

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCAMBIO
IÓNICO Y OSMOSIS INVERSA PARA ELIMINAR SALES Y
MINERALES PRESENTES EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE
AGUA DE LA PLANTA EXSA S.A.**

AUTOR

Bach. AYALA CAPRA, Zait Becker

ASESOR

M.Sc. CHUCUYA HUALLPACHOQUE, Roberto Carlos

**INFORME DE TESIS PARA TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

NOVIEMBRE 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis para título se denomina “**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO Y OSMOSIS INVERSA PARA ELIMINAR SALES Y MINERALES PRESENTES EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA EXSA S.A.**”. Elaborado por el Bachiller: **AYALA CAPRA, Zait Becker**, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía. Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor

ASESOR

M.Sc. CHUCUYA HUALLPACHOQUE ROBERTO CARLOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente informe de tesis para título denominado “**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO Y OSMOSIS INVERSA PARA ELIMINAR SALES Y MINERALES PRESENTES EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA EXSA S.A.**”. Elaborado por el Bachiller: **AYALA CAPRA, Zait Becker**, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía. Ha sido revisado y aprobado por el jurado evaluador. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de jurado

REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR

Mg. HECTOR BENITES VILLEGAS

M.Sc. JULIO ESCATE RAVELLO

M.Sc. ROBERTO CHUCUYA
HUALLPACHOQUE



Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los cinco días del mes de noviembre del año dos mil diecinueve, siendo las diez horas de la mañana, se instaló en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 473-2019-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. HECTOR DOMINGO BENITES VILLEGAS** : PRESIDENTE
- **M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO** : SECRETARIO
- **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE** : INTEGRANTE
- **Ing. NEIL ANTHONY VELASQUEZ DIAZ** : ACCESITARIO

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **“DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO Y OSMOSIS INVERSA PARA ELIMINAR SALES Y MINERALES PRESENTES EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA EXSA S.A.”**, elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **ZAIT BECKER AYALA CAPRA**, con código de matrícula 200811036, teniendo como asesor al docente **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE**, designado mediante Resolución Decanal N° 067-2019-UNS-FI.

Terminada la sustentación, el bachiller respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, el contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
ZAIT BECKER AYALA CAPRA	Diecisiete (17)	BUENO

Siendo las once de la mañana, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

Mg. Hector D. Benites Villegas
PRESIDENTE

M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello
SECRETARIO

M.Sc. Roberto C. Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE

Dedicatoria

A Dios, por concederme la sabiduría, quien me guía con cuanto amor y abundante gracia, encaminando mis pasos por el camino correcto para seguir el sendero de la vida.

A ¡Mi Madre!!! Sra. Dalila Capra Dueñas. Quien me ha dado su amor y apoyo para seguir adelante. Y a ¡Mi Padre!!! Sr. Julián Rosas Gonzales. Quien me ha inculcado el deseo de superación bajo cualquier circunstancia.

A mis amados hermanos (as): Percy, Diana, Marilyn y Ximena. Quienes me alegran con sus compañías.

A mis Amigos y Compañeros: Rubén, Willy, Carlos, Aries, Adolfo, John, Santiago, Darwin, Jorge, Richard y a todos, quienes nunca dejaron de confiar en mí y por siempre estar cuando los necesitaba.

Agradecimiento

A Dios, por haberme dado la vida, así como la Sabiduría y las Fuerzas necesarias para alcanzar las metas que me he propuesto, para así proponerme otras.

A mi familia, por el apoyo moral, siendo los impulsores en mi desarrollo y formación profesional. ¡Gracias!!!

Los docentes de la Universidad Nacional del Santa y en especial a mi asesor Mg. Roberto Chucuya. Quienes me han brindado sus conocimientos para así poder superar los retos de la vida, gracias por saberme escuchar y ser más que docentes para convertirse en amigos. A John Nolasco, un gran amigo y compañero de trabajo. ¡Gracias!!! Por tus consejos y apoyo incondicional.

Al gerente general, así como al personal de la empresa Aqa Química S.A., por haberme dado la oportunidad de laborar en su establecimiento, así como su apoyo incondicional.

