accesorios**

$$W_{\text{accesorios}} = 10\% \times W_{\text{recipiente vacío}}$$

$$W_{\text{accesorios}} = 1.0736 \text{ kg}$$

### **3.2.11.2.12. Peso de las caras laterales**

$$V = \frac{\pi (0.240 \text{ m})^2 \times 0.001 \text{ m}}{4} = 0.000045238 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{cara}} = \text{Volumen} \times \text{Densidad del acero}$$

$$W_{\text{cara}} = 0.3619 \text{ kg} \times 2 = 0.7238 \text{ kg.}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = 10.736 \text{ kg} + 1.0736 \text{ kg} + 0.7238 \text{ kg}$$

$$W_{\text{recipiente vacío}} = 12.533 \text{ kg}$$

### 3.2.11.2.13. Peso total del tanque

$W_{total} = W_{agua} + W_{recipiente\ vacio}$

$W_{total} = 19.3744\text{ kg} + 12.533\text{ kg}$

$W_{total} = 32\text{ kg}$

### 3.2.11.2.14. Valores obtenidos de cálculos

Todos los valores calculados se muestran detalladamente en la tabla 3.37.

<b>DISEÑO DEL TANQUE CALENTADOR 2</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
TIPO DE TAPAS LATERALES	SEMIELIPTICA	-
ALTURA DEL TANQUE	0,55	m
DIAMETRO INTERIOR DEL TANQUE	0,2	m
VOLUMEN DEL TANQUE	0,0194	m <sup>3</sup>
PRESION INERIOR DE DISEÑO	712230,9826	Pa
MATERIAL	Ac inox-316L	-
LONGITUD DE LA PLANCHA COMERCIAL	2,44	m
ANCHO DE LA PLANCHA COMERCIAL	1,22	m
ESPESOR DE LA PLANCHA TAPA LATERAL	0,001	m
ESPESOR DE LA PLANCHA DEL CILINDRO	0,001	m
NUMERO DE ANILLOS	1	Unidades
ALTURA DEL ANILLO	0,55	m
NUMERO DE PLANCHAS POR ANILLO	1	Unidad
TUBERIA DE NOMINAL DE ENTRADA	38.1	mm
TUBERIA DE NOMINAL DE SALIDA	38,1	mm
PESO TOTAL DEL TANQUE	32	kg

Tabla 3.37. Diseño del tanque calentador 2

Fuente: Autores

### 3.2.11.2.15. Cálculo y diseño de las columnas de soporte

Condiciones de apoyos tipo columna empotrada libre;  $K = 2.1$ . Se considera un cilindro sometido a compresión como el del gráfico 3.8.

Ya conocidas las condiciones de carga, se realiza el análisis utilizando los gráficos 3.9 y 3.10.

$$P_w = \frac{32 \text{ kg}}{3} = 10.67 \text{ kg}$$

#### 3.2.11.2.15.1. Selección del perfil de la columna

Es un cilindro circular que debe soportar una carga de compresión  $P_c = 10.67 \text{ kg}$  el esfuerzo último en compresión del material es de  $\sigma_y = 176519700 \text{ Pa}$  o  $1800 \text{ kg/cm}^2$  ver anexo 16 y 36.

#### 3.2.11.2.15.2. Cálculo del coeficiente de compresión $C_c$

Para este análisis se utiliza la ecuación número 27.

Datos:

$$\sigma_y = 1800 \text{ kg / cm}^2$$

$$E = 193 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$L = 0.36 \text{ m}$$

$$r = 1.65 \text{ cm}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{176519700 \text{ N/m}^2}} = 146.91$$

La longitud efectiva es:

$$L_e = k \times L ; k = 2.1$$

$$L_e = 2.1 \times 0.36 \text{ m} = 0.756 \text{ m}$$

### 3.2.11.2.15.3. Tensiones admisibles de compresión en los apoyos

En este análisis se utilizará la ecuación número 28.

$$\lambda = L_e/r = 0.756 \text{ m} / 0.0165 \text{ m} = 45.8181 \text{ m}$$

Cuando  $\lambda = 45.82 \leq C_c = 146.91$ .

$$F_a = \frac{\frac{167934100.3 \frac{N}{m^2}}{1.7798}}{1.5} = 62903734.61 \text{ Pa}$$

$$F_a = 629.03 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión de trabajo en una pata:

$$S = F_c / A = 10.67 \text{ kg} / 1.65 \text{ cm}^2 = 6.467 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 6.467 \text{ kg/cm}^2 < F_a = 629.03 \text{ kg/cm}^2$$

Los soportes del tanque de prefiltros son tres y son válidos.

### 3.2.11.2.16. Diseño de la placa base del tanque de almacenamiento

Se requiere contar con una placa base que sea capaz de soportar el esfuerzo producido por el peso del tanque.

Se propone una placa, de 8 cm x 8 cm, empleando un acero AISI 304,  $f_y = 2100 \text{ kg/cm}^2$ .

El área =  $8 \times 8 = 64 \text{ cm}^2$

La carga de diseño es 32 kg

El esfuerzo permisible para la palca según el manual del AISC es 0.75 fy.

Por lo tanto,

$$0.75 fy = 0.75 \times 2100 \text{ kg/cm}^2 = 1575 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo para la carga de 32 kg es:

$$\sigma = \frac{32 \text{ kg}}{64 \text{ cm}^2} = 0.5 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 1575 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$$

La placa es adecuada para soportar la carga producida por el peso del tanque.

Para el cálculo del espesor de la placa se utiliza la ecuación número 29 obtenida del manual de la AISC, pág. 3-106.

$$t_p = 2 \times 8 \text{ cm} \sqrt{\frac{1 \text{ kg/cm}^2}{2100 \text{ kg/cm}^2}} = 0.35 \text{ cm}$$

$$t_p = 3.5 \text{ mm}$$

### **3.3. DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA**

Este ítem se lo puede ver claramente en el CD adjunto.

### **3.4. MANUAL DE USUARIO**

El presente manual establece un procedimiento escrito para la operación, mantenimiento, limpieza y seguridad del equipo purificador de Agua y el lazo de distribución, con la finalidad de garantizar la calidad del agua utilizada en la fabricación de medicamentos.

#### **3.4.1. Glosario de Términos**

Las definiciones y abreviaciones de términos utilizados en esta monografía se indican en la tabla 3.38.

<b>Término / Abreviación</b>	<b>Definición / Explicación</b>
Declorinación	Eliminación total o parcial del cloro
FARMACOPEA	La farmacopea se refiere a libros recopilatorios de recetas de productos con propiedades medicinales reales o supuestas, en los que se incluyen elementos de su composición y modo de



	preparación.
GMP	Buenas Prácticas de Manufactura.
Desferrizador	Separar los compuestos de hierro y manganeso disueltos en el agua.
OR	Ósmosis Reversa
EDI's	Electrodesionizadores
USP	Farmacopea de los Estados Unidos de América
EPA	Agencia de Protección Ambiental
PC	Computador personal
Setear	Ingreso de datos en la pantalla del equipo
Conexión Tri Clamp	Los accesorios tipo clamp (de abrazadera) son diseñados para una unión rápida y fácil sin el empleo de instrumentos. Usado muy frecuentemente en prácticamente todos los procesos del alimento, la bebida, industrias cosméticas y farmacéuticas
OMS	Organización Mundial de la Salud
Sanitizante	Compuesto que reduce, pero no elimina los microorganismos.
pH	El pH (potencial de hidrógeno) es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución.
CA	Carbón Activado
Permeado o permeato	Agua de filtración o producto final.
Rechazo o concentrado	Agua de desecho que no fue filtrada.
TFC	Cloro Libre Total
ppm	Partes por millón
Multietapas	Que tiene 2 o más etapas.
Biofilm	Es un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte.
Display	Pantalla de visualización.
Orilla	Junta tanto de entrada como de salida de acople de un tanque a la tubería.
NR	Número de Reynolds
Conductímetro	Instrumento que mide la conductividad.
Caudalímetro	Medidor de caudal.
GPM	Galones por minuto.
PLC	Controlador Lógico Programable.
uS/cm	Unidad de la conductividad.
Retrolavado	Consiste en hacer circular agua, preferiblemente ya filtrada, en sentido contrario al normal.
Preenjuague	Enjuague antes de producir el equipo.

Reenjuague	Enjuague después de producir el equipo.
Turbidez	Falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión.
Nanofiltración	Es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1000 daltons) son retenidos.
Poliamida	Una poliamida es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida. Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y también ser sintéticas, como el nailon.
STD	Sólidos Totales Disueltos.
PW	Purified Water (Agua Purificada).
Pasivación	Se refiere a la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos.
Hidróxido	Hidróxido es un grupo funcional compuesto de oxígeno e hidrógeno.
Repetibilidad	Es la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando es utilizado varias veces por un evaluador cuando mide la misma característica en la misma parte.
Permeación	Proceso por el cual, un producto químico se mueve a través del material de un guante de protección a escala molecular.
Consumitivo	Agua eliminada de los suministros disponibles sin retorno a los sistemas de recursos de dicha agua.
Solubilización	Es la cualidad de soluble (que se puede disolver). Se trata de una medida de la capacidad de una cierta sustancia para disolverse en otra.
Desionizada	Es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. mediante un proceso de intercambio iónico.
Presión Osmótica	La presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable.
DIN	Deutsches Institut für Normung (en español, Instituto Alemán de Normalización).
WPU	Agua para Uso Farmacéutico.
WFI	Agua para Uso de Inyección.
MAN-HOLE	Boca de Inspección.

RPN	Prioridad de Número de Riesgo
FMEA	Análisis de los modos y efectos de falla.
FDA	Agencia Estadounidense (Food and Drug Administration: Agencia de Alimentos y Medicamentos o Agencia de Drogas y Alimentos )
NTU	(Nephelometric Turbidity Unit), unidad de medición para la turbidez.
HPW	Agua Altamente Purificada
RTD	(del inglés: Resistance Temperature Detector) es un detector de temperatura resistivo.
MSD	Modelo de Simulación Dinámico

Tabla 3.38: Glosario de términos

Fuente: Autores

### **Ejecución de los trabajos de mantenimiento:**

Todos los trabajos de mantenimientos se deben realizar en forma regular y cuidadosa. Personal especialista y capacitado debe ejecutar los trabajos de reparación oportunamente, inmediatamente después de la detección de algún daño. Para este caso es recomendable que los diseñadores del equipo se encarguen de dicho trabajo. Además es conveniente que el personal de mantenimiento revise a intervalos regulares la unidad.

### **Instrucciones de Seguridad**

Las plantas, en las cuales se almacenan o se procesan sustancias peligrosas para el agua se deben operar y se les debe prestar un servicio de mantenimiento de tal forma que se excluya una contaminación del medio ambiente. Las instalaciones estructurales se deben disponer y mantener en tal forma que se observen las disposiciones existentes y se eliminen los posibles riesgos o al menos que se eviten en el máximo grado posible.

Para una protección óptima de los trabajadores que entran en contacto con el equipo, el beneficiario (dueño) del equipo en especial:

- Debe crear los requisitos organizacionales para posibilidades de trabajo seguras y un comportamiento conforme con las disposiciones de seguridad.
- Debe poner a disposición equipos de protección personal adecuada.

Es indispensable observar y cumplir con las recomendaciones de seguridad y las indicaciones de peligro. Es necesario informar a los colaboradores sobre los posibles riesgos y las medidas de protección requeridas en forma intensiva y a intervalos cortos de tiempo.

Entre los posibles peligros especialmente se tiene los siguientes:

- Peligro de quemaduras al tocar las superficies calientes de acero inoxidable.
- Peligro de quemaduras en el caso de la presencia de fugas.
- Por lo general no existen mayores peligros en el área de las bombas de presión alta y de la tubería de presión baja. No obstante no es recomendable estar parado sin motivo alguno cerca del eje longitudinal del equipo y de la tubería bajo presión al estar funcionando la unidad de Osmosis Inversa.

### **Sistema eléctrico**

En la planta de tratamiento de agua farmacéutica se encuentran diversos dispositivos eléctricos, como motores para bomba, válvulas, equipos de control, interruptores, etc. La corriente eléctrica siempre debe desconectarse en el caso de efectuar algún cambio, una reparación o algún trabajo en un componente eléctrico. Los trabajos en equipos eléctricos únicamente se permiten como cuestión de principio, cuando el equipo se encuentra fuera de servicio y esté desconectado. Los trabajos eléctricos únicamente se deben ejecutar por personal especialista calificado, apto y autorizado.

### **Trabajos en la tubería interna**

Los trabajos en la tubería, válvulas, accesorios y equipos únicamente se pueden ejecutar después de que las líneas y/o equipos de procesamiento se han despresurizado, se hayan enfriado y vaciado completamente.

### **Productos Químicos.**

En la unidad descrita en el presente manual no se utiliza ninguna sustancia peligrosa durante la operación normal. Las siguientes notas de seguridad son válidas para las aplicaciones posiblemente necesarias de sustancias peligrosas para la sanitización del sistema.

- Tener cuidado al manipular sustancias ácidas y observar las medidas de protección oficiales.
- Siempre es necesario usar gafas de protección, trajes de caucho, guantes de caucho, mascarillas de cartucho y botas de caucho antes de iniciar el trabajo.
- Instalar una ducha para los ojos lo más cerca posible.
- En el momento en que el ácido entre en contacto con los ojos, usar la ducha para los ojos lo más rápido posible por lo menos 10 minutos.
- Después de esto, desplazarse a un lavamanos y enjuagar los ojos con una cantidad abundante de agua fría durante 15 minutos adicionales. Luego es necesario consultar al médico y/o oftalmólogo.
- En caso de que se derrame un poco de ácido en el cuerpo, hacer uso en caso necesario de una ducha corporal de inmediato.

### **El equipo puede presentar fallas sí:**

- Si se han modificado los tiempos de ciclos ajustables a través del programa de visualización sin el previo consentimiento del equipo diseñador.
- Si se realizaron ajustes de la programación básica del mando de la unidad sin la previa consulta de los diseñadores.
- Si la unidad ha sido operada un 20% por encima de la capacidad máxima.
- Si los agentes de limpieza o sanitización no cumplen con los requerimientos de la Farmacopea.

- Si el agua de alimentación no se ha pretratado a través de un filtro de 30 micras y un filtro de 10 micras.
- Si han sobrepasado los valores límite de temperatura del agua de alimentación.
- Si se cambian las condiciones del agua de alimentación en cuanto a calidad.

### **Definición de un caso de emergencia**

Como caso de emergencia para el abastecimiento de la producción se debe considerar una calidad del agua del producto deficiente. Para evitar interrupciones innecesarias de la operación es necesario definir en cuales casos no se debe usar el agua producida. Esta definición se debe tomar independientemente de las especificaciones internas de trabajo. Se deben tener en cuenta los valores límites según la calificación de diseño para la conductividad como valores máximos.

La calidad del agua propiamente producida, sin embargo, únicamente se puede determinar mediante un análisis de una muestra de agua en el laboratorio. La medición de la conductividad se utiliza para el monitoreo continuo de la unidad. Por consiguiente, se recomienda que en caso de cualquier incremento en la conductividad que tenga lugar repentinamente se haga de inmediato un análisis químico en húmedo por ejemplo con respecto al contenido de cloruro y al nitrato. En este caso, con el fin de cumplir con los requerimientos en conformidad con el pH.

El agua a ser examinada reúne los requerimientos si la medida de conductividad a la temperatura registrada no es mayor que el valor en la Tabla 3.39.

<i>Requerimientos temperatura y conductividad</i>	
<b>Temperatura</b> (°C)	<b>Conductividad</b> ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
0	0.6
5	0.8
10	0.9
15	1.0
20	1.1

25	1.3
30	1.4
35	1.5
40	1.7
45	1.8

Tabla 3.39. Requerimientos de conductividad y temperatura

Fuente: Autores

### **Medidas a tomar**

- Favor informar de inmediato a los Diseñadores
- Favor tomar de inmediato una muestra de agua sin procesar, bajo ciertas circunstancias existe en esta forma la posibilidad de descubrir la causa de la perturbación. Al mismo tiempo se obtiene una base de discusión para posibles conversaciones con los diseñadores.

### **Números de teléfonos y personas de contacto en caso de emergencia.**

Personas de contacto: Enrique Guaytarilla

Teléfono: 084928687

Cristian Mangia

Teléfono: 098956224

Correo electrónico: [mchristianrolando@yahoo.com](mailto:mchristianrolando@yahoo.com) o [edups5@yahoo.com](mailto:edups5@yahoo.com)

### **Monitoreo del sistema.**

Todos los días se debe efectuar una revisión visual para determinar la presencia de fugas, ruidos así como visualizar los parámetros de operación propiamente dichos y los últimos parámetros de operación en la pantalla de visualización.

El control de todos los parámetros de operación relevantes para la seguridad se efectúa de manera completamente automática.

### **Descripción del modo de operación automático**

En general la planta funcionará de manera automática. Esto significa, que el equipo siempre funciona conforme con la siguiente descripción.

Los pasos individuales del programador automático no se puede omitir. Sin embargo, existe la posibilidad de cambiar los valores límites y las indicaciones de los tiempos para los pasos de los programadores a través del teclado para optimizar de esta forma el modo de operación de la unidad. Todos los parámetros relevantes de operación se controlan por el teclado y se pueden utilizar a través de valores límites que se pueden modificar por el operador (valor mínimo y máximo). Las partes de la unidad se pueden conectar y desconectar a través del teclado mediante comandos programados en las pantallas de control.

En la siguiente sección se indican los detalles sobre la operación de las partes de la unidad con el dispositivo de mando. Descripción de la visualización del proceso.

### **Descripción de la visualización del proceso**

#### **Funciones del sistema**

El sistema de visualización es un sistema de operación y monitoreo conformado por un Controlador lógico programable (PLC), cómodo para el usuario. El sistema se opera usando el ratón y/o teclado y/o pantalla táctil.

#### **Sistemas de Control de la Planta**

Los botones controlados por el ratón se utilizan para conmutar entre las diversas secciones del equipo o las funciones on u off.

#### **Ajustes de los valores limite**



Los valores límites de la planta y los valores operativos se pueden seleccionar fácilmente a través del ratón y se pueden modificar a través de su introducción en el teclado dentro del rango prescrito de valores.

### **Mensajes de Fallas**

Los mensajes de falla provenientes del proceso se visualizan en una ventanilla adicional.

### **Visualización de Gráfica**

Los datos del proceso se registran en una base de datos que son conductividad vs. Tiempo y se guardan en un registro de Access.

### **Protección a nivel del usuario**

Los parámetros de operación ajustados en el programa de visualización se protegen mediante palabras de paso contra el acceso involuntario o indeseado.

### **Pantallas de visión general de la planta**

Las pantallas de visualización general representan las partes del equipo en la forma de diagramas de flujo sencillos, en los cuales se visualizan los parámetros del proceso que se han medido. En esta pantalla las válvulas abiertas y las bombas en funcionamiento se visualizan de color verde, las válvulas cerradas y las bombas desconectadas de color rojo. Las bombas, las cuales fueron desactivadas por el interruptor de protección del motor se visualizan de color rojo, el flujo o circulación se puede visualizar mediante color azul es cuando pasa el líquido y negro cuando no hay líquido.

### **Configuración General de la visualización**

Para una mejor visión de las partes de la unidad a controlar, se han agrupado pantallas de visualización, que a partir de botones comando, se puede acceder a la visualización detallada de las partes de la unidad.

Las partes de la unidad son:

- Producción del agua purificada
- Distribución del agua purificada

### **Cambios de Pantalla**

El cambio de pantalla se efectúa mediante la activación de los campos de mando enmarcados (botones). La activación se efectúa a través del posicionamiento del cursor del ratón en la superficie de mando y al pulsar el botón izquierdo del ratón (autorización de acceso).

### **Contraseña**

El cambio del nivel de operación se efectúa a través de la selección de la superficie de mando “usuario y contraseña”. Aparece una ventanilla de entrada después de una caratula de inicio, en la cual se debe entrar la palabra de paso a través del teclado.

La entrada se debe concluir en el botón aceptar. Al pulsar la tecla Salir, inmediatamente se sale del sistema.

Usuario: ups o UPS

Clave: cmeg o CMEG

### **Pantallas de las partes de la unidad**

A las pantallas de las diversas partes de la unidad (abajo a manera de ejemplo el gráfico 3.13) se obtiene a través de los respectivos botones.

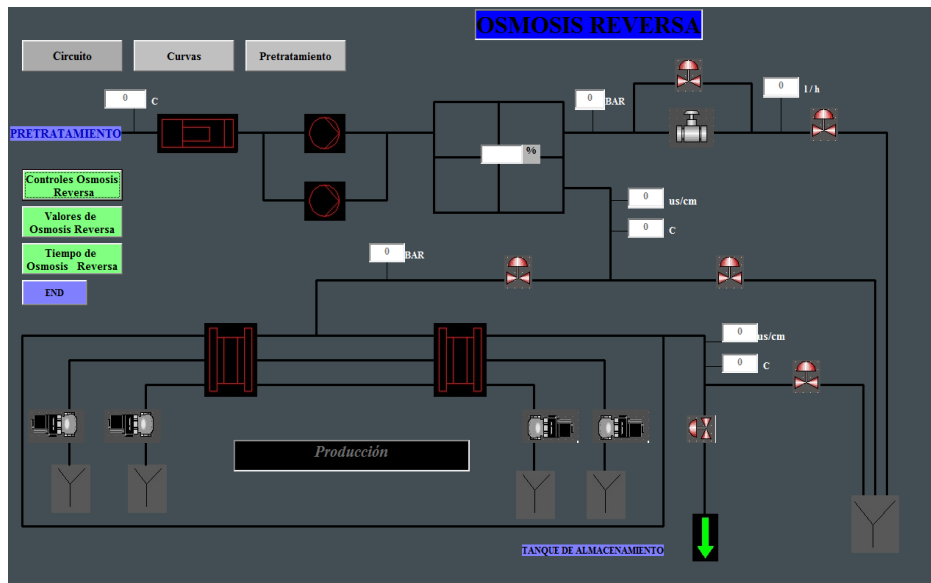


Gráfico 3.13. Pantalla de OR

Fuente: Autores

Las pantallas de las partes de la unidad representan las respectivas partes de los componentes de la unidad en forma de diagrama de flujo sencillo, en los cuales se visualiza el parámetro de proceso que se ha medido.

En las pantallas las válvulas abiertas y las bombas en funcionamiento aparecen de color verde, las válvulas cerradas y las bombas desconectadas se visualizan de color rojo.

### Pantallas de Control

Al hacer clic en los botones “control” en la pantalla de la unidad se obtiene acceso a la pantalla de control de la respectiva parte de la unidad (a manera de ejemplo el gráfico anexo 3.14).