A Carlos Vega Rengifo y Willy Manrique Paredes. ¡Gracias! Por ser mis mejores amigos y por estar siempre conmigo en las buenas y las malas.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Realidad del Problema.....	3
1.2.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivos Generales.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Formulación de la Hipótesis.....	6
1.5 Justificación y limitaciones del trabajo.....	6
II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Agua.....	9
2.2 Sales minerales.....	10
2.3 Ion.....	10
2.4 Dureza.....	11
2.5 Total de sólidos disueltos.....	12
2.6 Conductividad térmica del agua.....	12
2.7 Química del boro.....	12

2.8 Incrustaciones	13
2.9 Intercambio iónico	15
2.10 Ablandador de agua	16
2.10.1 Tipos de ablandadores	16
2.10.2 Ablandador de agua tipo iónico	16
2.10.3 Partes principales equipo ablandador de agua	17
2.10.4 Procesos del sistema ablandador.....	18
2.10.4.1 Servicio	18
2.10.4.2 Retrolavado.....	18
2.10.4.3 Succión de salmuera o regeneración.....	19
2.10.4.4 Enjuague	20
2.10.4.5 Reposición de agua al tanque salmuera	20
2.11 Osmosis inversa	21
2.11.1 Proceso de la osmosis inversa.....	22
2.11.2 Configuración de etapas y pasos.....	22
2.11.2.1 Sistema de 1 etapa y 2 pasos.....	22
2.11.2.2 Sistema de 2 etapas y 1 paso.....	24
2.11.2.3 Etapas con recirculación	25
2.11.3 Módulos de membrana.....	26
2.11.3.1 Membrana de fibra hueca	26
2.11.3.2 Membrana en espiral.....	28

III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales.....	31
3.2 Metodología	31
3.3 Diseño y selección del equipo ablandador.....	31

3.3.1 Selección de tipo de ablandador	31
3.3.2 Parámetros de diseño	32
3.4 Dimensionamiento del equipo de osmosis inversa	35
3.4.1 Parámetros de diseño	35
3.4.2 Balance de materia.....	36
3.4.3 Selección y cálculo de membranas y tubo de presión	36
3.4.4 Concentración de rechazo de sales y permeado.....	37
3.4.5 Cálculo de la presión osmótica	39
3.4.6 Normalización del sistema.....	42
3.4.6.1 Factor de corrección de temperatura	42
3.4.6.2 Factor de corrección de presión.....	42
3.4.6.3 Factor de ensuciamiento	44
3.4.6.4 Cálculo del flujo de diseño.....	45
3.4.7 Cálculo de la presión de operación.....	45
3.5 Criterio de selección considerado para las tuberías	46
3.6 Selección de válvulas y accesorios de PVC.....	46
3.6.1 Válvula de bola compactas.....	47
3.6.2 Accesorios de PVC SCH80.....	47
3.6.3 Manómetros de presión	48
3.7 Evaluación económica del proyecto	48

IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Dimensionamiento del equipo ablandador	51
4.1.1 Datos para el diseño.....	52
4.1.2 Concentración total de sólidos disueltos.....	52
4.1.3 Capacidad de trabajo.....	53

4.1.4 Selección de resina.....	53
4.1.5 Dimensionamiento del lecho de resina	54
4.1.6 Cálculo de caudal de retrolavado.....	55
4.1.7 Comprobación de la longitud del tanque	57
4.1.8 Cálculo de la potencia de bomba	58
4.1.9 Cálculo del diámetro de la tubería	60
4.1.10 Dimensionamiento del tanque salmuera	62
4.1.11 Cálculo de los tiempos de regeneración de resina	63
4.2 Cálculo de la bomba de alimentación a la osmosis inversa	66
4.3 Dimensionamiento del equipo de osmosis inversa	67
4.3.1 Diseño del proceso.....	67
4.3.2 Balance de materia.....	68
4.3.3 Cálculo del número de membranas y tubos de presión	72
4.3.4 Cálculo de la concentración de rechazo, permeado y TSD	73
4.3.5 Cálculo de la presión osmótica	77
4.3.6 Normalización del sistema.....	81
4.3.6.1 Factor de corrección de temperatura.....	81
4.3.6.2 Factor de corrección de presión	82
4.3.6.3 Factor de ensuciamiento	82
4.3.7 Cálculo del fuljo de diseño	82
4.3.8 Cálculo de la presión de operación	83
4.3.9 Cálculo de la potencia de la bomba	84
4.4 Evaluación económica del proyecto	84
4.4.1 Presupuesto total del sistema de intercambio iónico y osmosis inversa.....	84
4.4.2 Presupuesto total sin sistema de intercambio iónico	88
4.5 Periodo de retorno y Valor actual neto	92

4.5.1 ingreso anual neto	92
4.5.2 Periodo de retorno de la inversión	93
4.5.3 Cálculo del VAN	93