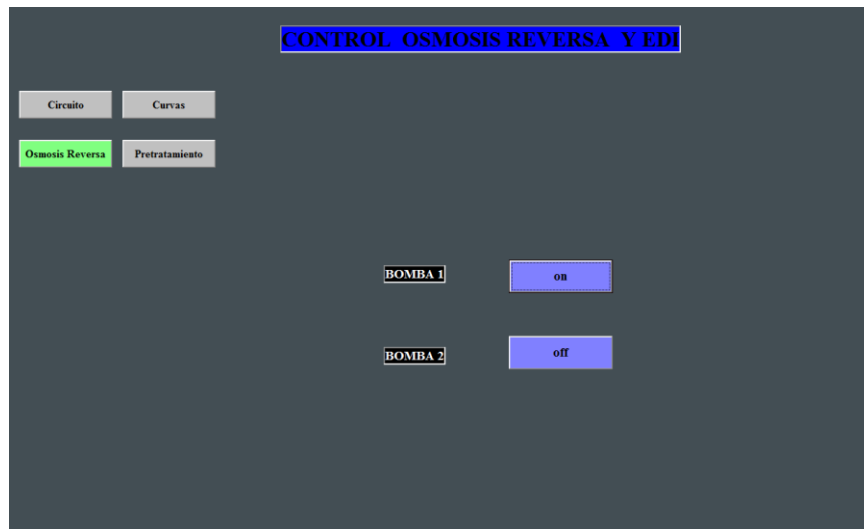


Gráfico 3.14. Pantalla de control OR y EDI

Fuente: Autores

En la pantalla de control se puede conectar y desconectar las diversas funciones de la respectiva parte de la unidad.

### **Pantalla de valores**

Al hacer clic en el botón “valores” en la pantalla de la unidad se obtiene acceso a la pantalla de valores de la correspondiente unidad.

El cambio de los valores límite o los valores operativos de la unidad se efectúa al seleccionar el valor a modificar (límite inferior, límite superior, punto de conexión, punto de desconexión) al hacer clic en el respectivo valor con la tecla izquierda del ratón. El valor se entra a través del teclado y se activa mediante la activación de la tecla de ENTER. Al pulsar la tecla ESC se interrumpe la entrada. (ver gráfico 3.15).

**VALOR DE CIRCUITO**

	<b>LIMITE INFERIOR</b>	<b>VALOR REAL</b>	<b>LIMITE SUPERIOR</b>
CONDUCTIVIDAD RETORNO CIRCUITO		<input type="text"/> us/cm	<input type="text"/> 20 us/cm
TEMPERATURA DE RETORNO CIRCUITO	<input type="text"/> 35 C	<input type="text"/> us/cm	<input type="text"/> 85 us/cm
CALENTADOR 1	<input type="text"/> 75 C		<input type="text"/> 85 C
CALENTADOR 2	<input type="text"/> 75 C		<input type="text"/> 95 C
TEMPERATURA CIRCUITO DE ADELANTE	<input type="text"/> 47 C	<input type="text"/> C	<input type="text"/> 85 C
PRESION DE CIRCUITO RETORNO	<input type="text"/> 0,2 BAR	<input type="text"/> BAR	<input type="text"/> 2,5 BAR
NIVEL PREVENCION DE REBOSE	<input type="text"/> 555 L	<input type="text"/> L	<input type="text"/> 4100 L
REQUERIMIENTO DEL TANQUE	<input type="text"/> 3200 L		<input type="text"/> 3800 L

Gráfico 3.15. Pantalla valores del circuito

Fuente: Autores

### Pantalla de Tiempos

Al pulsar el botón de “tiempos” en la pantalla de la unidad “osmosis inversa” se obtiene acceso a la pantalla de tiempos (las demás partes de la unidad no poseen pantallas de tiempo). El cambio de los tiempos del ciclo se efectúa al hacer clic en el valor del tiempo a modificar con la tecla izquierda del ratón. El valor se entra a través del teclado y se activa a través de la tecla de ENTER. Al pulsar la tecla ESC se puede interrumpir la entrada. (Ver gráfico 3.16)

**TIEMPO DE OSMOSIS REVERSA**

	<b>Circuito</b>	<b>Curvas</b>
	<b>Osmosis Reversa</b>	<b>Pretratamiento</b>
PREENJUAGUE OR	<input type="text"/> 5 min	TIEMPO DE ESPERA OR <input type="text"/> 4 min
REENJUAGUE OR	<input type="text"/> 20 min	TIEMPO DE ESPERA EDI <input type="text"/> 4 min

Gráfico 3.16. Pantalla de tiempos de OR

Fuente: Autores

## Pantallas de curvas

Los datos del proceso se leen en el fondo y se guardan en una base de datos.

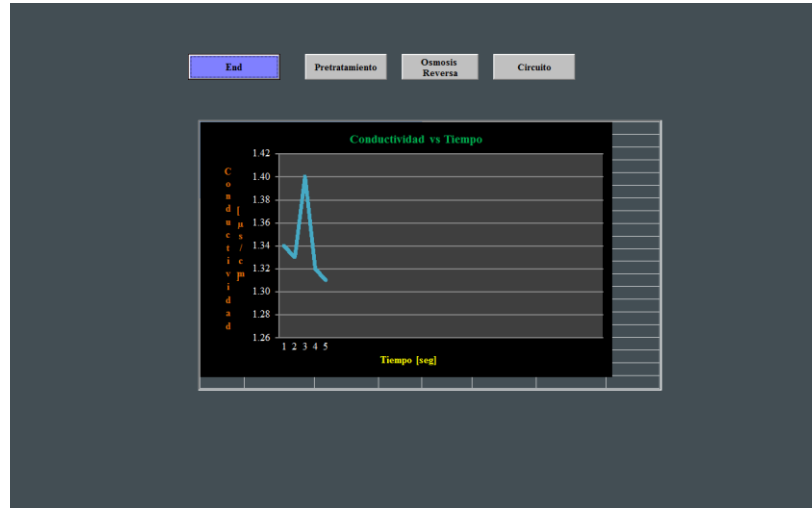


Gráfico 3.17. Pantalla de gráficas

Fuente: Autores

En el eje “x” se puede apreciar el valor del tiempo en milisegundos y en el eje “y” el rango de los valores de la conductividad. (Gráfico 3.17).

## CONDICIONES DE POSIBLES FALLAS DEL SISTEMA.

**Falla presión del concentrado después de la osmosis reversa máxima (OR MAX)**

**Posible causa.** La válvula de regulación del concentrado de la primera fase de la unidad de ósmosis reversa esta ya sea sucia o se cambió su ajuste.

**Medida correctiva:** Abrir la válvula reguladora del concentrado de la primera fase de la unidad de ósmosis reversa hasta que los valores se encuentren nuevamente dentro de los límites prescritos.

### **Falla caudal concentrado ósmosis reversa mínima (OR MIN)**

**Posible causa:** La válvula de regulación del concentrado de la primera fase de la unidad de ósmosis reversa está sucia o se cambió su ajuste.

**Medida correctiva:** Abrir la válvula reguladora del concentrado de la primera fase de la unidad de ósmosis inversa hasta que los valores se encuentren nuevamente dentro de los límites prescritos.

### **Falla conductividad después de la osmosis reversa máxima (OR MAX)**

**Posible causa:** Se cambió el ajuste al volumen de producción de la unidad de OR.

**Medida:** Abrir la válvula reguladora del concentrado de la primera fase, hasta que el volumen de producción se encuentre por debajo del 70%.

**Posible causa:** La calidad del agua de alimentación se encuentra fuera de las especificaciones.

**Medida correctiva:** Tomar una muestra del agua de alimentación para su análisis.

**Posible causa:** La sonda esta defectuosa.

**Medida correctiva:** Tomar una medición comparativa.

### **Falla conductividad circuito cerrado agua purificada máxima (AP MAX)**

**Posible causa:** La sonda de medición esta defectuosa.

**Medida correctiva:** Tomar una muestra y analizarla en el laboratorio conforme con las especificaciones de la Administración de drogas y alimentos (FDA) para determinar la conductividad.

## **DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD GENERADORA DE AGUA PURIFICADA (AP)**

### **Descripción detallada de la unidad**

El sistema de producción de agua purificada (AP) funciona completamente automático. La secuencia de la descripción detallada de los componentes se efectúa de acuerdo al recorrido del agua potable a través de la unidad.

### **Alimentación**

**800 S** Válvula de cierre agua potable.

**801 H** Válvula de toma de muestras agua potable.

### **Fase de tratamiento de desferrización y de carbón activado**

**TEM-100** Medición de temperatura, entrada agua potable.

**CAU-001** Medidor de caudal Agua Potable.

### **Tanque Desferrizador T 800**

**805 S** Válvula de cierre entrada del agua a la columna de desferrización. En el funcionamiento de filtración normalmente abierta.

**PI 800** Indicación de presión entrada agua del acueducto municipal columna de desferrización.

**811 S** Válvula de cierre y salida agua de filtración columna de desferrización solo se abre durante la filtración.

**810 H** Válvula de toma de muestras filtrado columna de desferrización.

**PI 801** Indicación de presión de salida filtrado de columna desferrización. PI 800 y PI 801 puede controlar visualmente la diferencia de presión en el filtro T 800.



- 806 S** Válvula de cierre filtrado del filtro desferrización al filtro de carbón activo. Siempre abierto en la operación de filtración.
- 807 S** Válvula de cierre entrada agua de retrolavado en el filtro de desferrización. Solo se abre de manera automática durante el funcionamiento de retrolavado.
- 808 S** Válvula de cierre, salida agua de retrolavado en el desagüe.
- 812 H** Válvula de salida filtro de desferrización. Esta válvula manual solo se puede abrir al estar parada la unidad. Cumple la función del vaciamiento residual del filtro.

### **Carbón Activado T 801**

- 815 S** Válvula de cierre, agua del acueducto municipal en la columna de carbón activo. Siempre abierta en la operación de filtración.
- PI 802** Indicador de presión, entrada, agua del acueducto municipal, columna de carbón activo.
- 821 S** Válvula de cierre. Agua entrada de filtración carbón activado. Solo se abre durante el proceso de filtración.
- 810 H** Válvula de toma de muestras. Filtrado columna de carbón activado.
- PI 803** Indicador de presión, salida filtrado columna de carbón activado. Con PI 802 y PI 803 la diferencia de presión se puede controlar de manera visual.
- 816 S** Válvula de cierre, filtrado de filtro de carbón activado a la ósmosis reversa. Siempre abierta en la operación de filtración.
- 817 S** Válvula de cierre entrada de agua de retrolavado en el filtro de carbón activado. Solo se abre de manera automática durante la operación de retrolavado.
- 818 S** Válvula de cierre salida agua de retrolavado al desagüe.
- 822 H** Válvula de salida filtro de carbón activado. Esta válvula manual solo se puede abrir al estar la unidad parada. Sirve para el vaciado residual del filtro.

## **Filtración**

- 001 S** Válvula de cierre del agua potable pretratada en el módulo OI
- 005 H** Válvula de toma de muestras agua potable pretratada delante de la unidad del prefiltro.
- TEM 001** Medición de la temperatura después de la fase de pretratamiento.
- PI 002** El manómetro indica la presión en la entrada de la prefiltración. F1.
- Prefiltración F1** Para proteger las válvulas y la grifería contra el ingreso de impurezas bastas como la arena y contra el ingreso de partículas orgánicas a las membranas de OR, se ha instalado un cuerpo (tanque) para un filtro, el cual sirve para albergar un cartucho de filtro de 30". El índice de retención corresponde al 99% para un tamaño de partículas de 30  $\mu\text{m}$ . La carga de impurezas se absorbe en el filtro conformado por aproximación de 50 capas de filtro polipropileno.
- Filtración final F2** La filtración final posee la función de seguir reduciendo el índice coloide y de proteger las membranas de las partículas que actúan de manera abrasiva. Después de la prefiltración en el cuerpo del filtro se ha instalado un cartucho de filtro de 10  $\mu\text{m}$  con un índice de retención del 99 %. En el caso de este cartucho de filtro se trata de un modelo especial, el cual es apto para el sentido de filtración desde el interior hacia el exterior.
- PI 003** El manómetro indica la presión de salida de la combinación del prefiltro F1-F2. Con base en la diferencia de la presión (PI 002-PI 003) se puede evaluar el grado de enmugramiento de los insertos del filtro. Cuando la diferencia de presión se ha incrementado aproximadamente 1-1.5 bar. Los insertos del filtro se deben recambiar.

## Ósmosis Reversa

<b>006 H</b>	Válvula de toma de muestras después de la unidad de prefiltración.
<b>007 H / 010 H</b>	Válvula de cierre instalada en la entrada a la bomba (lado de aspiración). Estas válvulas bloquean el tramo a través de la bomba puesta fuera de servicio.
<b>P 001 / P 002</b>	Las bombas de presión alta generan la presión requerida para la ósmosis reversa. Las bombas de presión alta alimentan el agua sin tratar filtrada al sistema de membranas. Bombas redundantes en el caso de falla de una de ellas.
<b>009 H / 012 H</b>	Válvula de cierre en la salida de la bomba (lado de presión). Estas válvulas bloquean el tramo a través de la bomba puesta fuera de servicio.
<b>PI 005</b>	Un manómetro indica la presión después de las bombas de presión alta.
<b>TEM 002</b>	Admisión de temperatura Osmosis Reversa. Sirve para la protección del Módulo de la Osmosis Reversa contra daños ocasionados por altas temperaturas durante la sanitización y durante la producción.
<b>C001 – C002</b>	En los módulos de la osmosis reversa el agua potable se desaliniza según el principio de la ósmosis reversa con una producción del 50-70%.
<b>019 H</b>	Válvula de toma de muestras instalada después de la osmosis inversa.
<b>QIS 001</b>	Esta medición de la conductividad en el caudal del permeato está dispuesta después de la ósmosis reversa y controla constantemente la calidad del permeato de la osmosis inversa. Los valores límite para verter el producto al desagüe se pueden definir en la pantalla de visualización.
<b>TEM 003</b>	Medición de la temperatura permeato Ósmosis Reversa.
<b>020 S</b>	La válvula de desagüe después de la ósmosis – si el valor de la conductividad determinado por QIS 001 se encuentra por

encima de los valores definidos, el permeato se evacua después de la ósmosis reversa.

### **Caudal del concentrado**

- PRE 001** El convertidor de presión cumple la función de controlar la presión de la bomba de presión alta y en comparación con el dispositivo PI 005 detrás de las membranas (lado del concentrado) para efectuar la medición de la presión diferencial en los módulos de la ósmosis. Con base en la diferencia de presión se puede evaluar el grado de bloqueo de las membranas.
- 016 H** La válvula de globo – regula la evacuación del concentrado de la osmosis inversa a una producción de aprox. 50%. **La válvula 016 H nunca puede estar completamente cerrada.** El ajuste del caudal del concentrado solo se debe modificar previo acuerdo con los Autores.
- 017 S** Una válvula automática de diafragma se ha instalado paralelo a la válvula de globo del concentrado 016 H.  
La válvula se abre una vez que la bomba se enjuaga con presión del agua potable sin conectar la bomba.
- CAU 002** El medidor de caudal indica la cantidad de concentrado vertida al desagüe.
- 018 S** Válvula de cierre automática.

### **Electrodesionización (EDI)**

- PRE 002** Transductor de presión en la entrada del concentrado de la unidad EDI.
- 033H / 034 H** Válvulas reguladoras, alimentación en la entrada al sistema EDI.

El sistema EDI consiste de dos unidades EDI conectados en paralelo.

<b>EDI 1 y 2</b>	En el módulo EDI se trata el permeado proveniente de la osmosis inversas mediante una electrodesionización hasta obtener la calidad del producto.
<b>QIS 002</b>	Esta medición de la conductividad está dispuesta en el caudal del producto después del EDI y controla constantemente la calidad del mismo proveniente del EDI. En la pantalla de visualización se puede definir los valores límites para el producto a desechar por razones de calidad.
<b>TEM 004</b>	Una medición de temperatura se encuentra dispuesta después de la sonda de medición de la conductividad.
<b>123 S</b>	Válvula de desagüe después de EDI – si el valor de conductividad determinado por <b>QIS 002</b> se encuentra por debajo del límite ajustado, el producto proveniente del EDI se vierte al desagüe.
<b>124 S</b>	Válvula de cierre después del EDI – Si el valor de conductividad determinado por <b>QIS 002</b> se encuentra por debajo del límite ajustado, el producto del EDI se conduce al tanque de AP.
<b>125 H</b>	Válvula de toma de muestras después de la unidad EDI.
<b>NIV 001</b>	Sensor de nivel de radar para medición continua de nivel modelo VEGAPULS63.

### **Componentes de la tubería de circuito cerrado**

Tubería de agua purificada al tanque de almacenamiento

El agua purificada se calienta en el tramo al tanque de almacenamiento con un intercambiador térmico eléctrico a la temperatura de almacenamiento específica.

<b>CT 100</b>	Intercambiador térmico eléctrico para el calentamiento del agua purificada generada a la temperatura de almacenamiento específica.
<b>126 H</b>	Válvula de toma de muestras después de CT 100
<b>TEM 005</b>	Medición de la temperatura después del intercambiador térmico CT 100. Sirve para el control de la temperatura de

alimentación al tanque y como desconexión térmica de seguridad para el intercambiador de calor.

**Conexión de circuito cerrado de agua purificada.**

<b>CT 105</b>	Intercambiador Térmico tubería de circuito cerrado. Genera la energía térmica requerida para mantener la temperatura de almacenamiento requerida para el agua purificada
<b>TEM 006</b>	Medición de la temperatura después del intercambiador térmico CT 105. Sirve como dispositivo de desconexión térmica de seguridad para el intercambiador térmico.
<b>510 S</b>	Válvula de cierre tubería de derivación. A través de esta válvula la tubería de llenado del tanque del agua purificada se puede enjuagar con agua purificada caliente del circuito siempre y cuando la unidad no esté produciendo agua purificada.
<b>511 H</b>	Válvula de toma de muestras, retorno tubería de circuito cerrado.
<b>103 H</b>	Válvula de bola para el vaciado del tanque.
<b>104 H</b>	Válvula de bola antes de la bomba de circulación.
<b>502 H</b>	Válvula de bola después de la bomba de circulación
<b>P 003</b>	Bomba de circulación sanitaria de dos etapas.

**Referencias cruzadas**

Farmacopea de los Estados Unidos de América (USP)

Agencia de Protección Ambiental (EPA)

FARMACOPEA EUROPEA

### 3.5. INFORME TÉCNICO FINAL



## INFORME TÉCNICO FINAL

DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE AGUA DE POZO PARA INYECTABLES CON CAPACIDAD DE PRODUCCION DE 2500 LITROS/HORA, MEDIANTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS REVERSA Y LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE VISUAL BASIC 6.0.

ORGANISMO EJECUTOR:  
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

DURACIÓN:  
16 MESES

AUTORES:  
ENRIQUE EDUARDO GUAYTARILLA CHICAIZA  
CHRISTIAN ROLANDO MANGIA GUACOLLANTES

QUITO, PICHINCHA – ECUADOR  
JUNIO 2012

### **3.5.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

**CÓDIGO:** EG-CM-01

**TÍTULO DEL PROYECTO:** DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE AGUA DE POZO PARA INYECTABLES CON CAPACIDAD DE PRODUCCION DE 2500 LITROS/HORA, MEDIANTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS REVERSA Y LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE VISUAL BASIC 6.0.

**CARRERA:** INGENIERÍA MECÁNICA

**FECHA DE INICIO:** 24 de enero del 2011

**FECHA DE CULMINACIÓN:** 11 de junio del 2012

**INSTITUCIONES COLABORADORAS:** GRUNENTHAL-TECNANDINA

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** ING. ESTUARDO CORREA

**INVESTIGADORES:** ENRIQUE EDUARDO GUAYTARILLA CHICAIZA  
CHRISTIAN ROLANDO MANGIA GUACOLLANTES

**MONTO TOTAL:** 277051.10 USD



### 3.5.2. CONTENIDO

#### RESUMEN

El proyecto desarrolló un Modelo de Simulación Dinámica (MSD), implementándose también un estudio que contiene información económica y técnica, teniendo como eje la cadena productiva del proceso para la obtención de agua purificada para uso farmacéutico.

Se identificó y caracterizó un punto de agua, obtenida de un pozo ubicado en la Avenida Manuel Córdova Galarza km. 6 ½, lo que permitió identificar las características iniciales del agua a ser tratada.



#### Objetivo:

Diseñar y simular un sistema purificador de agua para inyectables que tendrá una capacidad de producción de 2500 litros por hora, el cual mejorará el proceso en la obtención de agua purificada, apropiada para el uso farmacéutico; establecido en la FARMACOPEA.

Las principales conclusiones son:

- ✓ El objetivo de trabajo planteado fue adecuadamente corroborado teórica y analíticamente; puesto que durante el diseño del sistema, se verificó el problema de obtener agua purificada, el mismo que fue resuelto al finalizar las diferentes etapas, consiguiendo así agua apta para el uso farmacéutico.

- ✓ El diseño y simulación del sistema, tanto en modelos y metodologías que condujeron a la selección de materiales, garantizan la producción (sin limitantes de agua de alimentación) y permite inferir que se tendrán condiciones adecuadas para la competitividad.

### **Los principales métodos de investigación fueron:**

- 1) Método analítico sintético.
- 2) Método inductivo deductivo.

### **Sobre el método analítico sintético:**

Este método ayudó a conocer un reporte acerca de las características y componentes principales del agua a ser tratada. Mediante un análisis de laboratorio se recolectó la información más importante acerca del agua a purificar, y sirvió de guía para determinar el procedimiento más adecuado y factible para tratar el agua.

### **Sobre el método inductivo deductivo:**

En este punto se hizo referencia a los problemas para obtener agua para inyectables. Se consideró datos e informes de la planta farmacéutica Grunenthal-Tecandina sector norte de Quito, cuyo objetivo es llegar a obtener parámetros establecidos según la FARMACOPEA de los EEUU de América Volumen 1 Oficial desde el 1 de mayo del 2011 hasta el 30 de abril del 2012.

### **Conclusión:**

De esta manera se pudo dar inicio al análisis y diseño del proyecto; que cumple con las diferentes especificaciones en cuanto a purificación de agua, según la FARMACOPEA de los EEUU de América Volumen 1 Oficial desde el 1 de mayo del 2011 hasta el 30 de abril del 2012.

## **ABSTRACT**

The project developed a Dynamic Simulation Model (MSD), implementing a study that also contains economic and technical information, having as the focal point the productive chain of the process for obtaining purified water for pharmaceutical use.

We identified and characterized a water point, obtained from a well located in the Avenida Manuel Córdova Galarza km. 6 ½, which allowed us to identify baseline characteristics of the water to be treated.

### **OBJECTIVE:**

To design and simulate a water purification system suitable for injection that will have a production capacity of 2500 liters per hour, which will improve the process for obtaining purified water suitable for pharmaceutical use established in USP Pharmacopoeia.

### **The main conclusions are:**

- The proposed scope of work was adequately corroborated theoretically and analytically, since during the system design is verified the problem of obtaining purified water it was resolved to complete the different stages and getting purified water suitable for pharmaceutical use.
- The design and simulation of system models and methodologies that led to the selection of materials ensure production (without limiting water supply) and will infer that conditions for competitiveness.

### **The main methods of investigation were:**

- 1) Synthetic analytical method
- 2) Inductive deductive method

**About synthetic analytical method:**

This method helped release a report on the characteristics and components of the water to be treated. Through laboratory analysis was collected the most important information about water to be purified, and this served as a guide to determine the most appropriate and feasible method to treat water.

**About the inductive deductive:**

At this point we referred to the problems to obtain water for injections. We considered data and reports from the pharmaceutical plant-Tecnandina Grunenthal located in the north of Quito, whose goal is to obtain parameters established according to USP Pharmacopoeia, Volume 1, official from 1 May 2011 until 30 April 2012.

**Conclusion**

In this manner it was possible to begin the analysis and design of the project that complies with different specifications for water purification, according to USP Pharmacopoeia, Volume 1, official from 1 May 2011 until 30 April 2012.

### **3.5.3. INTRODUCCIÓN**

Solo si es pura, el agua es vida; contaminada con virus y bacterias puede ser mortal. Por fortuna, existen diversos métodos para purificar el agua, es por eso que la purificación del agua se ha convertido en uno de los negocios más rentables que existen en la actualidad, puesto que el valor de la materia prima es casi cero y su proceso de tratamiento y purificación es sencillo.

Al ser un proyecto de gran envergadura se seleccionó una empresa en la que se presten todas las facilidades para obtener datos y así ser una guía en cuanto a la producción de agua purificada para uso farmacéutico.

Al iniciar el desarrollo del proyecto, se consideró que en Ecuador, aunque se habían logrado avances importantes desde el punto de vista tecnológico, subsistían factores y situaciones en el país que dificultaban el afianzamiento de equipos de producción de agua purificada de esta magnitud. Estos factores y situaciones tienen que ver principalmente con las limitaciones de recursos para la implementación del sistema y a la importación de equipos e instrumentación.

La consolidación de este proyecto requiere al menos de tres componentes fundamentales: 1) información técnica específica para las condiciones finales del agua purificada, confiable y suficiente; 2) instrumentos y tecnologías integradas con información económica y técnica que permitan un adecuado sistema Buenas Prácticas de manufactura (GMP) en purificación de agua y 3) medios que pongan al alcance de los usuarios profesionales, productores farmacéuticos e instancias institucionales y empresariales.

En Quito-Ecuador, aunque se han identificado algunas empresas, los equipos de purificación de agua para cada una de ellas todavía presentan vacíos y fallas con relación a estos tres componentes fundamentales. La propuesta del proyecto apunta a la solución de esta problemática para la producción de agua purificada de uso farmacéutico, que tiene como materia prima el agua de un pozo, planteando como elementos importantes el diseño y la aplicación de un modelo de simulación dinámica (MSD), lo que requería integrar, sistematizar y depurar la información

disponible, y elaborar medios de fácil accesibilidad y manejo de los MSD para los usuarios, a través de pantallas de visualización.

**Objetivos específicos y resultados esperados al concebirse originalmente el proyecto.**

Consecuentemente con este problema identificado, se intentara resolver a nivel de proyecto, o contribuir en su solución a nivel sectorial, se definieron los siguientes objetivos con sus correspondientes resultados:

**Objetivo específico 1:**

Determinar los costos del proyecto.

**Resultado 1.1:**

Generación de un presupuesto de información económica-técnica total del sistema de producción de agua purificada.

**Objetivo específico 2:**

Diseñar los tanques: desferrizador, carbón activado, carcasa de las membranas de ósmosis reversa, carcasa de los pre-filtros y del tanque de almacenamiento del agua purificada.

**Resultado 2.1:** Elaboración de planos con información técnica de cada uno de los tanques del sistema de purificación de agua, referidos a las características o condiciones del proceso productivo en las respectivas condiciones de trabajo.

**Objetivo específico 3:**

Elaborar un informe técnico de las características finales del sistema purificador de agua de pozo.

**Resultado 3.1:** Elaboración e implementación de un modelo que integre la información económica, técnica y científica de un prototipo para la obtención de agua purificada mediante agua de pozo, ya que como se trata de un proyecto, las

condiciones finales del agua purificada no pueden ser evidenciadas físicamente en el presente informe.

En consecuencia, el presente proyecto planteó una alternativa para contribuir a la solución de la problemática señalada desarrollando una primera fase piloto en la obtención de agua purificada, que comprende al diseño y simulación, los cálculos teóricos y selección de materiales y equipos para cada una de sus etapas.

#### **3.5.4. CONCLUSIONES:**

Teniendo como referencia los objetivos de trabajo, se pueden elaborar las siguientes conclusiones sobre los aspectos técnicos del proyecto.

1.El objetivo de trabajo planteado, que orientó el desarrollo del trabajo, fue adecuadamente corroboradas teórica y analíticamente.

2. La identificación, selección y aplicación de equipos y metodologías que condujeron a delimitar el presente proyecto de producción de agua purificada (sin limitantes de suministro de agua de pozo), en esta primera etapa de la implementación de un equipo de esta envergadura para la Industria Farmacéutica, permite inferir que se tendrán condiciones adecuadas para la competitividad. Este aspecto es de vital importancia, por cuanto en un futuro se pretende consolidar este proyecto, por cuanto la experiencia y el conocimiento técnico son nuestros mejores aliados.

#### **3.5.5. RECOMENDACIONES**

1. Realizar actividades de intercambio de información, resultados de estudios y proyectos, como seminarios y talleres con participación activa, que permita ampliar la aplicación del proyecto.

2. Mantener el diseño del proyecto para el desarrollo futuro del equipo.

## **ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA**

Se encuentran en el empastado principal.

### **Responsables del informe técnico**

---

**Enrique Eduardo Guaytarilla**

Cargo: Investigador

C.I. 1712959145

Universidad Politécnica Salesiana

---

**Christian Rolando Mangia**

Cargo: Investigador

C.I. 1715618334

Universidad Politécnica Salesiana

---

**Ing. Estuardo Correa**

Cargo: Director del Proyecto

C.I.1708183304

Universidad Politécnica Salesiana



## CAPITULO IV

### 4.0. COSTO DEL PROYECTO

Para la obtención de los costos referenciales se visitaron centros especializados en los diferentes materiales y accesorios, tales como Ferrituvalco, Acero Comercial, etc., además se solicitaron proformas vía correo electrónico para la obtención de las diferentes cotizaciones, incluso fue necesario el contacto con empresas internacionales tales como Letzner (EDI, filtros de 30 y 10 micras) y GEMU de Alemania, que por medio de su representante en Latinoamérica (GEMU Brasil) se logró la obtención del costo de las válvulas 2/2 687GEMU; gran parte de las cotizaciones se obtuvieron a nombre de Tecnadina S.A., ya que a las empresas proveedoras les dificulta brindar un servicio en la parte académica.

### 4.1. DETALLE DE LOS COSTOS

A continuación se detallan los valores unitarios y totales, obtenidos durante la investigación:

#### 4.1.1. Planchas de los tanques

La tabla 4.1 muestra el costo de las planchas para la construcción de los tanques del sistema.

ITEM	ELEMENTO	ESPESOR	CANTIDAD/ PLANCHAS	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Tanque desferrizador y de Carbón Activado	3 mm	2	988,10	1976,20
		4 mm	2	1295,52	2591,04
2	Tanque calentador 1	2 mm	2	685,44	1370,88
		4 mm	1	1295,52	1295,52
3	Tanque calentador 2	1 mm	1	560,00	560,00
		2 mm	1	685,44	685,44
4	Tanque de prefiltros	2 mm	1	685,44	685,44
5	Tanque de OR	2 mm	1	685,44	685,44
6	Tanque almacenamiento	3 mm	9	988,10	8892,90
				<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>18742,86</b>

Tabla 4.1. Costo de planchas para tanques

Fuente: Autores

#### 4.1.2. Tuberías y accesorios de acoplamiento

La tabla 4.2 muestra el costo de las tuberías y accesorios de acoplamiento.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Ferrul corto 1"	200	5,00	1000,00
2	Ferrul corto 1 1/2"	100	2,73	273,00
3	Ferrul corto 2"	40	3,70	148,00
4	empaques ferrul 1"	100	0,50	50,00
5	empaques ferrul 1  1/2"	50	0,60	30,00
6	empaques ferrul 2"	20	0,75	15,00
7	abrazaderas sanitarias 1 1/2"	150	5,60	840,00
8	abrazaderas sanitarias 2"	20	6,50	130,00
9	tee 2 " 316L	3	25,40	76,20
10	tee 1 1/2 " 316L	1	18,00	18,00
11	tee 1 " 316L	18	17,98	323,64
12	codo 90° 1"	30	10,05	301,50
13	codo 90° 1 1/2 "	29	12,62	365,98
14	codo 90° 2 "	5	17,71	88,55
15	tubo sanitario 1"	4	107,95	431,80
16	tubo sanitario 1 1/2"	17	137,38	2335,46
17	tubo sanitario 2"	2	176,53	353,06
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>6780,19</b>

Tabla 4.2. Costo de tuberías de conducción y accesorios de acoplamiento

Fuente: Autores

#### 4.1.3. Bombas centrífugas

La tabla 4.3 muestra el costo de las bombas centrífugas.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Bomba N° 1 Grundfos CRN5-6	1	2.840,96	2.840,96
2	Bomba N° 2 Grundfos Higyana	1	5.196,49	5.196,49
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>8037,45</b>

Tabla 4.3. Costo de bombas centrífugas

Fuente: Autores

#### 4.1.4. Válvulas de control

La tabla 4.4 muestra el costo de las válvulas de control.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Válvula de bola 2 plg 316L	6	73,50	441,00
2	Válvula de bola 1 plg 316L	2	25,34	50,68
3	Válvula de globo 1 plg 316L	5	25,11	125,55
4	Válvula de globo 1 1/2 plg 316L	6	50,80	304,80
5	Válvula de bola 1 1/2 plg 316L	1	49,60	49,60
6	Válvula diafragma 2/2 GEMU 686 NC	15	681,98	10229,70
7	Válvula diafragma 2/2 GEMU 687 NA	4	489,06	1956,24
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>13157,57</b>

Tabla 4.4. Costo de válvulas de control

Fuente: Autores

#### 4.1.5. Elementos de filtración

La tabla 4.5 muestra el costo de los elementos de filtración.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Gravilla (tanque desferrizador)	10	114,34	1143,40
		4	80,59	322,36
2	Carbón Activado	150	5,20	780,00
3	Prefiltro de 30 micras	2	473,20	946,40
4	Filtro de 10 micras	2	473,20	946,40
5	Membranas de OR	2	1513,85	3027,70
6	Electrodesionizadores (EDI)	2	26377,00	52754,00
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>59920,26</b>

Tabla 4.5. Costo de elementos de filtración

Fuente: Autores

#### 4.1.6. Elementos de control

La tabla 4.6 muestra el costo de los elementos de control.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Sensores de temperatura PT100	5	203,76	1018,80
2	Caudalímetros	2	186,24	372,48
3	Transductores de presión	3	82,00	246,00
4	Conductivímetro	3	1958,00	5874,00
5	Sensor de nivel	1	5138,20	5138,20
6	Manómetros de presión 0-6 bar	4	79,87	319,48
7	Manómetros de presión 0-10 bar	4	79,87	319,48
8	Manómetros de presión 0-25 bar	1	79,87	79,87
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>13368,31</b>

Tabla 4.6. Costo de elementos de control

Fuente: Autores

#### 4.1.7. Construcción de tanques

La tabla 4.7 muestra el costo de la construcción de los tanques utilizados en el sistema.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Tanque de almacenamiento	1	26565,00	26565,00
2	Tanque desferrizador y de CA	2	15060,00	30120,00
3	Tanque de OR	1	2385,00	2385,00
4	Tanque de filtración	1	3450,00	3450,00
5	Tanque calentador 1	1	4180,00	4180,00
6	Tanque calentador 2	1	1323,00	1323,00
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>68023,00</b>

Tabla 4.7. Costo de la construcción de los tanques

Fuente: Autores

#### 4.1.8 Mano de Obra (instalación y consumibles)

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
1	Instalación montaje de tuberías y accesorios, incluye consumibles.	1	9864,00	9864,00
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>9864,00</b>

Tabla 4.8. Costo de la mano de obra (instalación y consumibles)

Fuente: Autores

#### 4.2. COSTO TOTAL DE MATERIALES

La tabla 4.9 indica el costo referencial de cada uno de los elementos que generan valor al sistema.

ITEM	ELEMENTO	COSTO TOTAL \$
1	Tuberías de conducción y accesorios de acoplamiento	6780,19
2	Tanques	18742,86
3	Válvulas de control	13157,57
4	Bombas centrífugas	8037,45
5	Elementos de filtración	59920,26
6	Elementos de control	13368,31
7	Costrucción de los tanques	68023,00
8	Mano de Obra (instalación y consumibles)	9864,00
	<b>VALOR NETO \$</b>	<b>197893,64</b>

Tabla 4.9. Costo total de materiales

Fuente: Autores

### 4.3. COSTOS DE DISEÑO E INGENIERÍA

La tabla 4.10 muestra el costo de diseño e ingeniería del proyecto, recomendado por la Cámara de La Construcción de Quito.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO TOTAL	COSTO INGENIERIA
1	Diseño e ingeniería del proyecto (40% costo total del proyecto)	1	197893,64	79157,46
			<b>SUB TOTAL \$</b>	<b>79157,46</b>

Tabla 4.10. Costo de Diseño e Ingeniería

Fuente: Autores

### 4.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

La tabla 4.11 muestra el costo total estimativo del proyecto.

ITEM	ELEMENTO	PRECIO TOTAL \$
1	Valor del costo total de materiales	197893,64
2	Valor de diseño e Ingeniería del sistema	79157,46
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>277051,10</b>

Tabla 4.11. Costo Total del Proyecto

Fuente: Autores.

## CONCLUSIONES

- La ampliación de la producción de agua purificada, tanto regional como nacional, a través de este sistema computarizado, brinda la posibilidad de inversión y desarrollo no sólo para los grandes empresarios, sino también para los pequeños y medianos, permitiendo identificar mercados nacionales e internacionales.
- El modelo implementado ha permitido no sólo integrar métodos en cuanto a la obtención de agua purificada, sino también comprender y explicar mejor cada una de sus etapas. Esta integración de la información también permitió detectar vacíos en cuanto a tratamiento de agua se refiere.
- Se debe tener en cuenta el costo de los materiales y accesorios de grado farmacéutico antes de iniciar cualquier intento de consolidación. Los equipos que intervienen en este sistema son costosos y requieren en muchos casos de la importación de estos insumos.
- El Sistema está programado para que luego de un cierto tiempo de producción (modificable) entre en una etapa de retrolavado, en el cual se hace circular agua en dirección opuesta a la normal, con esto se garantiza la no saturación en los tanques desferrizador y de Carbón Activado, alargando su vida útil y garantizando agua purificada de calidad.
- Es entendible la necesidad de que existan estándares para la industria Farmacéutica y hay que adaptarse a ellos para que la tecnología y nuestra experiencia puedan aplicarse con total confianza a la producción de agua purificada y agua para inyectables.
- El agua es un factor importante en la producción de los medicamentos, por lo tanto su calidad, es de suma importancia ya que es la materia prima más usada y además está presente en otros procesos relacionados con dicha producción, como por ejemplo en los de limpieza y sanitización. Es por ello

que el agua puede considerarse una fuente potencial de contaminación bacteriana de los medicamentos.

- La producción de agua purificada implica un gran desperdicio de agua potable, ya que las membranas de Osmosis Reversa trabajan en un 50 % de eficiencia, es decir que la mitad de agua será arrojada al desagüe.

#### **RECOMENDACIONES:**

- El sistema purificador de agua se encuentra simulado en un programa que permite visualizar cada etapa del proceso de purificación y es recomendable leer el manual de usuario que se encuentra en el capítulo 3.
- Se recomienda reutilizar el agua de desecho del sistema de ósmosis reversa, ya que este caudal será de 2500 litros/hora; (por ejemplo en sistema de riego, etc.)
- El acabado de los materiales metálicos, como por ejemplo del acero inoxidable, ya sea un acabado de fábrica, un pulido hasta cierta textura específica, o un tratamiento de electropulido, deben complementarse en el diseño del sistema y proporcionar un grado satisfactorio de resistencia a la corrosión y el desarrollo microbiano.
- Cada vez que se inicie el proceso de purificación se debe realizar un barrido primario mediante el ingreso de agua al sistema; con la finalidad de evitar que se produzca burbujas de aire en el mismo ya que un equipo que no está completamente purgado de aire puede afectar al desempeño de las membranas de Osmosis Reversa (OR).
- Es necesario hacer énfasis que este proyecto es únicamente una parte de un proyecto total de purificación de agua, ya que su complemento es la parte eléctrica, montaje y puesta en marcha. Con este modelo se pueden “estimar” valores posibles de datos resultantes en cuanto a la calidad del agua



purificada, que pueden posteriormente a largo plazo en forma experimental irse corroborando y ajustando.

- Los productos farmacéuticos exigen los máximos niveles de calidad y esto implica extremar los cuidados en la producción, monitorización y control del agua purificada.
- Si no resulta posible utilizar el agua de preenjuague y del concentrado como materia prima, se recomienda colectarlas y usarlas como agua de regadío.
- No deben existir tramos de puntos muertos (agua en reposo) en el sistema, ya que es muy fácil que aquí se reproduzcan bacterias.

## BIBLIOGRAFÍA

- MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. Análisis de la Ecuación de Energía.
- JACK, B, Mecánica de Fluidos e Hidráulica, Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición, España 1994.
- Organización Mundial de la Salud: Guía para la calidad del agua Potable: Recomendaciones; Segunda Edición, OMS.
- Eugene F. Megyesy. Manual de Recipientes a presión diseño y calculo. Primera edición, Mexico 1992 .
- Catálogos de Bombas Centrifugas suministrados por la empresa, acero comercial ecuatoriana S.A.
- FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA, Volumen 1, oficial desde el 1 de mayo del 2011 hasta el 30 de abril del 2012.
- APHA,AWWA,WPCF, *Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales*. Ediciones Díaz de Santos S.A., 17ma Edición, Año 1989-1992
- ARBOLEDA, Jorge, *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Tercera Edición, Tomo 1, Editorial McGraw-Hill. 2001
- ASCE, AWWA, *Water Treatment Plant Desing*. Segunda Edición, McGraw-Hill Publishing 1990.
- CHEMICAL ENGINEERING, *Membrane Separation Processes*, June 11, 1984.
- LIPESA, *Tratamiento Químico del Agua*. Editorial Impregraf, mayo 1998.
- MILLIPORE, *Guía de Análisis de Aguas*. Edición 1994
- MONTGOMERY, J *Water Treatment Principles and Desing*. Willey Interscience Publcation USA 1985.
- M.S.A.S., *Normas de Buenas Practicas de Fabricación para la Industria Farmacéutica*. División de Drogas y Cosméticos, Caracas, Venezuela, 1990.
- PERRY, Robert *Manual del Ingeniero Químico*. Sexta Edición, Editorial McGraw-Hill / Interamericana de México 1992.
- Guías para la calidad del agua potable, 3a. Edición, Ginebra, OMS, 2004

## **DIRECCIONES ELECTRÓNICAS**

<http://www.aceros-inoxidables.com/info-tecnica.html>  
<http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/abril2.htm>.  
<http://www.apswater.com/page38.html>.  
<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/132-253.html>.  
<http://www.ingenieroambiental.com/inf/filtracion.htm>.  
[http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_inox.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm)  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1>  
<http://www.alacermas.com/index.php?menu=productes&opcio=producte&id=140>  
<http://www.arqhys.com/tuberias-codos.html>  
[http://www.gewater.com/es/products/equipment/ed\\_edr\\_edi/edi.jsp](http://www.gewater.com/es/products/equipment/ed_edr_edi/edi.jsp)  
[http://www.excelwater.com/spa/b2c/water\\_tech\\_5.php](http://www.excelwater.com/spa/b2c/water_tech_5.php)  
<http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>  
<http://www.humboldt-demexico.com/datos/webs/glosario/osmosis.htm>  
<http://www.ingecoza.com>  
<http://www.intelware.cc>  
[http://www.Tubos acero inoxidable tubería farmacéutica ASME BPE 316L Importadora y Exportadora Las Américas.mht](http://www.Tubos%20acero%20inoxidable%20tuber%C3%ADa%20farmac%C3%A9utica%20ASME%20BPE%20316L%20Importadora%20y%20Exportadora%20Las%20Am%C3%A9ricas.mht)  
<http://www.letzner.de>  
<http://www.gemue.com.br>  
<http://www.agua10.com/ampliafaq.asp?cod=27>  
[http://www.acquamatter.com/osmosis\\_inversa\\_proceso.htm](http://www.acquamatter.com/osmosis_inversa_proceso.htm)  
<http://www.grupoogman.com/index.html>  
[http://www.elguille.info/vb/VB\\_TIP3.HTM#vb3\\_05](http://www.elguille.info/vb/VB_TIP3.HTM#vb3_05)  
<http://es.scribd.com/avalon20/d/47430053-BUENAS-PRACTICAS-DE-MANUFACTURA-DE-LA-OMS-AGUA-PARA-USO-FARMACEUTICO>  
<http://www.asisfarma.com.co/farmaceutica.html>  
[http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/\\_assets/downloads/bge/sewage-handbook\\_bge.pdf](http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/_assets/downloads/bge/sewage-handbook_bge.pdf)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### COTIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Ing.- CAG-1000 (mesh 4x8) el precio es \$5.20/kg + IVA y ustedes tienen un dcto del 5%. Entrega en 3 semanas.

Nota.- El CA cotizado es un carbon de origen natural, de alta resistencia a la abrasion, metodo de activacion vapor seco de agua a elevadas temperaturas.

Saludos  
Rodrigo Erazo  
ERAFI SA

**From:** [Guaytarilla, Enrique](#)  
**Sent:** Monday, May 02, 2011 10:23 AM  
**To:** [Rodrigo Erazo](#)  
**Subject:** RE: \*\*\*\*\*SPAM\*\*\*\*\* Re: Cotización

Estimado Sr. Erazo, por favor me puede enviar la cotización del carbón pero con la especificación que necesitamos, es decir con grado 1000.

Saludos,

Enrique

**From:** [Rodrigo Erazo](#)  
**Sent:** Monday, April 25, 2011 1:28 PM  
**To:** [Guaytarilla, Enrique](#) ; [Luis Rodrigo Erazo Fiallo](#)  
**Subject:** \*\*\*\*\*SPAM\*\*\*\*\* Re: Cotización

Ing.- Necesita 150 kg de CAG-800, el precio es \$4/kg + IVA y ustedes tienen un dcto del 5%. Entrega inmediata.

Saludos  
ERAFI SA

-- Mensaje original ----

Estimado Sr. Rodrigo Erazo,

Por favor necesito que me envíe una cotización para 12 pie3 de carbón activado que será utilizado en nuestro equipo purificador de agua para uso farmacéutico a partir de agua de pozo. En espera de su pronta respuesta me suscribo.