V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII: ANEXOS

Fichas técnicas

Tablas

Planos mecánicos y eléctricos

Lista de tablas

Tabla 1	Parámetros para riego de vegetales	6
Tabla 2	Parámetros de calidad de agua para procesos	7
Tabla 3	Clasificación de la dureza del agua en ppm	11
Tabla 4	Parámetros físico químicos analizados del agua fuente	35
Tabla 5	Flujos máximos de diseño para osmosis inversa.....	43
Tabla 6	Cálculo del caudal de retrolavado.....	56
Tabla 7	Datos de diámetro nominal tubería SCH 80.....	61
Tabla 8	Datos de presión de trabajo en tuberías de PVC	61
Tabla 9	Datos de presión de trabajo en accesorios de PVC.....	62
Tabla 10	Flujos en restrictores.....	65
Tabla 11	Características del agua fuente del proyecto.....	67
Tabla 12	Dimensiones de la membrana de Osmosis Inversa.....	72
Tabla 13	Composición corrientes rechazo y permeado.....	75
Tabla 14	Composición corrientes rechazo, permeado y caudal de recirculación.....	76
Tabla 15	Concentración de sales disueltas en la alimentación del agua	77
Tabla 16	Resultado de molalidades	78
Tabla 17	Valencia de los iones	79
Tabla 18	Resumen de las presiones osmóticas.....	81
Tabla 19	Presupuesto final del sistema Intercambio iónico-Osmosis inversa.....	84
Tabla 20	Costo anual de energía Intercambio iónico-Osmosis inversa	86
Tabla 21	Gasto neto anual de producto químico Intercambio iónico-Osmosis inversa.....	87
Tabla 22	Gasto neto anual Intercambio iónico-Osmosis inversa.....	88
Tabla 23	Gastos directos Antiincrustante-Osmosis inversa.....	89
Tabla 24	Consumo total de productos químicos Antiincrustante-Osmosis inversa	90
Tabla 25	Consumo total de energía eléctrica Antiincrustante-Osmosis inversa	90
Tabla 26	Costo neto anual Antiincrustante-Osmosis inversa	91
Tabla 27	Comparación en costo de producción de agua tratada	92
Tabla 28	Resumen de producción de explosivos anual	92
Tabla 29	Las ventas netas de la empresa en dólares americanos y en toneladas.....	92
Tabla 30	resumen del Estado de Ganancias y Pérdidas.....	93
Tabla 31	Beneficios, amortizaciones y flujos de caja para los primeros 10 años	94

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Estructura molecular del agua (Cervantes, 2015, p.4)	9
<i>Figura 2.</i> Ciclo hidrológico (Cervantes, 2015, p.5)	9
<i>Figura 3.</i> Formación de puentes de hidrógeno en una membrana (Chillón, 2009).	13
<i>Figura 4.</i> Acumulación de incrustaciones en una caldera (Ortiz & Tavera, 2013).....	14
<i>Figura 5.</i> Incrustaciones en una tubería de agua fría (Cervantes, 2015, p.11).....	14
<i>Figura 6.</i> Intercambio iónico en lecho fijo (Depositphotos, 2018)	15
<i>Figura 7.</i> Esquema ablandador de agua (Cervantes, 2015, p.18)	17
<i>Figura 8.</i> Partes principales de un ablandador (Elaboración propia)	17
<i>Figura 9.</i> Ciclo de servicio (Elaboración propia).....	18
<i>Figura 10.</i> Ciclo de retrolavado (Elaboración propia).....	19
<i>Figura 11.</i> Ciclo de succión de salmuera o regeneración (Elaboración propia).....	19
<i>Figura 12.</i> Ciclo de enjuague (Elaboración propia).....	20
<i>Figura 13.</i> Ciclo de reposición de agua al tanque salmuera (Elaboración propia)	21
<i>Figura 14.</i> Proceso de Osmosis inversa (Plastico, 2019).....	21
<i>Figura 15.</i> Poro de membrana de ósmosis inversa (Depositphotos, 2018).....	22
<i>Figura 16.</i> Esquema del equipo de osmosis inversa (Elaboración propia)	22
<i>Figura 17.</i> Esquema proceso industrial ósmosis inversa: Caudal Q, Concentración C, Presión hidráulica P, Presión osmótica π (López, 2015, p.25)	23
<i>Figura 18.</i> Diseño sistema de 1 etapa y de 2 pasos (Elaboración propia)	24
<i>Figura 19.</i> Diseño sistema de 2 etapas y 1 paso (Elaboración propia)	25
<i>Figura 20.</i> Diseño de dos etapas con recirculación (Elaboración propia).....	25
<i>Figura 21.</i> Membrana de fibra hueca (Emontanos, 2013).....	27
<i>Figura 22.</i> Membrana espiral (Simpec SRL, 2017)	29
<i>Figura 23.</i> Longitud que conforman la pared lateral mínima (Cervantes, 2015, p.45)	33
<i>Figura 24.</i> Diagrama de bloque de la unidad de ósmosis (Elaboración propia)	36
<i>Figura 25.</i> Evolución del factor de ensuciamiento para 5 años (Vasquez, 2007, p.71)	44
<i>Figura 26.</i> Válvula tipo bola SCH80 Ø1.5" (Elaboración propia).....	47
<i>Figura 27.</i> Accesorios de PVC SCH80 Ø1.5" (Elaboración propia)	47
<i>Figura 28.</i> Manómetro de presión (Elaboración propia)	48
<i>Figura 29.</i> Esquema general del proceso (Elaboración propia)	51
<i>Figura 30.</i> Esquema defino del proceso (Elaboración propia).....	52
<i>Figura 31.</i> Flux de retrolavado (ResinTech, 2002)	55
<i>Figura 32.</i> Comprobación de la longitud del tanque (Elaboración propia)	58