Saludos cordiales

Ing. Enrique Guaytarilla  
Asistente de Ingeniería  
[Tecnandina S.A.](#)  
Tel.: +593-2-4006543  
Cel.: 084928687  
e-mail: [enrique.guaytarilla@grunenthal.com](mailto:enrique.guaytarilla@grunenthal.com)

[gerencia@erafi.com](mailto:gerencia@erafi.com)

## ANEXO 2

### COTIZACIÓN DE LA RESINA Y GRAVA ABLANDADORA

  
**WATER PROJECTS S.A**  
Los Profesionales del Agua  
 Av. Los Granados E14-620 y Eloy Alfaro  
 244-4260, 600-3333, fx: 292-2405

**PROFORMA**

<b>REFERENCIA</b>	<b>ATENCIÓN:</b>	ENRIQUE GUYTARILLA
RESINAS Y GRAVA ABLANDADOR	<b>EMPRESA:</b>	GRUNENTHAL
	<b>TELÉFONOS:</b>	
	<b>E-MAIL:</b>	

Item	Cantidad	Descripción	Valor Unit	Valor Total
	10	PIE CUBICO RESINA	114,34	1143,40
	4	CULLSAN X 25 LBS	80,59	322,36
<b>PLAZO DE ENTREGA: REVISION DE STOCK</b>			<b>SUBTOT/</b>	<b>1465,76</b>
<b>FORMA DE PAGO: CONTRA ENTREGA</b>			<b>IVA 12%</b>	<b>175,89</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>1641,65</b>

Saludos Cordiales  
 Diego Pazmiño  
 Water Projects S.A.  
 600-3333

WATER PROJECTS S.A.

## ANEXO 3

### COTIZACIÓN DE PREFILTROS 30 Y 10 MICRAS.



# FAX

Seite 1 von 1

**Grünenthal  
Tecnandina S.A.  
Mr. Enrique Guaytarilla  
Apartado Postal  
17-17 075  
Quito Ecuador**

**Service-Telefon: 0173 / 722 8005**  
Telefon: 02192 / 9217-0  
Fax: 02192 / 83987

**Bearbeiter: Rudolf Dubiel**  
**Durchwahl: 92 17-13**  
**Email: rudolf.dubiel@letzner.de**  
**Internet: www.letzner.de**

**Angebot Q12049**

**13.02.2012**

Dear Mr. Guaytarilla,

thank you very much for sending your inquiry.

You receive the following offer in accordance with our general sales and delivery conditions:

Pos.	Number of items	Description	Total EUR
10.	2	Pre filter (0124)	364 ,00
20	2	Fine filter (0125)	364 ,00

#### Terms of delivery, payment and warranty

Prices: All prices are quoted net  
Time of delivery: ca. 6 - 10 weeks after receipt of confirmation of order  
Shipment: ex works, packing, insurance not included  
Payment: 100 % immediately on receipt of the invoice  
Warranty: wearing parts are excluded  
Validity: 8 Weeks

Please contact us if you need further information.

Best regards

**LETZNER  
Pharmawasseraufbereitung GmbH**

**Rudolf Dubiel**

Letzner  
Pharmawasser-  
aufbereitung  
GmbH  
vor-leitfilter.doc

Robert-Koch-Straße 1  
42499 Hückeswagen  
Tel. 0 21 92 / 9 21 70  
Tel. 0 21 92 / 8 39 87  
Fax 0 21 92 / 8 39 87

Geschäftsführer  
Gesellschafter:  
Hans-Hermann Letzner  
Dipl.-Ing.  
Mobil 01 72 / 9 33 66 94

Stz der Gesellschaft  
42499 Hückeswagen  
HR 1962

Städtelexikon Rheinisch-  
Kob. Nr. 102/201  
StZ 245 220 00  
DZ 121 013 417  
zlangebot@1-angebot.pharmagrueenthal.ecuadorq.12049

LETZNER

## ANEXO 4

### COTIZACIÓN MEMBRANAS DE ÓSMOSIS REVERSA (OR)



**WATER PROJECTS S.A**

Los Profesionales del Agua

v. Los Granados E14-620 y Eloy Alfaro

244-4260, 600-3333, fx: 292-2405

**PROFORMA**

<b>REFERENCIA</b>	<b>ATENCIÓN:</b> SR. ENRIQUE GUAYTARILLA
MEMBRANAS REPUESTO EQUIPO OSMOSIS INVERSA BX40	<b>EMPRESA:</b> TECNANDINA
	<b>TELÉFONOS:</b>
	<b>E-MAIL:</b> <a href="mailto:Enrique.Guaytarilla@grunent.com">Enrique.Guaytarilla@grunent.com</a>

ESTIMADO SR. GUAYTARILLA

A continuación le indico el valor de los repuestos solicitados

Item	Cantidad	Descripción	Valor Unit.	Valor Total
1	2	MEMBRANA TORAY	1513,85	3027,70
<b>PLAZO DE ENTREGA: INMEDIATA</b>			<b>SUBTOTAL</b>	<b>3027,7</b>
<b>FORMA DE PAGO: CONTRA ENTREGA</b>			<b>IVA 12%</b>	<b>363,32</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>3391,02</b>

Saludos Cordiales  
Diego Pazmiño  
Water Projects S.A.  
600-3333

WATER PROJECTS S.A.



## ANEXO 5

### COTIZACIÓN ELECTRODESIONIZADORES (EDI)



# FAX

Seite 1 von 1

**Grünenthal  
Tecnandina S.A.  
Mr. Marcelo Godoy / Ruben Costales  
Apartado Postal  
17-17 075  
Quito Ecuador**

**Service-Telefon: 0173 / 722 8005**  
Telefon: 02192 / 92 17-0  
Fax: 02192 / 92 17-39

**Bearbeiter: Thomas Wojtowicz**  
**Durchwahl: -32**  
**E-mail: thomas.wojtowicz@letzner.de**  
**Internet: www.letzner.de**

**Angebot / offer Q10022**

**03.02.2010**

Dear Mr. Costales,

thank you very much for sending your inquiry.  
You receive the following offer in accordance with our general sales and delivery conditions:

Pos.	Number of items	Description	Total EUR
1.	2	EDI Electropure XL 500 HTS (3191)	20290 ,--

#### Terms of delivery, payment and warranty

Prices: All prices are quoted net  
Time of delivery: approximately 10 weeks after receipt of confirmation of order  
Shipment: ex works, packing, insurance not included  
Payment: 100 % immediately on receipt of the invoice  
Warranty: wearing parts are excluded  
Validity: 8 Weeks

Please contact us if you need further information.

Best regards

**LETZNER  
Pharmawasseraufbereitung GmbH**

**Rudolf Dubiel**

Letzner  
Pharmawasser-  
aufbereitung  
GmbH  
new ed-module (of 500 ht).doc

Robert-Koch Straße 1  
42699 Hückeswagen  
Tel. 0 21 52 / 9 21 70  
Tel. 0 21 52 / 9 39 80  
Fax 0 21 52 / 9 39 97

Geschäftsführer  
Gesellschafter:  
Hans-Hermann Letzner  
Dipl.-Ing.  
Mobil 01 72 / 9 33 66 84

Sitz der Gesellschaft  
42699 Hückeswagen  
HR 1862

Städteparlament Remscheid  
Kto. Nr. 100/301  
027 340 500 00  
DE 121 013 417

xlangebotk1 angebote.pharmalgruenenthal.ecuadorq.10022.2

LETZNER

## ANEXO 6

### COTIZACIÓN BOMBA N° 2.



Quito, 22 de febrero de 2012  
GV-VTAS-C105-12

Señores  
**GRUNENTHAL**  
Presente

Estimados señores:

De acuerdo a su requerimiento tenemos a bien detallar nuestra oferta de precios como sigue:

CANT.	MEDIDA	MATERIAL	V/UNIT	V/TOTAL
			EUROS	EUROS
1	U	Bomba marca Grundfos Hilge Modelo HYGIANA 1/2 BYY 32/25/4/2 con motor de 5 HP	5,196.49	5,196.49
Subtotal				5,196.49
+ 12% IVA				623.58
Valor Total				5,820.07

Plazo de entrega: Aproximadamente 14 semanas salvo fuerza mayor, después de recibir su Orden de compra junto con el pago anticipado.

Validez de la oferta: 8 días calendario

Forma de pago: 50% pago de contado junto con la Orden de Compra y el saldo, contra entrega de la mercadería.

Lugar de entrega: En nuestras bodegas de la ciudad de Quito

Notas Importantes: Esta cotización está siendo presentada en **EUROS**. En el caso de ser aceptada, se procederá a tomar el tipo de cambio, de **EUROS A DOLARES**, el mismo día de la negociación, así como en el momento de la cancelación total.

.Acero Comercial Ecuatoriano S.A., es Contribuyente Especial D.G.R. N° 39, Resolución N° 5368

Esperamos que esta oferta sea de su interés y estamos a sus órdenes para cualquier consulta adicional.

Muy atentamente,  
**ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.**

  
**José Luis Martínez**  
Asesor Comercial

LV/mm

ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.

## ANEXO 7

### COTIZACIÓN MEDIDOR DE NIVEL



### Cotización

Fecha	Cotización #
13/03/2012	COT12_1799

Nombre / Dirección  GRUNENTHAL Att.: Ing. Enrique Guaytarilla Email : Enrique.Guaytarilla@grunenthal.co Cel: 084928687
---

No. Solicitud Cliente	Forma de Pago	Validez Oferta	Vendedor	Proyecto	Tiempo de Entrega	
	70% Ant Y 30% Ent	13/04/2012	JEL		4 SEMANAS	
Descripción				Cant	P. Unitario	Total
MEDIDOR DE NIVEL POR RADAR - VEGAPULS 63 Measuring unit for lengths : Metre/Millimetre Instrument generation : plics®plus Approval directive / Scope : None / World-wide Approval : without Version / Material / Process temperature : Hyg. encapsulated horn antenna / PTFE / -40...200°C Process fitting / Material : Clamp 2" PN16(ø64mm) DIN32676,ISO2852 /316L Electronics : Two-wire 4...20mA/HART® Address setting : no Housing / Protection : StSt (electropolished) 316L / IP66/IP68 (0.2bar) Cable entry / Cable gland / Plug connection : ½NPT / with / without Indicating/adjustment module PLICSCOM : without Additional equipment : without Measuring range max. : 35 Customer-specific adjustment : no Customer or application-specific parameter adjustment : without Input linearization table : no Menu language : ES Operating instructions in : EN+ES Number of operating instructions : 1 Measurement loop identification label : without Cleaning : without Test certificate : without Certificate / Standard : without SIL qualification : without Foodstuffs / Pharmaceutical certificate : without Technological tests : no				1,00	5.138,20	5.138,20T
				<b>Subtotal</b>		\$5.138,20
				<b>IVA (12,0%)</b>		\$616,58
Phone #	Fax #	E-mail	Web Site	<b>Total</b>		\$5.754,78
593-2-2921268	593-2-2249343	ventas@intelware.cc	http://www.intelware.cc			

INTELWARE S.A.

## ANEXO 8

### COTIZACIÓN ACCESORIOS



**ferrituvalco** Cia. Ltda.  
**IMPORTADORES INDUSTRIALES**  
RUC: 1792073898001

David Ledesma N69-31 Y Miguel Moreno (COTOCOLLAO)  
Teléfonos: 259-6560 253-0659 Telefax: 259-9558  
Celular: 094690232  
E-mail: tuvalco.ventas@ferrituvalco.com  
ferrituvalco@ferrituvalco.com  
Quito - Ecuador

### PROFORMA No. 3287

QUITO, 13 de Marzo de 2012

SEÑORES: TECNANDINA TENSA S.A.

RUC/CI: 1790199568001

ATT: SEÑOR ENRIQUE GUAYTARILLA

TELEF.: 2351-980

DIRECCION: AV. MANUEL CORDOVA GALARZA KM 6 1/2

CORRESPONDIENDO A SU AMABLE SOLICITUD, NOS COMPLACE OFERTAR EL SIGUIENTE MATERIAL

No.	CANT.	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
1	1.00	SS PLANCHA INOX MATE 316 244 X 122 CM X 1 MM	560.00	560.00
2	1.00	SS VAL DE GLOBO 200 NPT 316 1 1/2"	50.80	50.80
3	1.00	SS VAL DE BOLA 1000 2C NPT 316L C/S 1"	25.34	25.34
4	1.00	SS VAL DE BOLA 1000 2C NPT 316L C/S 1 1/2"	49.60	49.60
5	1.00	SS VAL DE BOLA 1000 2C NPT 316L C/S 2"	73.50	73.50
6	1.00	SSS 304 ADAPTADOR MACHO NPT 1" - CLAMP 1 1/2"	25.00	25.00
7	1.00	SSS 304 ADAPTADOR MACHO NPT 1 1/2" - CLAMP 1 1/2"	25.00	25.00
8	1.00	SSS 304 ADAPTADOR MACHO NPT 2" - CLAMP 2"	25.00	25.00

VALIDEZ DE LA OFERTA: 8 DIAS

SUBTOTAL: 834.24

TIEMPO DE ENTREGA:

15% DSCTO.: 125.14

VALOR NETO: 709.10

FORMA DE PAGO: CREDITO

IVA: 85.09

**TOTAL: 794.20**

\_\_\_\_\_  
GUSTAVO NIQUINGA  
DEPARTAMENTO DE VENTAS



**ferrituvalco** Cia. Ltda.  
**IMPORTADORES INDUSTRIALES**  
 RUC: 1792073898001

David Ledesma N69-31 Y Miguel Moreno (COTACOLLAO)  
 Teléfonos: 259-6560 253-0039 Telefax: 259-9158  
 Celular: 094690232  
 E-mail: tuvalco.ventas@ferrituvalco.com  
 ferrituvalco@ferrituvalco.com  
 Quito - Ecuador

**PROFORMA No. 3283**

QUITO, 13 de Marzo de 2012

SEÑORES: **TECNANDINA TENSA S.A.**

RUC/CI: 1790199568001

ATT: **SEÑOR ENRIQUE GUAYTARILLA**

TELEF.: 2351-980

DIRECCION: **AV. MANUEL CORDOVA GALARZA KM 6 1/2**

CORRESPONDIENDO A SU AMABLE SOLICITUD, NOS COMPLACE OFERTAR EL SIGUIENTE MATERIAL

No.	CANT.	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
1	1.00	SSS 316L FERRUL CORTO 1"	5.00	5.00
2	1.00	SSS 316L FERRUL CORTO 1 1/2"	2.73	2.73
3	1.00	SSS 316L FERRUL CORTO 2"	3.70	3.70
4	1.00	SSS 316L TEE CL 1"	17.98	17.98
5	1.00	SSS 316L TEE CL 1 1/2"	18.00	18.00
6	1.00	SSS 316L TEE CL 2"	25.40	25.40
7	1.00	SSS 316L CODO 90° CL 1"	10.05	10.05
8	1.00	SSS 316L CODO 90° CL 1 1/2"	12.62	12.62
9	1.00	SSS 316L CODO 90° CL 2"	17.71	17.71
10	1.00	SSS 316L TUBO SANITARIO 1"	107.95	107.95
11	1.00	SSS 316L TUBO SANITARIO 1 1/2" C/6M	137.38	137.38
12	1.00	SSS 316L TUBO SANITARIO 2"	176.53	176.53
13	1.00	SS PLANCHA INOX MATE 316 244 X 122 CM X 2 MM	685.44	685.44
14	1.00	SS PLANCHA INOX MATE 316 244 X 122 CM X 3 MM	988.10	988.10
15	1.00	SS PLANCHA INOX MATE 316 244 X 122 CM X 4 MM	1,295.52	1,295.52
16	1.00	SSS 316L VALVULA MARIPOSA CL 1"	59.69	59.69
17	1.00	SSS 316L VALVULA MARIPOSA CL 1 1/2"	59.25	59.25
18	1.00	SSS 316L VALVULA MARIPOSA CL 2"	81.72	81.72
19	1.00	SS VAL DE GLOBO 200 NPT 316 1"	25.11	25.11
20	1.00	SS VAL DE GLOBO 200 NPT 316 2"	65.45	65.45
21	1.00	MANOM SS D 2 1/2" TV 1/4" NPT SS 0-100 PSI WINT	79.87	79.87
22	1.00	MANOM SS D 2 1/2" TV 1/4" NPT SS 0-150 PSI WINT	79.87	79.87
23	1.00	MANOM SS D 2 1/2" TV 1/4" NPT SS 0-450 PSI WINT	79.87	79.87
24	1.00	SSS 304 ABRAZADERA SANITARIA 1 1/2"	5.60	5.60
25	1.00	SSS 304 ABRAZADERA SANITARIA 2"	6.50	6.50
26	1.00	SSS EMPAQUE EPDM P/FERRUL 1"	0.50	0.50
27	1.00	SSS EMPAQUE EPDM P/FERRUL 1 1/2"	0.60	0.60
28	1.00	SSS EMPAQUE EPDM P/FERRUL 2"	0.75	0.75

VALIDEZ DE LA OFERTA: 8 DIAS

SUBTOTAL: 4,048.89

TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATO

15% DSCTO.: 607.33

VALOR NETO: 3,441.56

FORMA DE PAGO: CREDITO 30 DIAS

IVA: 412.99


**TOTAL: 3,854.54**

GUSTAVO NIQUINGA  
 DEPARTAMENTO DE VENTAS

Ferrituvalco Cia. Ltda.

# ANEXO 9

## PRECIO TRANSDUCTORES DE PRESIÓN



**TECNANDINA S.A. TENSA**  
 Calle el Paraíso s/a y Autopista Manuel Córdova Fariña km. 6 1/2 (Punquí)  
 TELE: (593-2) 2 351880, 1593-21 2 985800  
 FAX: (593-2) 2 352003, Apartado Postal: 17-17-075 CDM

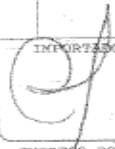
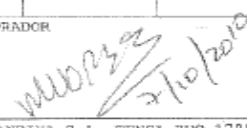
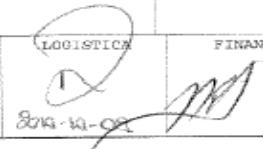
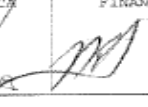
0 -000

ORDEN DE COMPRA No 10745 DEL 2010/10/07

PROVEEDOR: <b>LEYZNER PHARMA</b> <b>RUDOLF DUSIEL</b> <b>ROBERT-KOCH-STRASSE 1</b> <b>42499HUCKESWAGEN</b> <b>ALEMANIA</b>		FABRICANTE: <b>98087</b>		Pag. <b>1</b>	
CONSIGNADO A: <b>TECNANDINA S.A. TENSA</b>		FECHA NEGOCIACION:		MARCA:	
LUGAR DE ENTREGA: <b>TECNANDINA S.A. TENSA</b> <b>AV. M. CORDOVA GALARZA KM 6 1/2</b>		FORMA DE PAGO: <b>contado</b>		MONEDA: <b>EUR</b>	
EMBARCADO EN:		VIA:		PAIS DE ORIGEN: <b>ALEMANIA</b>	
UNIDAD:		UNIDAD:		UNIDAD:	

LINEA	CODIGO	UN	CANTIDAD	DESCRIPCION DE PRODUCTO/MATERIAL	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	4650	UN	2,000	PRESSURE TRANSDUCTOR PIS006 6196 REPUESTOS PARA FURIFICADOR DE AGUA LEYEN FECHA DESPACHO: 25/NOVIEMBRE SEMANA /2010	82,00000	164,00
			2,000	PESO TOTAL DE ORDEN NOTA: MANTENIMIENTO/ RUBEN COSTALES REF: S/C 1376 CC: 00500100/100% ENTREGA URGENTE	TOTAL FOB (EUR)	164,00

08 OCT. 2010


IMPORTADOR/COMPRADOR 	PLANIFICACION 	LOGISTICA 	FINANZAS 	GERENTE GENERAL
---	--	---	---	-----------------

IMPRESO POR TECNANDINA S.A. TENSA RUC 1790199568001

Tecnandina S.A.

ANEXO 10

PRECIO CAUDALÍMETROS




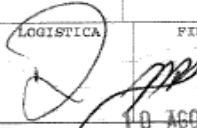
**TECNANDINA S.A. TENSA**  
 Calle el paraíso s/n y Autopista Manuel Córdova Galarraga Km. 4 1/2 (Pasajero)  
 TEL: (593-2) 2 352000 (593-2) 2 980000  
 FAX: (593-2) 2 352003 Apartado Postal: 17-13-075 CCRB

ORDEN DE COMPRA No. 10219 DEL 2010/08/09 0 -000

PROVEEDOR: LETNER PHARMA RUDOLF DUBIEL ROBERT-KOCH-STRASSE 1 42459BUCKENWAGEN ALEMANIA		98087	FABRICANTE:	Pag. 1
CONSIGNADO A: TECNANDINA S.A. TENSA		EMPAGUE:		MONEDA: EUR
LUGAR DE ENTREGA: TECNANDINA S.A. TENSA AV. N. CORDOVA GALARRAGA KM 6 1/2	FORMA DE PAGO: contado	UNIDAD:		
EMBARCADO EN:	VIA:	PAIS DE ORIGEN: ALEMANIA		UNIDAD:

LIN	CODIGO	UN	CANTIDAD	DESCRIPCION DE PRODUCTO/MATERIAL	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	4650	UN	6,000	RESPUUESTOS PARA EL EQUIPO PURIFICADOR DE AGUA LETNER PARA MANTENIMIENTO PREVENTI DN 10/15 DIAPHRAGM 00000163 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	***** 32,12000	192,72
	4650	UN	24,000	SEMANA /2010 ***** DN 15/25 DIAPHRAGM 00000409 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	35,50000	852,00
3	4650	UN	36,000	SEMANA /2010 ***** DN 20 CLAMP GASKET 00000166 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	2,90000	104,40
4	4650	UN	36,000	SEMANA /2010 ***** DN 25 CLAMP GASKET 00000179 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	2,42000	87,12
5	4650	UN	12,000	SEMANA /2010 ***** DN 40 CLAMP GASKET 00000181 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	2,79000	33,48
6	4650	UN	6,000	SEMANA /2010 ***** DN 150 00000187 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	39,80000	238,80
7	4650	UN	3,000	SEMANA /2010 ***** DN 200 00000188 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	50,00000	150,00
8	4650	UN	1,000	SEMANA /2010 ***** FLOW METER TUBE FIS 003 FECHA DESPACHO: 09/AGOSTO	186,24000	186,24
124,000				PESO TOTAL DE ORDEN KG.	TOTAL FOB (EUR)	1.944,76
NOTA: MANTENIMIENTO/ ENRIQUE GUAYTARILLA REF: S/C 1056 CC: 00500100/100%						

10 AGO. 2010

IMPORTADOR/COMPRADOR 	PLANIFICACION	LOGISTICA 	FINANZAS	GERENTE GENERAL
---	---------------	---	----------	-----------------

IMPRESO POR TECNANDINA S.A. TENSA RUC 1790199568001

Tecnandina S.A.