<i>Figura 33.</i> Flujo de succión (clack corporation, 2015)	64
<i>Figura 34.</i> Flujo para enjuague (clack corporation, 2015)	64
<i>Figura 35.</i> Flujos de la unidad de ósmosis inversa (Elaboración propia)	68
<i>Figura 36.</i> Diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa con los resultados obtenidos (Elaboración propia).....	71
<i>Figura 37.</i> Membrana para osmosis inversa (Hydranautics, 2010)	72
<i>Figura 38.</i> Evolución del factor de ensuciamiento para 5 años (Vasquez, 2007)	82

RESUMEN

El presente informe de tesis es una investigación aplicada del tipo correlacional, basado en leyes de mecánica de fluidos, eléctrica, química y otras.

El agua fuente de pozo de la empresa EXSA S.A es usada en la generación de vapor y adicionalmente para riego de árboles del cerco vivo de sus dos plantas (emulsiones y dinamitas). Esta presenta alta dureza (800 ppm), total de sólidos disueltos (4427.404 mg/l) y alta concentración de boro (10.89 mg/l), las cuales pueden formar incrustaciones en las paredes de los tubos de las calderas y torre de enfriamiento, mientras que la alta concentración del boro es perjudicial para los árboles y vegetales, por ello se requiere el suministro de agua para sus procesos térmicos y riego, de alta calidad y parámetros adecuado de sales y minerales. En este informe de tesis se realiza el diseño e instalación de un sistema de intercambio iónico y ósmosis inversa, para eliminar sales y minerales presentes en el agua tales como: iones de calcio, magnesio, total de sólidos disueltos, boro y sílice.

Dicho sistema quedó dimensionado con un equipo ablandador de agua de 20 ft³ de resina catiónica, el cual produce 9600 gal/día de agua blanda en un rango de calcio y magnesio (dureza) de 0 a 2 ppm. Mientras que el equipo de ósmosis inversa con 6 membras y 3 tubos de presión, produce 6.47 gal/min de agua permeada con un total de sólido disueltos de 81.576 mg/l y una concentración de boro de 0.2 mg/l. Estos parámetros son aceptables para trabajar en sus procesos térmicos y riego.

ABSTRAC

This thesis report is an applied research of the correlational type, based on fluid mechanics, electrical, chemical and other laws.

The well water source of the company EXSA S.A. is used in steam generation and additionally for irrigating trees of the live fence of its two plants (emulsions and dynamites). It has high hardness (800 ppm), total dissolved solids (4427.404 mg/l) and high concentration of boron (10.89 mg/l), which can form scale in the walls of the boiler and cooling tower tubes, while the high concentration of boron is harmful to trees and plants. For this reason, the water supply is required for its thermal processes and irrigation, of high quality and adequate parameters of salts and minerals. In this thesis report the design and installation of an ion exchange system and reverse osmosis is carried out, to eliminate salts and minerals present in water such as: calcium ions, magnesium, total dissolved solids, boron and silica.

This system was sized with a 20 ft³ cationic resin water softener kit, which produces 9600 gal/day of soft water in a range of calcium and magnesium (hardness) from 0 to 2 ppm. While the reverse osmosis equipment with 6 membranes and 3 pressure tubes, produces 6.47 gal/min of permeated water with a total dissolved solid of 81,576 mg/l and a boron concentration of 0.2 mg/l. These parameters are acceptable to work in your thermal processes and irrigation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la investigación

Según datos históricos de la empresa se han instalado ablandadores de agua y osmosis inversa anteriormente en sus distintas instalaciones, como, por ejemplo: En la planta Lurín cuentan con dos equipos ablandadores de agua, una de 4 ft³ y otra de 20 ft³ respectivamente. A parte de ello no se cuenta con más información.