## ANEXO 11

### COTIZAÇÃO VÁLVULAS DE DIAFRAGMA GEMU 687



VÁLVULAS E APARELHOS  
DE MEDIÇÃO E CONTROLE



A

TECHINDINA S.A. - PR Attn.: Enrique Guaytarilla Your Inquiry : Your e-mail of 21/3	QUOTATION NR. 85.937 Revision 0 Subject : Valves Quotation Phone : 593 24006543 Fax : 0
--	--

Item	Qty	Code	N.C.M.	UNIT PRICE	CURRENCY	Delivery Time
1	15	xxxx	V068702SDI63412 11/N 1503 84.81.80.99	524,70	EUR	40 Days
GEMÜ 687 metal diaphragm valve, pneumatically controlled. DN 25(1"). Butt weld spigot acc. to DIN 11850, series 1. 316L Stainless Steel investment cast ASTM A 351 CF8M body material, electropolished internal and external surface finish Ra <= 0,8. EPDM diaphragm. Control function 1 - NC, actuator size 1/N.						
2	04	xxxx	V068702SDI63412 21/N 1509 84.81.80.99	376,20	EUR	40 Days
GEMÜ 687 metal diaphragm valve, pneumatically controlled. DN 25(1"). Butt weld spigot acc. to DIN 11850, series 1. 316L Stainless Steel investment cast ASTM A 351 CF8M body material, electropolished internal and external surface finish Ra <= 0,8. EPDM diaphragm. Control function 2 - NO, actuator size 1/N.						
3	01	100032		35,00	EUR	
Banking costs						

**Note:**  
Purchase order should be sent in name of GEMÜ Brazil and directly to us.  
Payment with transfer directly to GEMÜ Brazil

Shipment from GEMÜ Germany  
GEMÜ GEBR. MÜLLER APPARATEBAU GMBH&CO.KG  
Fritz-Müller-Strasse 6-8  
DINGELFINGEN 74653 - Germany

TOTAL VALUE (NET)..... EUR 9.410,30

- COMMERCIAL CONDITIONS
1. Prices :
    - 1.1 Prices are net ones
  2. DELIVERY TERMS : INCOTERMS 2000
    - 2.1 Ex - Works GEMÜ Germany
  3. The Quotation is valid until 01/04/2012
  4. Packing included
  5. Quality Certificate Standard Will be supplied. Special under request
  6. If necessary please consult us for the availability of Certificate of Origin or GSP
  9. PAYMENT TERMS :
    - 9.1 In Advance

DATE : 22/03/2012 Responsible : Gerald Hall Codling - gerald.codling@gemu.com.br

We look forward to the pleasure of serving you and assure you, that your orders will have our best attention.

Yours sincerely

GEMÜ Indústria de Produtos  
Plásticos e Metalúrgicos Ltda

GEMÜ - Brasil  
São José dos Pinhais - PR

Rua Marechal Hermes, 1745  
83065-000

Phone +55 41 33822425  
Fax +55 41 33823531

gustavo.scherlaiber@gemu.com.br  
http://www.gemu.com.br

GEMU - BRASIL



## ANEXO 12

### COTIZACIÓN BOMBA N° 1



Quito, 20 de marzo de 2012  
GV-VTAS-C192-12

Señores  
**TECNANDINA**  
Presente

Atención: Ing. Enrique Guaytarilla

Estimados señores:

De acuerdo a su requerimiento tenemos a bien detallar nuestra oferta de precios como sigue:

CANT.	MEDIDA	MATERIAL	V/UNIT	V/TOTAL
			EUROS	EUROS
1	U	Bomba marca Grundfos centrífuga multietapa Modelo CRN 5-6 A-CA-G-E 1x220-230/240V, 60 Hz	2,84096	2,840.96
Subtotal				2,840.96
+ 12% IVA				340.91
Valor Total				3,181.87

R

Plazo de entrega: Aproximadamente 8.5 – 9.5 semanas salvo fuerza mayor, después de recibir su Orden de compra junto con el pago anticipado.

Validez de la oferta: 8 días calendario

Forma de pago: 50% pago de contado junto con la Orden de Compra y el saldo, contra entrega de la mercadería.


Lugar de entrega: En nuestras bodegas de la ciudad de Quito

Notas Importantes: Esta cotización está siendo presentada en **EUROS**. En el caso de ser aceptada, se procederá a tomar el tipo de cambio, de **EUROS A DOLARES**, el mismo día de la negociación, así como en el momento de la cancelación total.

Acero Comercial Ecuatoriano S.A., es Contribuyente Especial D.G.R. N° 39, Resolución N° 5368

Esperamos que esta oferta sea de su interés y estamos a sus órdenes para cualquier consulta adicional.

Muy atentamente,  
**ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.**

  
**José Luis Martínez**  
Asesor Comercial

LV/mm

Av. La Prensa N45-14 y El Telégrafo | Telfs.: (593-2) 2454 333 / 2454 334 FAX: (593-2) 2454 455 CASILLA: 17 - 01 - 2901 e-mail: info@acero.com.ec  
QUITO - ECUADOR

Av. Juan Tanco Marengo Km 1.7 TELF: (593-4) 2683 060 FAX: (593-4) 2683 059 CASILLA: 3531 e-mail: info@acero.com.ec  
GUAYAQUIL - ECUADOR

ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.

## ANEXO13

### COTIZACIÓN SENSOR DE TEMPERATURA



RUC: 1/92159458001

Empresa: **TECNANDINA**  
 Atención: **Sr. Enrique Guaytarilla**  
 Dirección: Quito  
 Ciudad: Quito  
 Fecha: 22/03/2012  
 Teléfono:  
 Fax:

Colinas del Sol, Km. 12 1/2 vía a Daule  
 Telefax: 046041786 / 045401785  
 Móvil: 091402765 / 095948611  
 E-mail: [info@sensor-tecsa.com](mailto:info@sensor-tecsa.com)  
 Guayaquil - Ecuador

Avenida Napo y Punto Giza  
 Telefax: 02313828  
 Móvil: 091402790 / 084114207  
 E-mail: [info@sensor-tecsa.com](mailto:info@sensor-tecsa.com)  
 Quito - Ecuador

COTIZACION 2012-0130

**PEPPERL+FUCHS**

**OMRON** **SCHMERSAL**

**Shinko** **Gems** **PHENIX CONTACT**  
North America Ltd. Sens & Control

**Baumer** **APG** **BALLUFF**

**KEYENCE** **MONITOR**

Item	Figura	Descripción	CANT.	P. UNIT	DESC.	TOTAL
				USD.	10%	USD.
1		SENSOR TEMPERATURA TIPO: RTD PT100 (3 HILOS) <b>REFERENCIA: R1T185L483-02-CIP-2-5-63-CT</b> DIAMETRO BULBO: 6,5 mm LONGITUD BULBO: 50 mm CONEXION PROCESO: TRI-ULAM 50mm CABEZAL DE CONEXION: PLASTICO BLANCO GRADO SANITARIO <b>MARCA: PYROMATION (AMERICANA)</b>  <b>**** TIEMPO ENTREGA: 4-5 SEMANAS ****</b>	5	226,40	203,76	1018,78
<b>SUBTOTAL:</b>						1018,78
<b>I.V.A 12%:</b>						122,25
<b>TOTAL:</b>						1141,03

**CONDICIONES COMERCIALES:**

- 1.- La orden de compra deberá ser emitida a nombre de **SENSORTECSA S.A.**
- 2.- Forma de Pago: Credito 30 días
- 3.- Tiempo de Entrega: PREVIA ORDEN DE COMPRA
- 4.- Lugar de Entrega: Bodegas de Tecnandina
- 5.- Validez de la Oferta: 7 días

Atentamente,

*Juan Carlos Quillipangui*

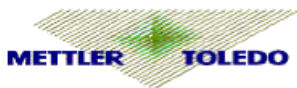
Departamento Técnico - Comercial

PLC-HMI-SERVOMOTORES-VARIADORES FRECUENCIA-SENSORES INDUCTIVOS - CAPACITIVOS - FOTOELECTRICOS - ULTRASONICOS - LECTORAS DE CONTRASTES  
 TERMOCUPLAS - RTDS PT100 - CONTROLADORES DE TEMPERATURA, PROCESOS Y NIVEL

SENSORTECSA S.A.

## ANEXO14

### COTIZACIÓN SENSOR DE CONDUCTIVIDAD



Quito, 28 de Marzo de 2012

**Señores:** TECNANDINA S. A. TENSA  
**Tfno:** 2352116 / 2351980  
**Atención:** ING. ENRIQUE GUATARILLA  
**Presente.**

RUC: 1791924452001  
 SERVICIO AL CLIENTE  
 JORGE VALENCIA  
 VENTAS@TECNOESCALA.COM.EC  
 096026887

#### COTIZACIÓN PARA VENTA LOCAL

REF: 00000603

ITEM	CNT	CODIGO	DESCRIPCION	USD UNIT	USD TOTAL	
1	1	52001995	<b>ELECTRODO INPRO 7000 VP METTLER PROCESOS</b> Sensor de conductividad de 2 electrodos para mediciones de alta precision en agua de conductividad baja a media. Conector VarioPin impermeable al agua (IP68) para una fácil conexión y excelente transmisión de señal. Paquete de certificación MaxCert™ que incluye la constante de celda identificable NIST/ASTM, certificación de materiales 3.1 y documentación Acondicionamiento y preparación de aguas en las industrias química, farmacéutica, alimentación y bebidas. Material del electrodo: Titanio Material del cuerpo: PVDF RTD: Pt1000 integrada	Rangos de medición: Depende del transmisor Transmisores: M300/M400: 0,02–200 uS/cm Cond 7100e: 0,02–10.000 uS/cm M700: 0,02–10.000 uS/cm Longitud de inserción: 29mm Máxima longitud del sensor: 153,20mm Conexión de proceso: 3.4" NPT conducto de 1" NPT Constante nominal de celda: 0,1cm <sup>-1</sup> Precisión de la constante de celda: ±1,0% Presión máxima a 25°C (77°F): 34 bar (493 psig) Presión máxima a 95°C (203°F): 7 bar (100 psig) Rango de temperatura de medición: -10 a 100°C (14 a 212°F) Precisión de temperatura a 25°C	1,698.00	1,698.00
2	1	58080203	<b>CABLE CONDUCTIVIDAD VP 4,5 M METTLER PRO</b> CABLE CONDUCTIVIDAD VP 4,5 METROS DE LONGITUD METTLER PROCESOS	260.00	260.00	

**TIEMPO DE ENTREGA Y FORMA DE PAGO :** ITEM 1-2: 60 DIAS LUEGO DE CONFIRMADO EL PEDIDO  
 ITEM 1-2: 30 DIAS CREDITO  
 VALIDEZ OFERTA: 30 DIAS  
 NOTA: FABRICA NOS CONFIRMA QUE LOS ELECTRODOS DE CONDUCTIVIDAD SOLO FUNCIONA CON TRANSMISORES METTLER TOLEDO

<b>NETO:</b>	1,958.00
<b>BASE IVA:</b>	1,958.00
<b>IVA:</b>	234.96
<b>TOTAL:</b>	2,192.96

Quito: Of. Matriz  
 Cristóbal Gangotena N24-184 y Coruña  
 www.tecnoescala.com.ec  
 Telfs.: (593 2) 2560077 2560078 2550919  
 Fax: 3227812

Guayaquil:  
 Cda. Alborada 9na. Etapa Mz. 934 Solar 2 P4  
 www.tecnoescala.com.ec  
 096158070 0960226883  
 Fax: 3227812

Manta:  
 Avda. Tercera 1369 entre calles 13 y 14  
 www.tecnoescala.com.ec  
 096026887 096026883  
 Fax: 3227812

TECNOESCALA

## ANEXO15

### COTIZACIÓN CONSTRUCCIÓN DE TANQUES, MANO DE OBRA (INSTALACIÓN Y CONSUMIBLES)

# ACERO-INOX

EQUIPOS DE ACERO INOXIDABLE

Quito 14 de mayo del 2012  
Proforma: 2012-38-Rev-00

Pág.1 de 2

Señores: Enrique Guaytarilla

Por medio de la presente nos es grato poder cotizarle los siguientes equipos.

- Tanque de almacenamiento.
- Tanque filtrante.
- Tanque calentador #1.
- Tanque de filtración.
- Tanque osmosis inversa.
- Tanque calentador #2.
- Instalación montaje de tubería y accesorios, incluye consumibles.

#### 1. Descripción

Todos los equipos serán construidos de acuerdo a los planos proporcionados por ustedes. Acero-Inox incluye: provisión de consumibles, electrodos, gases, abrasivos. Etc., requeridos para la instalación y montaje, Logística de personal. Los precios consideran la provisión de material y la mano de obra de instalación.

#### 2. Materiales

Acero inoxidable AISI 316

#### 3. Medidas.

De acuerdo a la información proporcionada por Uds.

#### 4. Soldadura y Acabados

Los equipos serán soldados con soldadores calificados, se utilizará el proceso de soldadura GTAW (Tig) y se empleará respaldos especiales y protección gaseosa de argón para garantizar la penetración y la calidad de la soldadura. Posteriormente se realizará un pasivado con ácidos especiales para recuperar la capa de óxido de cromo, principal responsable de la resistencia a la corrosión del acero inoxidable.

#### 5. Precio (USD)

Descripción	V.Total
Tanque de almacenamiento	26.565,00
Tanque filtrante	15.060,00
Tanque calentador #1	4.180,00
Tanque de filtración	3.450,00
Tanque osmosis inversa	2.385,00
Tanque calentador #2	1.323,00
Mano de Obra (instalación y consumibles)	9864,00

# ACERO-INOX

EQUIPOS DE ACERO INOXIDABLE

Quito 14 de mayo del 2012  
Proforma: 2012-38-Rev-00

Pág.2 de 2

Notas:

Este precio no incluye el IVA.

El precio incluye cilindros, tapas elípticas, patas con pie de altura regulable y base, ingreso y salida de producto, bridas, soldaduras y logística.

## 6. Condiciones Generales

Validez de la oferta:	15 días
Tiempo de entrega:	3 meses con entregas parciales
Lugar de entrega:	En vuestra planta
Forma de pago:	100% contra entrega

Atentamente,  
Wilson Paucar  
ACERO-INOX

---

DIRECCION: Santa Rosa de Chillogallo II Etapa Calle K #S32-127 Telf;2634-658  
Fax: 3034018, E-mail: [acero\\_inox1@hotmail.com](mailto:acero_inox1@hotmail.com) Quito-Ecuador

ACERO-INOX

## ANEXO 16

### CARACTERÍSTICAS DEL ACERO INOXIDABLE 316 L



PLANCHAS

COMPOSICION QUIMICA %			PROPIEDADES MECANICAS							
Cr	Mo	Otros Elementos	Pruebas Mecánicas				Elongación % min JIS N° 13 (Muestra)	Pruebas de Dureza		PRUEBA DE FLEXIBILIDAD 180° radio (t, mm)
			Resistencia Mecánica min Kg/mm2	psi	Punto de fluencia <sup>1</sup> min kg/mm2	psi		Escala Rockwell B	Escala de dureza Vickers max	
16,00 ~ 18,00		N: 0,25 max	65	93,000	25	36,800	40	100	253	
17,00 ~ 19,00		N: 0,25 max	60	85,500	25	36,800	40	95	218	
16,00 ~ 18,00			53	75,800	21	30,000	40	90	200	
17,00 ~ 19,00			53	75,800	21	30,000	40	90	200	
18,00 ~ 20,00			53	75,800	21	30,000	40	90	200	
18,00 ~ 20,00			49	69,500	18	25,500	40	90	200	
17,00 ~ 19,00			49	69,500	18	25,500	40	90	200	
22,00 ~ 24,00			53	75,800	21	30,000	40	90	200	
24,00 ~ 26,00			53	75,800	21	30,000	40	90	200	
16,00 ~ 18,00	2,00 ~ 3,00		53	75,800	21	30,000	40	90	200	
16,00 ~ 18,00	2,00 ~ 3,00		49	69,500	18	25,500	40	90	200	
17,00 ~ 19,00	1,20 ~ 2,75	Cu: 1,00 ~ 2,5	53	75,800	21	30,000	40	90	200	
18,00 ~ 20,00	3,00 ~ 4,00		53	75,800	21	30,000	40	90	200	
18,00 ~ 20,00	3,00 ~ 4,00		49	69,500	18	25,800	40	90	200	
17,00 ~ 19,00		Ti: 5 x C% min	53	75,800	21	30,000	40	90	200	
17,00 ~ 19,00		Nb +Ta: 10 x C% min	53	75,800	21	30,000	40	90	200	
11,50 ~ 16,00		Al: 0,10-0,30	42	60,000	18	25,500	20	88	200	t 8 0,5 t
14,00 ~ 16,00			46	65,800	21	30,000	22	88	200	1,0t
16,00 ~ 18,00			46	65,800	21	30,000	22	88	200	1,0t
16,00 ~ 18,00	0,75 ~ 1,25		46	65,800	21	30,000	22	88	200	1,0t
11,50 ~ 13,00			45	64,000	21	30,000	20	88	200	1,0t
11,50 ~ 13,5			45	64,000	21	30,000	20	88	200	1,0t
12,00 ~ 14,00			55	78,500	23	32,750	18	93	210	
16,00 ~ 18,00	0,75 max		60	85,500	25	36,800	15	97	230	
16,00 ~ 18,00		Al: 0,75 ~ 1,50	105	148,000	39	55,500	20	92	200	

## PLANCHAS INOXIDABLES

### Especificaciones Generales

Norma	304, 316, 430
Espesores	Desde 0.40mm hasta 15.00mm
Rolls	X 1220mm
Planchas	4 x 8 pies
	Largos y calidades especiales bajo pedido

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICION QUIMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenite	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,00 - max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	18Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00	
Ferrite	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensite	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

JIS\* Japanese Industrial Standards  
 AISI\*\* American Iron and Steel Institute  
 DIN\*\*\* Deutsche Industrie Normen

ANEXO 17

REGISTRO DE INSPECCIÓN

99

REGISTROS DE INSPECCION		
<p>Todos los recipientes sujetos a presión que contendrán aire comprimido y aquellos sometidos a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro para hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados. Los registros de inspección que aparecen en la tabla siguiente se han seleccionado de las opciones permitidas por el Código, UG-46, en vista de que se estiman como las más económicas.</p>		
DIAMETRO INTERIOR DEL RECIPIENTE	REGISTRO DE INSPECCION REQUERIDO	NO SE REQUIEREN REGISTROS DE INSPECCION:
mayor de 12 pulg y menor de 18 pulg	dos aberturas con tubo roscado de 1 1/2 pulg de diámetro	<p>1. En recipientes de 12 pulg de diámetro o menores, si tienen por lo menos dos conexiones removibles para tubo de 3/4 de pulg como mínimo.</p> <p>2. En recipientes de más de 12 pulg pero menos de 16 pulg de diámetro interior que se van a instalar de manera que puedan desconectarse de un arreglo para permitir su inspección, si tienen por lo menos dos conexiones para tubo removibles no menores de 1 1/2 pulg. UG-46(e).</p> <p>3. En recipientes de más de 12 pulg de diámetro interior sujetos a presión interna de aire que también contengan otras substancias que impidan la corrosión, siempre que el recipiente tenga aberturas adecuadas por las que pueda hacerse convenientemente su inspección, y que dichas aberturas sean equivalentes en cuanto a tamaño y número a las indicadas en la tabla. UG-46(c).</p> <p>4. En recipientes (no mayores de 36 pulg de D.I.) provistos de agujeros de aviso (como mínimo un agujero por cada 10 pies<sup>2</sup>) que cumplan con las disposiciones de la norma UG-25, que estén sometidos sólo a corrosión y que no sean para uso con aire comprimido. UG-46(b).</p>
18 pulg a 36 pulg inclusive	registro de hombre con un mínimo de 15 pulg de D.I. o dos aberturas con tubo roscado de 2 pulg de diámetro	
Mayor de 36 pulg	registro de hombre con un mínimo de 15 pulg de D.I. o dos boquillas con tubo de 6 pulg de diám.	
<p>La ubicación preferible de las aberturas de inspección pequeñas es en cada cabeza o cerca de cada cabeza.                      En lugar de dos aberturas pequeñas puede tenerse una sola abertura, siempre que sea de tamaño tal y esté ubicada en tal forma que permita por lo menos tener una visión igual del interior.                      El aire comprimido que se considera aquí no comprende al aire del que se ha eliminado la humedad al grado de tener un punto de rocío a presión atmosférica de -50°F o menor. La especificación que da el fabricante debe incluir la advertencia "para servicio no corrosivo" y el número de párrafo del código cuando no se incluyen aberturas de inspección.</p> <p><b>ESPESOR DEL CUELLO DE UNA BOQUILLA</b>                      El espesor de pared del cuello de una tobera u otra conexión que se utilice como abertura de acceso o de inspección no debe ser menor que el espesor calculado para las cargas que soporta, más el margen por corrosión.</p>		

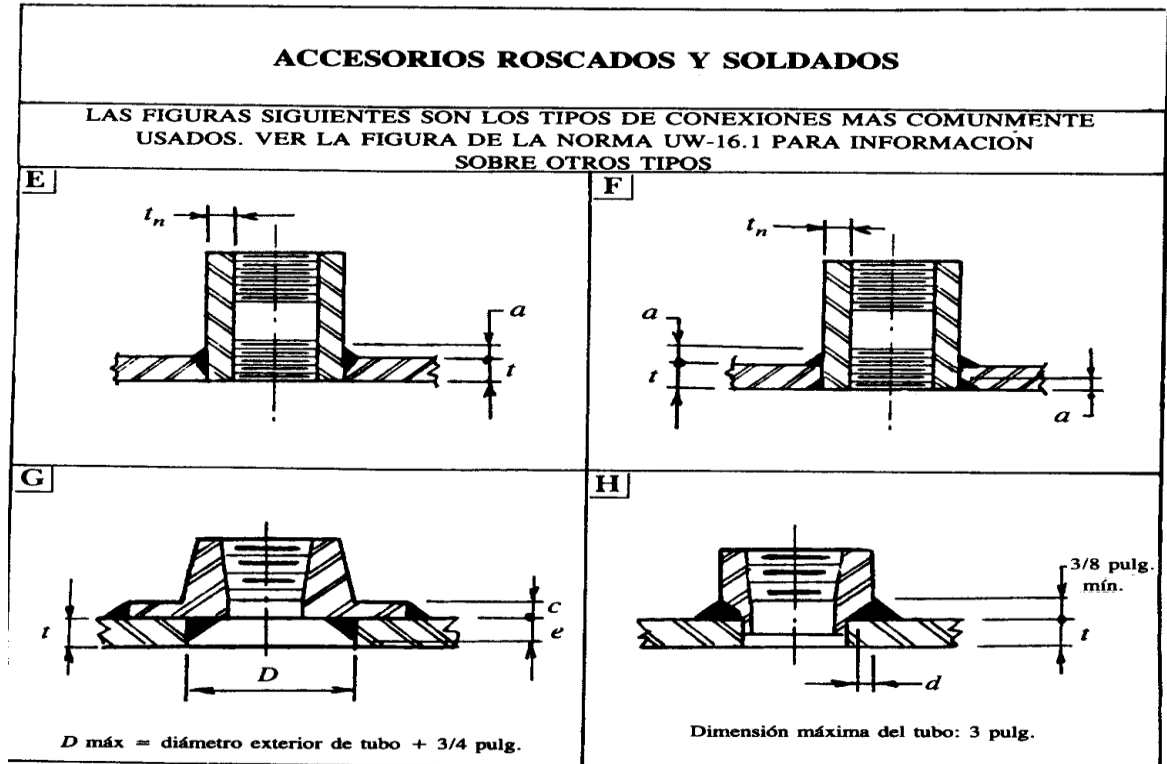
Fuente: Eugene F. Megyesy, Manual de recipientes a presión.



## ANEXO 18

### ACCESORIOS ROSCADOS Y SOLDADOS

103



VER NOTACION EN LA PAGINA ANTERIOR

#### NOTAS

#### CONEXIONES PARA DIAMETRO DE TUBERIA QUE NO PASE DE 3 PULG.

En algunos casos no es necesario que las soldaduras tengan un tamaño determinado, o bien, las conexiones y soportes empernados pueden unirse a los recipientes mediante soldadura de filete colocada desde el exterior sólo con ciertas limitaciones (Norma UW-16 (f) (2) y (3)) como:

1. Espesor máximo del recipiente: 3/8 pulg.
2. El tamaño máximo del registro está restringido por el diámetro exterior de la tubería conectada más 3/4 pulg.
3. La garganta de la soldadura deberá ser mayor que el espesor mínimo del cuello de la boquilla indicado por la Norma UG-45(a) o el necesario para cumplir los requisitos de UW18 por las cargas aplicables de UG22, etc.

Los ahorros en soldadura serán más que compensados por el costo adicional de ingeniería.

Fuente: Eugene F. Megyesy, Manual de recipientes a presión

## ANEXO 19

### VOLUMEN DE CASCOS Y CABEZAS SEMIELÍPTICAS

402

<b>VOLUMEN DE CASCOS Y CABEZAS</b>								
D.I. del recipiente, pulg	CASCO cilíndrico/pie lineal				CABEZA ELIP. 2:1*			
	Pies cúbicos	Gal.	Barriles	Peso del agua, lb	Pies cúbicos	Gal.	Barriles	Peso del agua, lb
12	0.8	5.9	0.14	49	0.1	0.98	0.02	8.17
14	1.1	8.0	0.19	67	0.2	1.55	0.04	12.98
16	1.4	10.4	0.25	87	0.3	2.32	0.06	19.37
18	1.8	13.2	0.31	110	0.4	3.30	0.08	27.58
20	2.2	16.3	0.39	136	0.6	4.53	0.11	37.83
22	2.6	19.7	0.47	165	0.8	6.03	0.14	50.35
24	3.1	23.5	0.56	196	1.0	7.83	0.19	65.37
26	3.7	27.6	0.66	230	1.3	9.96	0.24	83.11
28	4.3	32.0	0.76	267	1.7	12.44	0.30	103.8
30	4.9	36.7	0.87	306	2.0	15.30	0.36	127.7
32	5.6	41.8	0.99	349	2.5	18.57	0.44	155.0
34	6.3	47.2	1.12	394	3.0	22.27	0.53	185.9
36	7.1	52.9	1.26	441	3.5	26.47	0.63	220.1
38	7.9	58.9	1.40	492	4.2	31.09	0.74	259.5
40	8.7	65.3	1.55	545	4.8	36.27	0.86	302.6
42	9.6	72.0	1.71	601	5.6	41.98	1.00	350.4
48	12.6	94.0	2.24	784	8.4	62.67	1.49	523.0
54	15.9	119.0	2.83	993	11.9	89.23	2.12	744.6
60	19.6	146.9	3.50	1226	16.3	122.4	2.91	1021
66	23.8	177.7	4.23	1483	21.8	162.9	3.88	1360
72	28.3	211.5	5.04	1765	28.3	211.5	5.04	1765
78	33.2	248.2	5.91	2071	35.9	268.9	6.40	2244
84	38.5	287.9	6.85	2402	44.9	335.9	8.00	2802
90	44.2	330.5	7.87	2758	55.2	413.1	9.84	3447
96	50.3	376.0	8.95	3138	67.0	501.3	11.94	4184
102	56.7	424.4	10.11	3542	80.3	601.4	14.32	5018
108	63.6	475.9	11.33	3971	95.4	713.8	17.00	5957
114	70.9	530.2	12.62	4425	112.2	839.5	20.00	7006
120	78.5	587.5	13.99	4903	130.9	979.2	23.31	8171
126	86.6	647.7	15.42	5405	151.5	1134	27.00	9459
132	95.0	710.9	16.93	5932	174.2	1303	31.03	10876
138	103.9	777.0	18.50	6484	190.1	1489	35.46	12428
144	113.1	846.0	20.14	7060	226.2	1692	40.29	14120

\*No está incluido en volumen comprendido dentro de la brida plana.

Fuente: Eugene F. Megyesy, Manual de recipientes a presión

## ANEXO 20

### FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ACTIVADO



#### FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO SUPER GRANULAR CAG-1000

##### CARACTERÍSTICAS

El Carbón CAG-1000 es un carbón activado granulado vegetal 100% orgánico y biodegradable, producido a partir de la cáscara de coco y activado física con vapor seco de agua. Se presenta en granos de color negro insolubles en agua. El producto presenta una alta densidad y resistencia a la abrasión facilitando procesos que necesitan de regeneración sucesiva. Las distribuciones de partículas fornecidas son seleccionadas para proporcionar elevadas tasas de adsorción y bajas resistencias al flujo.

##### APLICACIÓN

El Carbón CG-1000 es de alto rendimiento y desempeño en aplicaciones en fase líquida como el tratamiento de agua, anterior a columnas de desmineralización, tratamiento de agua en filtros industriales y domésticos, embotelladora, agua potable y de proceso. En la remoción de compuestos orgánicos, remoción de cloro, sabor y olor, tratamiento de efluentes en la fase de pulimento, también es usado satisfactoriamente en procesos de adsorción de Dioxinas y recuperación de solventes como el tratamiento de glicerina, en la adsorción de oro, carbonato de sodio y éter entre otros. En granulometrias más grandes (4x10, 6x12, 12X20 y 8x30) para tratamiento de gases en general, recuperación de disolventes, tratamiento del aire, adsorción de alcohol, purificación de CO<sub>2</sub>, entre otros.

##### ESPECIFICACIONES

Densidad: 450-500 Kg/m<sup>3</sup> (Bulk density ASTM 2854)  
Area Superficial: 900-1000 m<sup>2</sup>/gr (Specific Surface Area-N<sub>2</sub> BET Method)  
Índice de Yodo: 900-1000 mgI<sub>2</sub> C.A. (Iodined Number - JIS)  
Tamaño: 4 x 8 mesh (4,69 - 2,36 mm)  
Empaque: fundas termoselladas de 12.5 Kg y empacadas en cartón reciclado Kraft de 25Kg.

##### PRECAUCIONES

El Carbón Activado no es un producto peligroso; sin embargo, cuando se encuentra pulverizado debe utilizarse protección respiratoria y gafas de seguridad. Evitar almacenar producto en lugares con humedades por debajo de 8% (humedad del producto) para evitar la auto combustión.



[www.erafi.com](http://www.erafi.com)

**ERAFI S.A. - ECUADOR**

593-2-2415894

*Copia no controlada*

ERAFI S.A. - ECUADOR

## ANEXO 21

### FICHA TÉCNICA DE LAS MEMBRANAS DE OSMOSIS REVERSA

#### Toray TMG20-430 Membrane Elements

TORAY first began producing Reverse Osmosis spiral wound membrane elements in 1967, starting with cellulose acetate membrane elements. Today, our product line includes a full range of state-of-the-art polyamide composite membranes manufactured under ISO-9001 certification.

The Toray TMG20-430 ultra low pressure, high productivity and low pressure RO element for brackish water applications



#### Features:

TME Product number	<b>TMG20-430</b>
Article No. Manufacturer	<b>TMG20-430</b>
Brand	<b>Toray</b>
Membrane Manufacturer Type	<b>Toray TM 8"</b>
Membrane type	<b>Reverse Osmosis</b>
Membrane material	<b>Polyamide Composite</b>

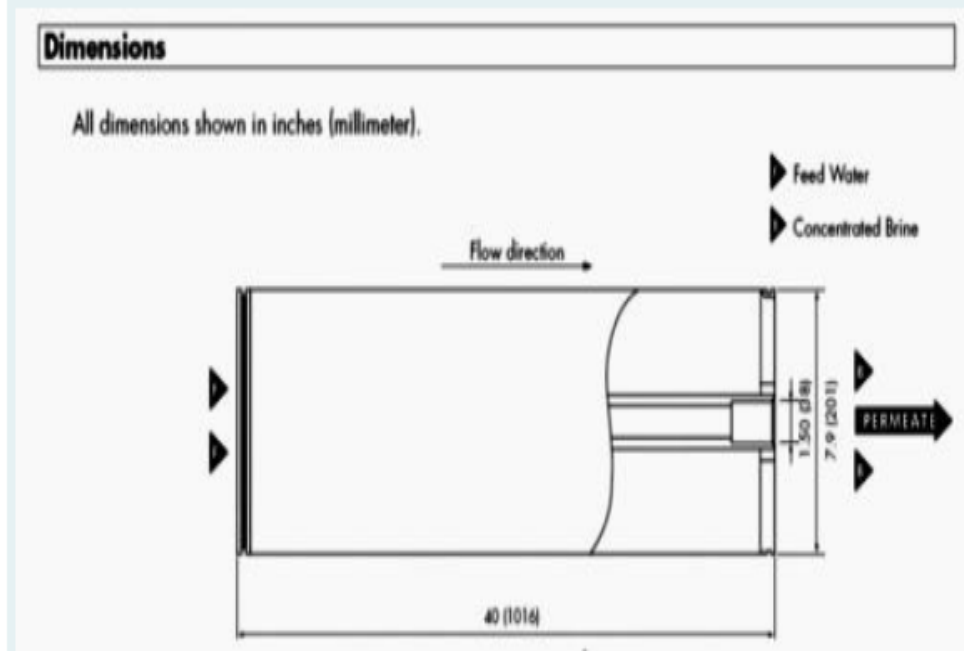
#### Specifications:

Boron Rejection SW @ pH 8 & 5 ppm Feed	%
Membrane Area	<b>430 ft<sup>2</sup></b>
Minimum Rejection	<b>99 %</b>
Minimum Permeate flow	<b>33.3 m<sup>3</sup>/d</b>
Membrane Preservation	<b>1000 ppm Sodiumbisulfite Solution</b>
Boron Rejection BW @ pH 10 & 5 ppm Feed	%
Feed Spacer thickness	<b>mil</b>
Permeate flow	<b>41.6 m<sup>3</sup>/d</b>
Rejection	<b>99.5 %</b>

#### Dimensions:

Membrane Diameter	8.0 "
Length	40 "
Permeate tube diameter	1.500 "
Connection Type	ND

### Technical Drawing



### Operating Limits

Membrane Type.....	Thin-Film Composite
Maximum Operating Temperature .....	113°F (45°C)
Maximum Sanitization Temperature (@ 25 psig).....	185°F (85°C)
Maximum Operating Pressure.....	600 psig (41 bar)
Maximum Pressure Drop.....	15 psig (1.0 bar)
Maximum Feed Turbidity.....	1 NTU
Free Chlorine Tolerance.....	Below Detectable Limit
pH Range, Continuous Operation .....	3-10
pH Range, Short-Term Cleaning (30 min)* .....	1-12
Maximum Feed Silt Density Index .....	SDI 5

\* Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010/CH 172-086-E.

## ANEXO 22

### NORMALIZACIÓN DE BRIDAS

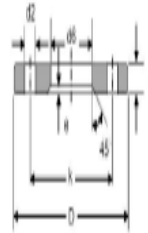
#### brida din-2655 pn-25

##### Características:

Tubo ISO/DIN Milimétrico Brida DIN-2641 PN-6 En 1092-1-01 PN 6 Brida DIN-2642 PN-10 En 1092-1-01 PN 6 Acero Inoxidable AISI-304L Acero Inoxidable AISI-316L Acero Cermiada Aluminio

##### Instalación:

La cara de la brida no sella contra la empaquetadura sino que es la cara del stub-end o la valona, la que entra en contacto y sella contra la empaquetadura. Ambas bridas en una unión son iguales.



#### brida din-2655 pn-25



#### brida din-2655 pn-25



## BRIDA DIN-2655 PN-25

	Tubo		d6	Brida				Tornillo		Peso Kg/u
	ISO	DIN		D	b	k	e	Cantidad	d2	
10		14	16	90	16	60	5	4	14	0.70
17,20		19	90	16	60	5	4	14	0.69	
15		18	22	95	16	65	5	4	14	0.77
21,30		24	95	16	65	5	4	14	0.76	
20		23	28	105	16	75	5	4	14	0.93
26,9		30	105	16	75	5	4	14	0.92	
25		28	33	115	18	85	6	4	14	1.26
33,7		36	115	18	85	6	4	14	1.24	
32		38	42	140	18	100	6	4	18	1.84
42,4		46	140	18	100	6	4	18	1.80	
40		43	50	150	18	110	6	4	18	2.08
48,3		54	150	18	110	6	4	18	2.03	
50		53	62	165	20	125	6	4	18	2.72
60,3		65	165	20	125	6	4	18	2.68	
65		73	81	185	20	145	6	8	18	3.09
76,1		81	185	20	145	6	8	18	3.09	
80		84	94	200	22	160	6	8	18	3.88
88,9		94	200	22	160	6	8	18	3.88	
100		104	113	235	22	190	6	8	22	5.23
114,3		119	235	22	190	6	8	22	5.04	
125		129	138	270	24	220	6	8	26	7.17
139,7		145	270	24	220	6	8	26	6.88	
150		154	164	300	24	250	6	8	26	8.54
168,3		173	300	24	250	6	8	26	8.09	
200		204	225	360	26	310	8	12	26	11.00
219,1		225	360	26	310	8	12	26	11.00	
250		254	273	425	30	370	8	12	30	17.00
273,0		279	425	30	370	8	12	30	17.00	
300		304	329	485	34	430	8	16	30	23.00
323,9		329	485	34	430	8	16	30	23.00	
350		354	362	555	38	490	8	16	33	37.00
355,6		374	555	38	490	8	16	33	35.00	
400		406	413	620	42	550	8	16	36	50.00
406,4		426	620	42	550	8	16	36	47.00	
500		506	517	730	50	660	8	20	36	73.00
508		517	730	50	660	8	20	36	73.00	

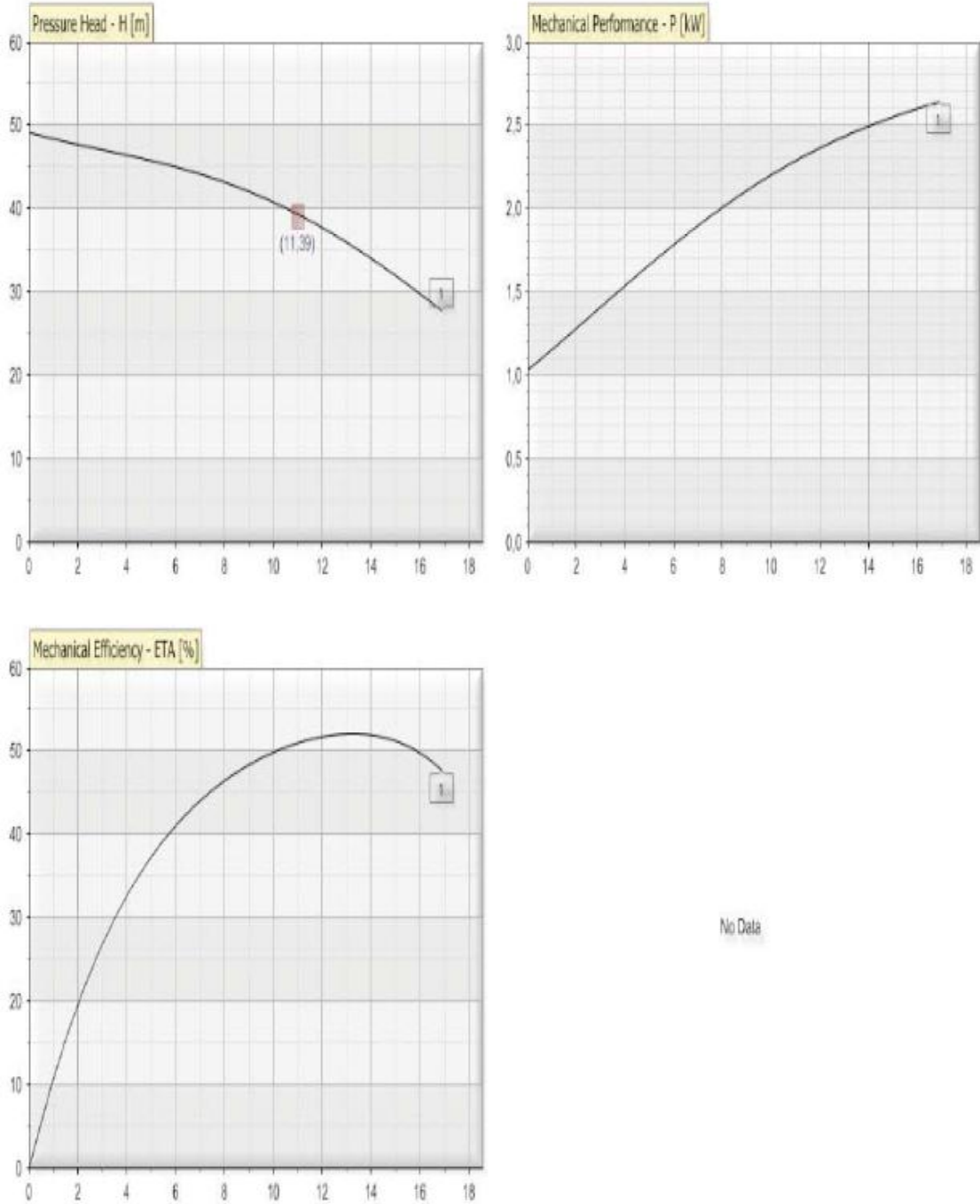
<http://brida/Bridas.mht>



## ANEXO 23

### CURVA DE RENDIMIENTO BOMBA N° 2

1.: HYGIANA I/2 32/25/4/2 - 1303 GB (110 mm) - Operating data: 3450 Rpm - 60 Hz



ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.

## ANEXO 24

### FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA N° 2

HILGE end suction stainless steel pump, Cr-Ni-Mo steel

HYGIANA 1/2 Bloc 32/25/4/2

**Execution:**

Hygienic Standard

All wet end parts in AISI 316L (1.4404/1.4435), Ra ≤ 3.2 µm

**Design:**

horizontal, multi stage pump in Bloc version with motor

Installation: on motor foot

Painting: RAL 5010

**Performance:**

Q = , H =

**Medium:**

Viscosity: , Density:

Temperature: , Concentration:

**Impeller(s):**

closed impeller 1303

Shaft seal: single mechanical seal

hard carbon / stainless steel / EPDM

Elastomere: EPDM

**Connections:**

Diameter DNE 32

Diameter DNA 25

Connection DNE: DIN 11851 Threaded Male

Connection DNA: DIN 11851 Threaded Male

Position DNE/DNA: axial/tangential top, 12:00 o'clock

**Materials:**

Casing/casing parts: AISI 316L - 1.4404

Impeller(s): AISI 316L - 1.4404

Shaft: 1.4571 - AISI 316TI (product contacted part)

Bearing bracket/Lantern: cast iron - GG 20

Motor: three-phase motor with PTC thermistor

Size: 112M

Vendor: our choice

Performance: 4 kW

Speed: 3450 1/min

Voltage: 220VD/380VY (± 10%)

Frequency: 60 Hz

Protection class: IP55

Efficiency class: IE2

Iso-class.: F

Design: IM B35 - flange motor on motor foot

Terminal box position: on top, 12:00 o'clock

Ex protection: w/o

Rated voltage: 220 V

**Test bed acceptance:**

Performance acceptance test following EN ISO 9906, appendix A, Class 2

**Documents:**

Pump test report,

Operating manual,

Declaration of CE conformity

A service kit with original HILGE spare parts is available for this pump,  
which is not included in delivery of the pump!

**Kit for liquid contact seals (1-3 stages):**

- 1 pc. mechanical seal

- 3 pc. o-ring(s) for casing

- 1 pcs. o-ring(s) for impeller and impeller nut

You can order this kit from GRUNDFOS with part number 95085535.

ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A.

## ANEXO 25

### FICHA TÉCNICA DEL SENSOR DE TEMPERATURA (PT 100)



#### SENSOR DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA

**PT-100**

- Resistencia de Platino
- Resistencia 100Ω a 0°C
- Vaina EN SS316
- Aplicación en procesos de producción de Alimentos, medición ambiental e industrial
- Dimensiones a pedido



El sensor PT-100 es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de Platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico.

El material que forma el conductor(platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia  $\alpha$ , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

Donde:

$R_0$  = resistencia en  $\Omega$ (ohms) a 0°C

$R_t$  = resistencia en  $\Omega$ (ohms) a t°C

t = temperatura actual

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de 0.003850  $\Omega/(1/\Omega) \times (1/^\circ\text{C})$  en la escala Práctica de Temperaturas Internacionales(IPTS-68).

A continuación se despliegan las características el Platino comparadas con otros materiales:

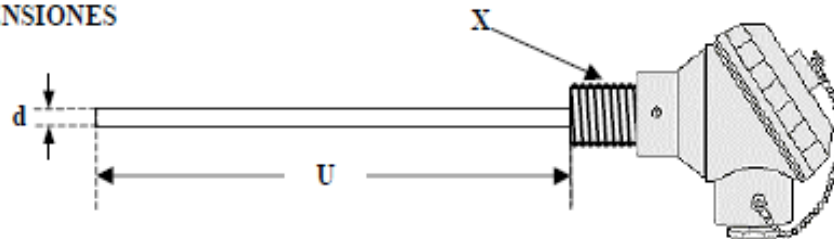
Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coefficiente de t° $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de temp $^\circ\text{C}$	Resist a 0°C $\Omega$	Precisión $^\circ\text{C}$
Platino	9.83	0.003850	-200 a 950	25, 100, 130	0.01
Niquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-15 a 300	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	10	0.10



**Leandro N. Alem 1351/53**  
**-(1871)- Dock Sud**  
**Buenos Aires - Argentina**  
**T.E.: 4201-5316 / 4222-9821**  
**FAX: 4222-9821**  
**Web: www.ingecozs.com**

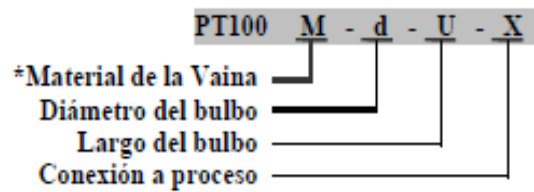
1

**DIMENSIONES**



Donde:  
 d = diámetro del bulbo  
 U = largo del bulbo

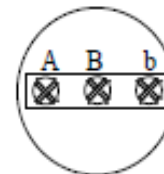
**Método de Especificación:**



**Ejemplo:** PT100 -SS316-6-100-1/2"NPTM, representa a un sensor PT100 de Acero Inoxidable 316, diámetro del bulbo 6mm, largo del bulbo 100mm y conexión a proceso 1/2" NPT Macho.

**CONEXIONADO**

CABLE	SEÑAL
A	RTD
B	RTD
b	COMPENSACION



## ANEXO 26

### FICHA TÉCNICA DEL MEDIDOR DE NIVEL

Hoja de datos del producto

**VEGA**

## VEGAPULS 63

4 ... 20 mA/HART - dos hilos

Sensor de radar para la medición continua de nivel de líquidos



#### Datos técnicos

Rango de medida hasta	35 m (114.8 ft)
Error de medición	±2 mm
Conexión a proceso	Conexiones higiénicas, uniones roscadas, bridas a partir de DN 50, 2"
Presión de proceso	-1 ... +16 bar/-100 ... +1600 kPa (-14.5 ... +232 psig)
Temperatura de proceso	-200 ... +200 °C (-328 ... +392 °F)
Temperatura ambiente, de almacenamiento y de transporte	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)
Tensión de trabajo	9,6 ... 36 V DC
Calificación SIL	hasta SIL2

#### Materiales

Las piezas del equipo en contacto con el medio están hechas de PTFE, PFA o PVDF. El sello de proceso de FKM o EPDM.

Un resumen completo de todos los materiales y juntas disponibles se encuentran en el "configurador" en nuestra página principal en [www.vega.com/configurador](http://www.vega.com/configurador).

#### Versiones de carcasas

Las carcasas se pueden suministrar en versiones de una o dos cámaras de material plástico, acero inoxidable o aluminio. Las mismas están disponibles en los grados de protección IP 68 (1 bar).

#### Versiones electrónicas

Los equipos están disponibles en diferentes versiones electrónicas. Además de la versión HART de 4 ... 20 mA con dos o cuatro hilos, también son posibles versiones digitales con protocolo Profibus PA, Foundation Fieldbus y Modbus. Hay disponible otra versión HART con acumulador integrado.

#### Homologaciones

Los equipos están homologados para el empleo en áreas bajo riesgo de explosión p. Ej. según ATEX e IEC. Los equipos tienen además diferentes homologaciones náuticas p. Ej. GL, LRS o ABS. Informaciones detalladas sobre las homologaciones disponibles se encuentran en el "configurador" en nuestra página principal en [www.vega.com/configurador](http://www.vega.com/configurador).

#### Campo de aplicación

VEGAPULS 63 es un sensor radar para la medición continua de nivel de líquidos agresivos o para requisitos higiénicos. Es adecuado para aplicaciones en tanques de almacenaje, depósitos de proceso, depósitos de dosificación y reactores. El sistema de antenas encapsulado VEGAPULS 63 protege contra suciedad y garantiza un régimen continuo sin mantenimiento. El montaje frontal garantiza una limpieza óptima incluso para requisitos higiénicos elevados.

#### Ventajas

- Medición sin contacto
- Gran disponibilidad de instalación gracias a la ausencia de desgaste y de mantenimiento
- Resultados exactos de medición independientemente de las condiciones de proceso

#### Función

Impulsos de microondas extremadamente cortos son emitidos por el sistema de antenas sobre el producto a medir, reflejados por la superficie del producto y captados nuevamente por el sistema de antenas. El tiempo desde la transmisión hasta la recepción de la señal es proporcional al nivel en el depósito.

Un proceso especial de prolongación del tiempo posibilita la medición precisa y segura de los tiempos extremadamente cortos.

INTELWARE S.A.

## ANEXO 27

### TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE

<b>Tabla II</b>							
<b>Dimensiones de Tubing Comercial</b>							
<b>Diámetro Nominal</b>	<b>Diámetro Externo</b>		<b>Diámetro Interno</b>		<b>Espesor de pared</b>		
	<b>pulg</b>	<b>mm</b>	<b>pulg.</b>	<b>mm</b>	<b>Cal. BWG</b>	<b>pulg</b>	<b>mm</b>
1/2"	0.500"	12.70	0.370"	9.40	16	0.065"	1.65
3/4"	0.750"	19.05	0.620"	15.75	16	0.065"	1.65
1"	1.000"	25.40	0.870"	22.10	16	0.065"	1.65
1 1/2"	1.500"	38.10	1.370"	34.80	16	0.065"	1.65
2"	2.000"	50.80	1.870"	47.50	16	0.065"	1.65
2 1/2"	2.500"	63.50	2.370"	60.20	16	0.065"	1.65
3"	3.000"	76.20	2.870"	72.90	16	0.065"	1.65
4"	4.000"	101.60	3.834"	97.38	14	0.083"	2.11
6"	6.000"	152.40	5.782"	146.86	12	0.109"	2.77
8"	8.000"	203.20	7.782"	197.66	12	0.109"	2.77

[http://www.Tubos acero inoxidable tubería farmacéutica ASME BPE 316L Importadora y Exportadora Las Américas.mht](http://www.Tubos%20acero%20inoxidable%20tubería%20farmacéutica%20ASME%20BPE%20316L%20Importadora%20y%20Exportadora%20Las%20Américas.mht)

## CATÁLOGO VÁLVULA 2/2 VÍAS GEMÜ 687

**GEMÜ®****Válvula de diafragma,  
cuerpo metálico****Construcción**

La válvula de diafragma de 2/2 vías GEMÜ 687, accionada neumáticamente, dispone de un actuador de bajo mantenimiento. Se pueden elegir las siguientes funciones de mando: „Normal cerrado“, „Normal abierto“ y „Doble efecto“.

**Características**

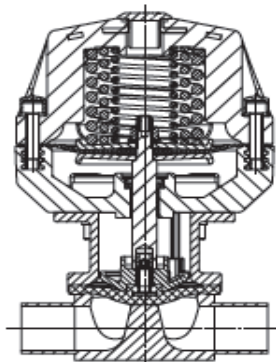
- Apta para medios neutros, corrosivos\*, líquidos y gaseosos
- Actuador resistente a sustancias químicas
- Cuerpo en acero inoxidable apto para esterilización y limpieza CIP / SIP
- Resistente a medios con partículas en suspensión
- Cuerpo de la válvula y diafragmas están disponibles en diversos materiales y diseños
- Disponible en diferentes tipos de conexión
- Acabado superficial hasta 0,25 µm, electropulido
- Versiones según normativa ATEX bajo demanda

**Ventajas**

- Al ser un sistema modular permite gran variedad de opciones como válvulas de fondo tanque, válvulas T, válvulas toma de muestras, válvulas multivía y configuraciones soldadas
- Apta para cualquier dirección de flujo, la válvula cierra en ambas direcciones de flujo hasta la presión máxima de trabajo
- Apta para cualquier posición de montaje
- Accesorios opcionales:
  - Limitador de carrera
  - Indicador óptico de posición
  - Mando manual de emergencia (GEMÜ 1002, GEMÜ 1004)
  - Electroválvula de pilotaje con mando manual de emergencia (GEMÜ 0322 - 0326)
  - Indicadores eléctricos de posición

\*véase información del fluido en la página 2

Dibujo seccional

**GEMÜ® 687**



## Datos técnicos

### Fluido

Medios neutros o corrosivos, gaseosos o líquidos, que no incidan negativamente en las propiedades mecánicas y químicas del cuerpo y diafragma.

Temperatura de trabajo máx. 150 °C  
(dependiendo de los materiales en contacto con el fluido)

### Volumen de llenado (función de mando 1)

Tamaño de actuador B/N	0,023 dm <sup>3</sup>
Tamaño de actuador 1/N	0,150 dm <sup>3</sup>
Tamaño de actuador 2/N	0,350 dm <sup>3</sup>
Tamaño de actuador 3/N	1,100 dm <sup>3</sup>
Tamaño de actuador 4/N	2,500 dm <sup>3</sup>

### Fluido de mando

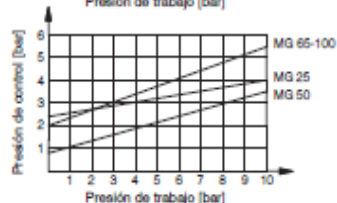
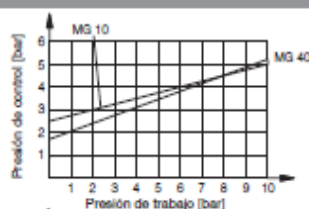
Gases neutros

Temperatura máxima del fluido de mando 40 °C

### Condiciones ambientales

Temperatura ambiente máx. 60 °C

### Funciones de mando 2 + 3



Los valores de medición corresponden a la función de mando 2 (con resorte de apertura).  
En la función de mando 3 DN 15 - 25 (sin resorte de apertura) las presiones de control correspondientes están aprox. a 1,5 bar por debajo.  
En la función de mando 3 DN 32 - 100 (sin resorte de apertura) las presiones de control correspondientes están aprox. a 1 bar por debajo.

MG	DN	Función de mando 1			Función de mando 2			Función de mando 3		
		Presión de trabajo [bar] / Material del diafragma	PTFE	Presión de control [bar]	Presión de trabajo [bar] / Material del diafragma	PTFE	Presión de control [bar]	Presión de trabajo [bar] / Material del diafragma	PTFE	Presión de control [bar]
10	10	10	6	3,5 - 7,0	10	6	máx. 5,5 bar	10	6	máx. 5,5 bar
	15									
	20									
25	15	10	6	5,5 - 7,0	10	6	Valores véase diagrama	10	6	Valores véase diagrama
	20									
40	32	10	6	5,5 - 7,0	10	6	Valores véase diagrama	10	6	Valores véase diagrama
	40									
50	50	10	6	5,5 - 7,0	10	6	Valores véase diagrama	10	6	Valores véase diagrama
	50									
80	65	8	5	5,0 - 7,0	8	6	Valores véase diagrama	8	6	Valores véase diagrama
	80									
100	100	6	4	5,5 - 7,0	6	4	Valores véase diagrama	6	4	Valores véase diagrama

Todos los valores de presión de trabajo están indicados en bar - sobrepresión. Una presión estática unilateral con la válvula cerrada se empleó para determinar la presión máxima de trabajo. La hermeticidad del asiento de la válvula y la hermeticidad atmosférica está asegurada para los valores indicados. Presiones de trabajo para presión bilateral y fluidos de alta pureza están disponibles bajo demanda. Presiones de trabajo superiores bajo demanda. MG = tamaño de diafragma

### Valores Kv [m<sup>3</sup>/h]

MG	DN	DIN Código 0	DIN 11850 Serie 1 Código 16	DIN 11850 Serie 2 Código 17	DIN 11850 Serie 3 Código 18	SMS 3008 Código 37	ASME BPE Código 59	EN ISO 1127 Código 60
10	10	-	2,4	2,4	2,4	-	2,2	3,3
	15	3,3	3,8	3,8	3,8	-	2,2	4,0
	20	-	-	-	-	-	3,8	-
25	15	4,1	4,7	4,7	4,7	-	-	7,4
	20	6,3	7,0	7,0	7,0	-	4,4	13,2
	25	13,9	15,0	15,0	15,0	12,6	12,2	16,2
40	32	25,3	27,0	27,0	27,0	26,2	-	30,0
	40	29,3	30,9	30,9	30,9	30,2	29,5	32,8
50	50	46,5	48,4	48,4	48,4	51,7	50,6	55,2
80	65	-	-	77,0	-	68,5	68,5	96,0
	80	-	-	111,0	-	80,0	87,0	111,0
100	100	-	-	194,0	-	173,0	188,0	214,0

Valores de Kv determinados según la norma IEC 534, presión de entrada 6 bar, Ap 1 bar, material del cuerpo de la válvula en acero inoxidable y diafragma de elastómero blando.



### Datos de pedido

Forma del cuerpo	Código	Material del cuerpo de la válvula	Código
Cuerpo fondo tanque	B**	EN-GJS-400-18-LT (GGG 40.3) fundición nodular con recubrimiento interior en PFA	17
Paso recto dos vías	D	EN-GJS-400-18-LT (GGG 40.3) fundición nodular con recubrimiento interior en PP	18
Versión multivía	M**	1.4435 - BN2 (CF3M) - microfusión Fe<0,5%	32
Cuerpo en T	T*	1.4435 (ASTM A 351 CF3M ± 316L), microfusión	34
* Dimensiones: véase folio de válvulas en T		1.4408, microfusión	37
** Dimensiones y diseños bajo demanda o según deseos del cliente		1.4408, recubrimiento interior en PFA	39
		1.4435 (316L), cuerpo forjado	40
		1.4435 (BN2), cuerpo forjado Fe<0,5%	42
		EN-GJS-400-18-LT (GGG 40.3), recubrimiento interior en ebonita	83
Tipo de conexión	Código	Material del diafragma	Código
<b>Soldadura</b>		FPM	4
Tubo p/soldar DIN	0	EPDM máx. 130°C*	12
Tubo p/soldar DIN 11850, serie 1	16	EPDM máx. 150°C*	13
Tubo p/soldar DIN 11850, serie 2	17	EPDM máx. 150°C*	16
Tubo p/soldar DIN 11850, serie 3	18	EPDM máx. 150°C*	17
Tubo p/soldar DIN 11866, serie A	1A	PTFE/EPDM convexo, PTFE suelto	máx. 150°C* 5E
Tubo p/soldar DIN 11866, serie B	1B	PTFE/FPM convexo, PTFE suelto	máx. 150°C* 5F
Tubo p/soldar JIS-G 3447	35	PTFE/EPDM, PTFE laminado	máx. 150°C* 52
Tubo p/soldar JIS-G 3459	36	Para compatibilidades véase cuadro resumen página 8	
Tubo p/soldar SMS 3008	37	*Temperatura esterilización vapor / 20 min	
Tubo p/soldar BS 4825, parte 1	55	El material cumple con los requerimientos de la FDA, excepto los códigos 4 y 5F	
Tubo p/soldar ASME BPE	59	La combinación de recubrimientos en PFA con diafragmas 5E es solo parcialmente adecuada para fluidos gaseosos. Si se requiere un cierre hermético para gases, son preferibles otras combinaciones.	
Tubo p/soldar EN ISO 1127	60		
Tubo p/soldar ANSI/ASME B36.19M, Schedule 10s	63		
Tubo p/soldar ANSI/ASME B36.19M, Schedule 40s	65		
<b>Conexiones roscadas</b>		<b>Función de mando</b>	
Rosca hembra DIN ISO 228	1	Normal cerrado (NC)	1
Rosca macho DIN 11851	6	Normal abierto (NO)	2
Un lado con rosca macho, el otro con macho cónico y turca loca, DIN 11851	62	Doble efecto (DA)	3
Roscas sanitarias bajo demanda		<b>Tamaño de actuador</b>	
<b>Brida</b>		<b>Código</b>	
Brida EN 1092 / PN16 / forma B, longitud EN 558, serie 1, ISO 5752, serie básica 1	8	Tamaño de diafragma 10	B/N
Brida ANSI clase 125/150 RF longitud MSS SP-88	38	Tamaño de diafragma 25	1/N
Brida ANSI clase 125/150 RF longitud EN 558, serie 1 ISO 5752, serie básica 1	39	Tamaño de diafragma 40	2/N
<b>Conexiones Clamp</b>		Tamaño de diafragma 50	3/N
Clamp ASME BPE para tubo ASME BPE, versión corta	80	Tamaño de diafragma 80	4/N
Clamp DIN 32676 serie B para tubo EN ISO 1127, longitud EN 558, serie 7	82	Tamaño de diafragma 100	5/N
Clamp ASME BPE para tubo ASME BPE, longitud EN 558, serie 7	88	<b>Acabado superficial</b>	
Clamp DIN 32676 para tubo DIN 11850, longitud EN 558, serie 7	8A	<b>Código</b>	
Clamp SMS 3017 para tubo SMS 3008, longitud EN 558, serie 7	8E	Véase página 4	
Clamp sanitaria bajo demanda			
Cuadro resumen de los cuerpos de la válvula GEMÜ 687 véase la página 8			

Ejemplo de pedido	687	25	D	60	34	13	1	1/N	1503
Tipo	687								
Diámetro nominal		25							
Forma del cuerpo (código)			D						
Tipo de conexión (código)				60					
Material del cuerpo de la válvula (código)					34				
Material del diafragma (código)						13			
Función de mando (código)							1		
Tamaño de actuador (código)								1/N	
Acabado superficial (código)									1503

Acabado superficial del cuerpo de las válvulas, superficie interior		Código
Ra ≤ 6,3 µm	Chorroado interior/externo	1500*
Ra ≤ 6,3 µm	Electropulido interior/externo	1509*
Ra ≤ 0,8 µm	Pulido mecánico interior/chorroado exterior	1502
Ra ≤ 0,8 µm	Electropulido interior/externo	1503
Ra ≤ 0,6 µm	Pulido mecánico interior/chorroado exterior	1507
Ra ≤ 0,6 µm	Electropulido interior/externo	1508
Ra ≤ 0,4 µm	Pulido mecánico interior/chorroado exterior	1536
Ra ≤ 0,4 µm	Electropulido interior/externo	1537
Ra ≤ 0,25 µm	Pulido mecánico interior/chorroado exterior	1527
Ra ≤ 0,25 µm	Electropulido interior/externo	1516

Ra según DIN 4768; medido en puntos de referencia definidos \* solo disponible en microfusión  
 Los datos sobre acabado superficial se refieren a las partes en contacto con el fluido

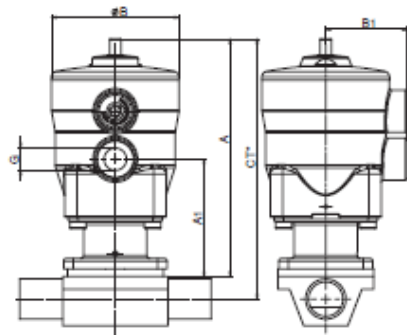
Dimensiones del actuador - Función de mando 1 [mm]							
MG	Tamaño de actuador	ø B	B1	A	A1	G	Macca [kg]
10	B/N	67	44	125	62	G 1/4	0,53
25	1/N	128	-	152	66	G 1/4	2,00
40	2/N	158	-	187	86	G 1/4	3,90
50	3/N	213	-	221	97	G 1/4	7,00
80	4/N	259	-	332	172	G 1/4	15,00
100	5/N	259	-	328	169	G 1/4	16,10

MG = tamaño de diafragma

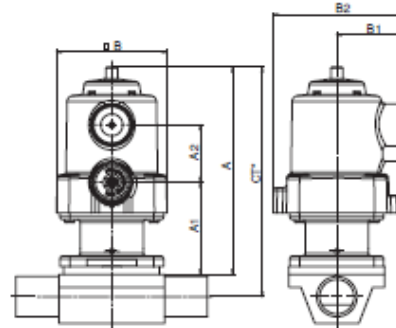
Dimensiones del actuador - Función de mando 2 + 3 [mm]								
MG	Tamaño de actuador	ø B	A	A1	A2	B1	B2	G
10	B/N	57	110	49	30	35	68	G 1/4
25	1/N	128	117	66	28	-	-	G 1/4
40	2/N	158	143	84	27	-	-	G 1/4
50	3/N	213	167	96	28	-	-	G 1/4
80	4/N	258	282	170	45	-	-	G 1/4
100	5/N	258	278	165	45	-	-	G 1/4

MG = tamaño de diafragma

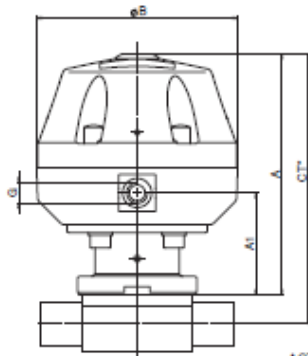
Función de mando 1 - Tamaño de diafragma 10



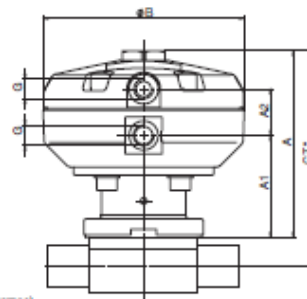
Función de mando 2+3 - Tamaño de diafragma 10



Función de mando 1 - Tamaño de diafragma 25 - 100



Función de mando 2+3 - Tamaño de diafragma 25 - 100



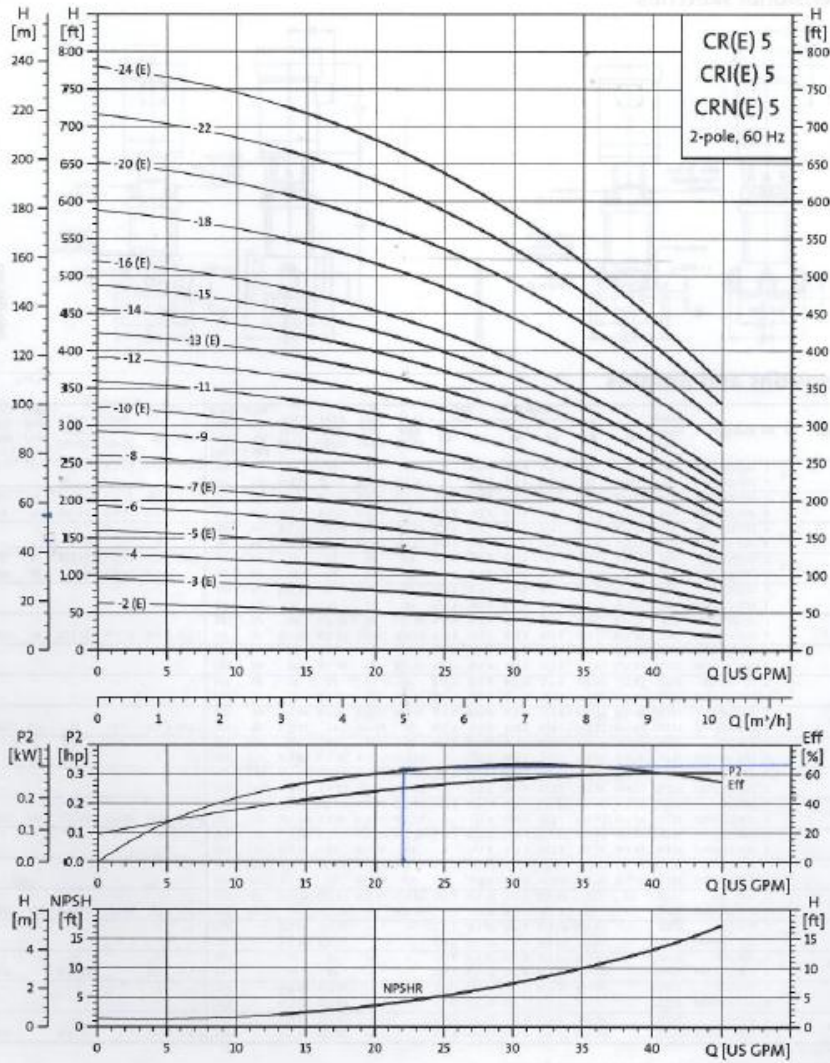
\* CT = A + H1 (véase Dimensiones de cuerpos)

# ANEXO 29

## CURVA DE RENDIMIENTO BOMBA CRN 5-6 (N° 1)

### Performance curves

CR(E) 5, CRI(E) 5, CRN(E) 5  
2-pole, 60 Hz



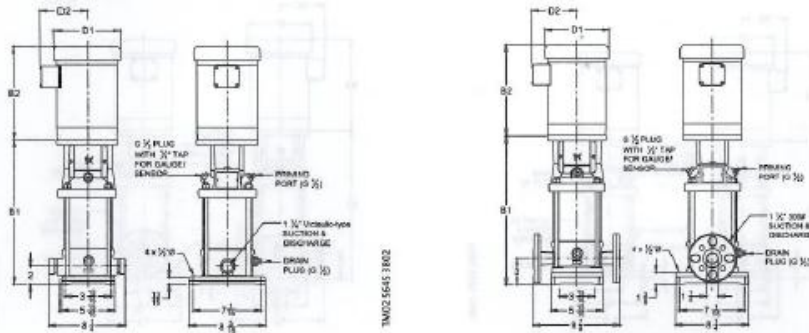
# ANEXO 30

## DATOS TÉCNICOS BOMBA CRN 5-6 (N° 1)

### Technical data

CRN(E) 5

#### Dimensional sketches



#### Dimensions and weights

Pump type	Hp	Ph	Voltage	NEMA Frame size	ODP				TEFC				PIE ODP B1+B2	PIE TEFC B1+B2	ANSI ODP B1+B2	ANSI TEFC B1+B2	PIE Ship Wt. <sup>1</sup> [lbs.]	ANSI Ship Wt. <sup>1</sup> [lbs.]	MLE		PIE MLE B1+B2	ANSI MLE B1+B2	PIE Ship Wt. <sup>1</sup> [lbs.]	ANSI Ship Wt. <sup>1</sup> [lbs.]	
					PIE B1	ANSI B1	D1	D2	D1	D2	D1	D2							D1	D2					
CRN(E) 5-2	3/4	1	115/208-230	56C	11 1/8	12 1/8	6 1/4	4 7/8	8 1/4	5	22 1/8	23 1/8	23 3/8	22 1/8	58	56	58	56	51/2	5 1/2	18 1/8	19 5/8	49	37	
				208-230/460	56C	11 1/8	12 1/8	6 1/4	4 7/8	8 1/4	5	20 5/8	20 1/2	21 5/8	21 1/2	48	56	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-3	1	3	115/208-230	66C	12 3/4	13 3/4	7 1/4	5 1/8	7 1/4	6	23 1/2	23 1/2	24 1/2	24 1/2	50	58	50	58	5 1/2	5 1/2	21 3/8	22 3/8	52	61	
				208-230/460	66C	12 3/4	13 3/4	7 1/4	5 5/8	7 1/4	6	21 3/4	21 1/2	22 3/4	22 1/2	50	58	7	6 5/8	23 5/8	24 5/8	65	74	-	-
CRN 5-4	1 1/2	3	115/208-230	66C	13 1/4	14 1/4	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	25	25	26	26	57	65	57	65	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	66C	13 1/4	14 1/4	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	24	24	25	25	57	65	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-5	1 1/2	3	115/208-230	66C	14 3/8	15 3/8	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	26 1/8	26 1/8	27 1/8	27 1/8	60	69	60	69	5 1/2	5 1/2	23 1/2	24 1/2	60	69	
				208-230/460	66C	14 3/8	15 3/8	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	25 1/8	25 1/8	26 1/8	26 1/8	60	69	7	6 5/8	25 1/8	26 1/8	71	81	-	-
CRN 5-6	2	3	115/208-230*	66C	15 3/8	16 3/8	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	27 1/8	28	28 1/8	29	63	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	66C	15 3/8	16 3/8	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	26 1/8	27 1/8	27 1/8	28 1/8	67	76	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-7	2	3	115/208-230	66C	16 1/2	17 1/2	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	28 1/4	29 1/8	29 1/4	30 1/8	70	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	66C	16 1/2	17 1/2	7 1/4	5 5/8	7 1/4	5 3/4	27 1/4	28 1/4	28 1/4	29 1/4	70	78	7 7/8	6 5/8	28	29	90	98	-	-
CRN 5-8	3	3	115/208-230	182TC	18 5/8	19 5/8	8 1/2	6 3/4	8 5/8	6 7/8	33 1/8	33 1/8	34 1/8	34 1/8	88	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	18 5/8	19 5/8	7 1/4	5 5/8	8 5/8	6 7/8	30	31 1/8	31	32 1/8	88	96	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN 5-9	3	3	115/208-230	182TC	19 5/8	20 5/8	8 1/2	6 3/4	8 5/8	6 7/8	34 1/8	34 1/8	35 1/8	35 1/8	89	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	19 5/8	20 5/8	7 1/4	5 5/8	8 5/8	6 7/8	31	32 1/8	32	33 1/8	89	97	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-10	3	3	115/208-230	182TC	20 3/4	21 3/4	8 1/2	6 3/4	8 5/8	6 7/8	35 1/4	35 1/4	36 1/4	36 1/4	90	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	20 3/4	21 3/4	7 1/4	5 5/8	8 5/8	6 7/8	32 1/8	33 1/4	33 1/8	34 1/4	90	98	7 7/8	6 5/8	34 1/8	35 1/8	104	113	-	-
CRN 5-11	5	3	208-230	182TC	21 3/4	22 3/4	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	37 1/8	37 1/8	38 1/8	38 1/8	97	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	21 3/4	22 3/4	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	35 7/8	37 3/4	36 7/8	38 3/4	97	103	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN 5-12	5	3	208-230	182TC	22 7/8	23 7/8	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	38 1/4	38 1/4	39 1/4	39 1/4	97	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	22 7/8	23 7/8	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	37	38 7/8	38	39 7/8	97	105	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-13	5	3	208-230	182TC	23 7/8	24 7/8	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	39 1/4	39 1/4	40 1/4	40 1/4	99	108	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	23 7/8	24 7/8	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	38	39 7/8	39	40 7/8	99	108	8 3/4	7 1/2	39 3/8	40 3/8	120	149	-	-
CRN 5-14	5	3	208-230	182TC	25	26	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	40 3/8	40 3/8	41 3/8	41 3/8	101	109	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	25	26	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	39 1/8	41	40 3/8	42	101	109	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN 5-15	5	3	208-230	182TC	26	27	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	41 3/8	41 3/8	42 3/8	42 3/8	101	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	26	27	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	40 1/8	42	41 3/8	43	103	111	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-16	5	3	208-230	182TC	27 3/8	28 1/8	10 5/8	7 3/8	10 5/8	7 1/2	42 1/2	42 1/2	43 1/2	43 1/2	104	112	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	182TC	27 3/8	28 1/8	7 1/4	5 5/8	8 1/2	6	41 1/4	43 1/8	42 1/4	44 1/8	104	112	8 3/4	7 1/2	42 5/8	43 5/8	144	153	-	-
CRN 5-18	7 1/2	3	208-230	213TC	29 5/8	30 5/8	10 3/8	8 1/8	10 1/4	7 1/2	45	45	46	46	137	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	213TC	29 5/8	30 5/8	10 3/8	8 1/8	10 1/4	8 1/8	45	45	46	46	137	144	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-20	7 1/2	1	208-230	213TC	31 3/4	32 3/4	10 3/8	8 1/8	10 1/4	7 1/2	47 1/8	47 1/8	48 1/8	48 1/8	139	147	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	213TC	31 3/4	32 3/4	10 3/8	8 1/8	10 1/4	8 1/8	47 1/8	47 1/8	48 1/8	48 1/8	139	147	8 3/4	7 1/2	47 1/4	48 1/4	157	165	-	-
CRN 5-22	7 1/2	1	208-230	213TC	33 7/8	34 7/8	10 3/8	8 1/8	10 1/4	7 1/2	49 1/4	49 1/4	50 1/4	50 1/4	142	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	213TC	33 7/8	34 7/8	10 3/8	8 1/8	10 1/4	8 1/8	49 1/4	49 1/4	50 1/4	50 1/4	142	150	-	-	-	-	-	-	-	-
CRN(E) 5-24	7 1/2	1	208-230	213TC	36	37	10 3/8	8 1/8	10 1/4	7 1/2	51 3/8	51 3/8	52 3/8	52 3/8	146	154	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				208-230/460	213TC	36	37	10 3/8	8 1/8	10 1/4	8 1/8	51 3/8	51 3/8	52 3/8	52 3/8	146	154	8 3/4	7 1/2	51 5/8	52 1/2	172	-	-	-

\*TEFC voltage is 115/230

<sup>1</sup> Weights based on pump with ODP motor (see price list for individual weights)

All dimensions in inches unless otherwise noted.



## ANEXO 31

### INFORMACIÓN TÉCNICA DE EDI



#### High Temperature Stable EDI

#### for Pharmaceutical OEMs

- Sanitization without Chemicals
- High Temperature Design & Materials
- High Temperature Resins
- Proven over 150 cycles at 80°C
- Stainless Steel Covers
- Sanitary Connections



#### **XL-HTS™**

XL-100-HTS	50-150 lph
XL-200-HTS	100-300 lph
XL-300-HTS	300-700 lph
XL-400-HTS	0.7-1.5 m <sup>3</sup> /h
XL-500-HTS	1.3-2.3 m <sup>3</sup> /h

Option: White Plastic Covers

EDI Module Parameters	Recommended for Optimum Performance	Maximum			
Feedwater Conductivity Equivalent Including CO <sub>2</sub> (FCE, see calculation*)	<9 µS/cm	<33 µS/cm			
pH	7.0 to 7.5	5 to 9.5			
Total Chlorine (as Cl <sub>2</sub> ) and Ozone (O <sub>3</sub> )	ND	ND			
Iron (Fe)	ND	<.01 ppm			
Manganese (Mn)	ND	<.01 ppm			
Sulfide (S <sup>-</sup> )	ND	<.01 ppm			
Total Hardness (as CaCO <sub>3</sub> )	<0.5 ppm	<1 ppm			
Total Silica (as SiO <sub>2</sub> )	<0.2 ppm	<0.5 ppm			
Total Organics (TOC as C)	ND	<0.5 ppm			
Temperature	Operation:	Periodic:			
Concentrate Flow Direction	Upward	Upward			
Feed Flow Direction	Upward	Upward			
Dimensions (Width x Height x Depth)	22x56xD cm	(8.5x22xD in)			
Depth:	<b>XL-100-HTS</b> 17 cm (6.5 in)	<b>XL-200-HTS</b> 19 cm (7.5 in)	<b>XL-300-HTS</b> 26 cm (10 in)	<b>XL-400-HTS</b> 29 cm (11.5 in)	<b>XL-500-HTS</b> 37 cm (14.5 in)

#### Electropure™ EDI Technology

- Simpler System a—no concentrate recirculation or brine injection
- Thin-Cell efficient technology
- Thin-Concentrate non-scaling technology
- Unique non-scaling electrode system
- Patented Excellion™ membranes

#### Doing business with SnowPure

- Electropure™ EDI technology was born in 1977, before Ionpure
- SnowPure is privately held
- SnowPure is your partner, not a competitor
- High quality Electropure™ EDI training and OEM support

#### Benefits of Using EDI

- Continuous Process—no upsets
- Operating cost is minimized
- No hazardous waste, no associated costs and risks
- No regeneration acid or caustic
- Flexible—easy to expand a modular EDI system
- Reliable—no recirculation system components to fail

#### EDI Technology Training and OEM System Design Support

- SnowPure believes strongly in training—this helps ensure field success with Electropure™ EDI systems.
- SnowPure assists new OEM customers through their system design phase, done either during the OEM training or during the design process. Support includes reviews of P&I diagrams and feedwater requirements.
- Combined with ongoing Technical Service, we help ensure success.

SnowPure, LLC  
130 Calle Iglesia  
San Clemente, CA 92672  
USA  
+1.949.240.2188  
+1.949.240.2184 fax  
info@snowpure.com

China Sales Office  
Electropure Environmental  
Technology (Shanghai) Co.  
Ltd.  
Room 117 Bldg 7  
No 988 Zhenbei Road  
Shanghai, China 200333  
+86.21.6152.6136  
+86.21.6152.6139 fax  
www.electropure.com.cn

India (Authorized  
Distributor)  
Evergreen Technologies Pvt.  
Ltd.  
3-D, Maker Bhavan-2  
18, New Marine Lines,  
Mumbai 400 020, India  
+91.22.2201.2461  
+91.22.2201.0024 fax  
www.evergreenindia.com

Japan (Authorized  
Distributor)  
AMP Ionex / Mihama  
Toranomon Kotohira Tower  
Minato-Ku 1-2-8 Toranomon  
Tokyo 105-8437, Japan  
+81.3.4570.3819 phone  
+81.3.4570.3806 fax  
www.mihama.com

Korea (Authorized  
Distributor)  
Innomeditech, Inc.  
510, Heseo-Univ.  
Venture Tower 319  
Gasan-dong, Geumcheon-gu  
Seoul Korea 153-802  
Tel : +82-2-2627-5311  
Fax : +82-2-2627-5312  
www.innomeditech.co.kr

**SnowPure**  
High Technology Water

makers of  
**Electropure EDI**  
products

## START UP SETTING FOR XL-500-HTS

Listed below are the recommended start-up settings:

	English Units	Metric Units
1. Product Stream	6.0 – 10.0 gpm	1.3 – 2.3 m <sup>3</sup> /hr
2. Concentrate Stream Outlet	10% of Product Stream	10% of Product Stream
3. Electrolyte Stream Inlet	.05 gpm	10 litres/hr
4. Feed Inlet Pressure	MAX 75 PSI	MAX 5 bar
5. Feed Inlet TDS-ideal	1-5 ppm ideal	1-5 ppm ideal
-TDS range	0.5-10 ppm range	0.5-10 ppm range
6. Starting Voltage (range)	300 VDC (250-320)	300 VDC (250-320)
7. Current	Depends on TDS	Depends on TDS
8. Bolt Torque (9/16 Inch socket)	15 Ft-Lb	20 N-m

After module is installed, operate the module for four (4) hours with the recommended settings to achieve baseline performance. Afterward, you can fine-tune the module by adjusting the concentrate stream and/or voltage for desired result.

Module has been heat-cycled once to 80C at SnowPure.

Attachment:

SnowPure "Quality Testing under Standard Conditions" performance chart used to log the data compiled from our testing prior to shipment.





## SnowPure Electrodeionization Product Family

### EDI Modules

NOMINAL FLOW	MAXIMUM FLOW	LABORATORY	INDUSTRIAL & POWER GEN	SANITARY / PHARMA	HIGH TEMPERATURE STABLE
10 l/hr	10 l/h	Zap-10-M 24VDC included			
20 l/h	20 l/h	Zap-20-M 48VDC included			
60 l/h	80 l/h	XL-060-RL 48VDC optional			
100 l/h	150 l/h		XL-100-R 48VDC operating	XL-100-SR 48VDC	XL-100-HTS 48VDC
200 l/h	300 l/h		XL-200-R 100VDC	XL-200-SR 100VDC	XL-200-HTS 100VDC
500 l/h	1000 l/h		XL-300-R 150VDC	XL-300-SR 150VDC	XL-300-HTS 150VDC
1.0 m <sup>3</sup> /h	1.5 m <sup>3</sup> /h		XL-400-R 200VDC	XL-400-SR 200VDC	XL-400-HTS 200VDC
1.7 m <sup>3</sup> /h	2.3 m <sup>3</sup> /h		XL-500-R 300VDC	XL-500-SR 300VDC	XL-500-HTS 300VDC
3.5 m <sup>3</sup> /h	5.5 m <sup>3</sup> /h		EXL-600 400VDC	EXL-600 with optional fittings	
6.0 m <sup>3</sup> /h	8.0 m <sup>3</sup> /h		EXL-700 500VDC	EXL-700 with optional fittings	

### EDI Options

Innovative UV Chambers	Power efficient (save 90%) at 185/254 nm (patented) to 100 m <sup>3</sup> /h	SPUV
Long Power Cord	10m cord replaces 3m cord	O-009
DC Power Supplies	Ranging from 48VDC to 400VDC	O-00x
Stainless Steel Covers	XL option—for stainless steel systems	O-010
Flow Meters	Variety of sizes and styles	O-04x
Torque Wrench	High Quality maintenance tool with spare socket for XL	O-051
Metric Conversion Kit	XL tubing from 3/8-inch to 8-mm	O-060
Flow Switches	Variety of sizes and styles	O-23x

SnowPure, LLC ♦ 130 Calle Iglesia ♦ San Clemente, CA 92672 USA  
 tel +1.949.240.2188 ♦ fax +1.949.240.2184 ♦ info@snowpure.com

[www.snowpure.com](http://www.snowpure.com)





## ANEXO 33

### PROPIEDADES DEL AGUA

*Tecnología de Fluidos y Calor. Tablas de Mecánica de Fluidos.*

1

## A. Propiedades del agua

A.1 Unidades S.I. ( $p_{abs} = 101 \text{ kPa}$ )

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa·s) ó (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

Fuente: Mecánica de fluidos aplicada. R.L. Mott. 4ª ed. Prentice Hall)

ANEXO 34

CATÁLOGO DIPAC

INOXIDABLE



**DIPAC**  
PRODUCTOS DE ACERO

### TUBO REDONDO EN ACERO INOXIDABLE

**Especificaciones Generales**

Norma: AISI 304  
Largo Normal: 6 ms.  
Otros largos dimensionales: previa consulta  
Espesor: Desde 3/8" a 7/8"



**NOMENCLATURA**

Ø = Año de la fabricación menos el tubo en Ø  
 I = Número de inicio de la sección en Ø  
 W = Número radianes de la sección en Ø  
 B = Radio de giro de la sección en Ø



Pulg	mm	ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
		e	P	A	I	W	B
mm	mm	mm	Kg/m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
5/8	15.90	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
		0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53
		0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.16	0.65
		0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65
		0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76
		0.75	2.52	0.50	0.29	0.26	0.76
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.96	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.36	0.87
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.80	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.05	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	1.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.05	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.96	2.08
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

40      PK-022 2203 10 / Quito - Ecuador      www.dipacmanta.com

## ANEXO 35

### PROPIEDADES EL ACERO INOXIDABLE 316L

Material	Módulo de elasticidad		Coeficiente de Poisson
	GPa	10 <sup>6</sup> psi	
<b>Aceros inoxidables</b>			
<b>Acero inoxidable 304:</b>	193	28	0,30
<b>Acero inoxidable 316 e 316L:</b>	193	28	0,30
<b>Acero inoxidable 440 A:</b>	200	29	0,30
<b>Acero inoxidable 17-7PH:</b>	204	29,5	0,30

Propiedades		
DENSIDAD	8.0 g/cm <sup>3</sup>	0.289 lb/pulg. <sup>3</sup>
PUNTO DE FUSIÓN	1398 °C	2555 °F
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN	17.5 µm/m °C (20 - 100 °C)	9.7 x 10 <sup>-6</sup> pulg./pulg. °F (70 - 212 °F)
MÓDULO DE RIGIDEZ	70.3 kN/mm <sup>2</sup>	10196 ksi
MÓDULO DE ELASTICIDAD	187.5 kN/mm <sup>2</sup>	27195 ksi

[http://www.alloywire.com/spanish/alloy\\_stainless\\_steel\\_316.html](http://www.alloywire.com/spanish/alloy_stainless_steel_316.html)

## ANEXO 36

### NORMA API 650

#### 3.10.3.4 Columnas

Quando el comprador no especifica cargas laterales que se impondrán sobre las columnas de soporte del techo y el miembro de la columna no es considerado a ser un elemento de sección esbelta por la especificación AISC, la fórmula siguiente para la compresión admisible puede ser usada en lugar de las fórmulas en la especificación AISC cuando  $l/r$  excede 120 y el esfuerzo resistente de la columna ( $F_y$ ) es menor que o igual a 250 MPa (36,000 psi).

Quando  $l/r$  es menor que o igual a  $C_c$ :

$$F_a = \frac{\left[ \frac{1 - (l/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\left[ \frac{5}{3} + \frac{3(l/r)^2}{8C_c} - \frac{(l/r)^4}{8C_c^2} \right] \left[ 1.6 - \frac{l}{200r} \right]}$$

Donde:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

Quando  $l/r$  excede  $C_c$ :

$$F_a = \frac{\left[ \frac{12\pi^2 E}{23(l/r)^2} \right]}{\left[ 1.6 - \frac{l}{200r} \right]}$$

Donde :

- $F_a$  = esfuerzo de compresión admisible.
- $F_y$  = esfuerzo de resistencia del material.
- $E$  = modulo de elasticidad.
- $l$  = longitud no arriestrada de la columna.
- $r$  = menor radio de giro de la columna.

API 650

# ANEXO 37

## MANUAL AISC

3-16

Table C-38  
Allowable Stress  
For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel\*


$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)
1	21.65	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.75
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
3	21.43	43	18.95	83	15.07	123	9.85	163	5.62
4	21.44	44	18.86	84	14.95	124	9.70	164	5.55
5	21.35	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
7	21.30	47	18.61	87	14.53	127	9.28	167	5.35
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17
11	21.10	51	18.26	91	14.08	131	8.70	171	5.11
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41
25	20.29	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73

\*When element width-to-thickness ratio exceeds noncompact section limits of Sect. B5.1, see Appendix B5.  
Note:  $C_c = 126.1$



$F_y = 36 \text{ ksi}$

**COLUMNS**  
Standard steel pipe  
Allowable concentric loads in kips



Nominal Dia.	12	14	16	18	20	24	30	36
Wall Thickness	0.375	0.365	0.322	0.280	0.295	0.237	0.226	0.216
Wt./ft.	49.56	46.48	25.55	18.97	14.62	10.79	8.11	7.53
$F_c$	38 ksi							
Effective length $L$ , ft. KL with respect to radius of gyration	0	315	257	181	121	83	58	48
	6	303	246	171	110	80	58	30
	7	301	243	166	106	81	57	30
	8	299	241	165	105	78	54	24
	9	296	238	163	103	76	52	21
	10	293	235	161	101	73	48	23
	11	291	232	159	99	71	46	25
	12	288	229	155	95	68	43	22
	13	285	226	152	92	65	40	19
	14	282	223	149	89	61	36	15
	15	279	220	145	86	56	32	14
	16	275	215	142	82	55	29	12
	17	272	213	138	79	51	25	11
	18	269	209	135	75	47	23	10
	19	265	205	131	71	43	21	9
	20	261	201	127	67	39	19	8
	22	254	193	119	59	32	15	13
	24	245	185	111	51	27	13	
	25	242	180	106	47	25	12	
	26	239	176	102	43	23		
28	229	167	93	37	20			
30	220	158	85	32	17			
31	216	152	79	30	15			
32	211	146	73	28				
34	201	137	65	25				
36	192	127	58	23				
37	188	120	55	21				
38	181	115	52					
40	171	104	47					
Properties								
Area $A$ (in. <sup>2</sup> )	14.6	11.9	6.40	5.50	4.30	3.17	2.05	2.23
$J$ (in. <sup>4</sup> )	278	161	72.5	25.1	15.2	7.23	4.79	3.02
$r$ (in.)	1.39	1.27	2.24	2.75	1.88	1.51	1.34	1.16
$g$ (in.)	0.300	0.293	0.600	0.657	0.750	0.987	1.12	1.29
$k$ (in.)	41.7	23.9	10.9	4.21	2.26	1.03	0.717	0.447

Note: Heavy line indicates  $K$  of 200.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

Fuente: Manual AISC (American Institute of Steel Construction)

## **PLANOS**

/3319/4/55868-4.pdf