Sin embargo, existen antecedentes relacionados al proceso, tales como:

Chillón (2009) en su proyecto de tesis doctoral, realizó una investigación cuyo objetivo era la supresión de boro en aguas procedentes de la desalación en la empresa Canal de Alicante-España, mediante las dos alternativas osmosis inversa y el intercambio iónico. A partir de una concentración de boro (1.079 - 1.41 mg/l) en la calidad de agua fuente, se redujo hasta 0.5 mg/l. El costo de tratamiento por osmosis inversa fue entre 0.1 y 1.2 cént.€/m³, mientras que por intercambio iónico fue entre 0.2 y 3.2 cént.€/m³. Concluyó que el costo de tratamiento de agua para eliminar el boro es más económico y eficiente con un equipo de osmosis inversa.

Escobar (2010) realizó un estudio, cuyo objetivo fue mejorar el proceso de tratamiento de agua en las calderas de la minera Carbones de Cerrejón LLC, bajo la metodología Six. Diagnosticó que la falta de un plan de mantenimiento preventivo a los equipos y sistemas de producción, genera deficiencia y costos de operación. La empresa no contaba con un sistema de datos electrónico para analizar y monitorear los datos obtenidos en las pruebas y operación del ablandador de agua. Concluyó creando una base de datos electrónica para toma de datos de dureza del agua en las calderas y ablandador, realizó un adecuado programa para el mantenimiento preventivo del sistema de ablandador de agua, de la misma manera afirmó que para el dimensionamiento de un equipo ablandador se tiene que contar con un margen de reserva en la capacidad de intercambio iónico, ya que muchas veces la dureza del agua es variable.

Martínez & Idrobo (2012) realizaron un diseño e instalación de un sistema de ablandamiento de agua en la facultad de ciencia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador. La dureza del agua fuente era 800 ppm, mientras que la demanda

de agua de la facultad 8 m³/día, con estos parámetros se diseñó e instaló un equipo ablandador con capacidad de 2 ft³, logrando reducir la dureza del agua en un 70%.

Hipólito (2012) implementó un sistema de osmosis inversa para la reutilización del agua dura proveniente de un equipo Accuaproduct de 21 m³/h de la empresa medifarma, logrando una recuperación del 60% del caudal rechazado con una concentración de sales reducida en 90%. Teniendo una inversión de US\$ 34324.39.

Cervantes (2015), realizó el diseño y construcción de un sistema ablandador de agua tipo iónico, cuyo objetivo era sustituir los iones de calcio y magnesio presentes en el agua, para alimentar una caldera de vapor con una potencia de 6 BHP perteneciente al laboratorio de termodinámica de la Universidad Politécnica Salesiana-Kennedy. El equipo ablandador que fue construido funcionó correctamente, proporcionando 2 gal/min, con un valor de dureza de 0 ppm y teniendo una sola inversión de US\$ 957.77.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Realidad del problema

“EXSA S.A. empresa peruana fundada en 1954, pionera en el desarrollo de innovación en el mercado de fabricación y comercialización de explosivos” (Patenta, 2018, p.4). Inició sus operaciones bajo el nombre de Explosivos S.A. con el objetivo de fabricar explosivos de uso industrial (minería y la construcción) basándose en las premisas de seguridad, calidad y tecnología (Exsa S.A., 2016). Su desarrollo se ha basado en la calidad de sus productos y servicios, elaborados con tecnología de punta y asistencia técnica de primer nivel, todo ello enmarcado dentro de una política de seguridad, mejora continua y protección del medio ambiente, siguiendo los más estrictos estándares internacionales. Para esto necesita contar que sus equipos térmicos operen de manera óptima y eficientemente.

La empresa indica que actualmente sus dos plantas (emulsiones y dinamitas) opera con agua provenientes de dos pozos, mientras que para el consumo humano lo compran en bidones (Ministerio de la producción, 2019).

EXSA S.A Tacna decidió implementar un sistema de tratamiento de agua, para cubrir la demanda de agua tratada en la generación de vapor y adicionalmente para el regadío de los árboles del cerco vivo de sus dos plantas (emulsiones y dinamitas) mediante un sistema de bombeo. El sistema requerido fue un equipo de Osmosis inversa, debido a la presencia de alta concentración de boro, sílice y el pH inicial presentes en su agua fuente subterránea, se recomendó instalar un sistema de pretratamiento de agua para luego ser tratada en la Osmosis Inversa. Las sales minerales o partículas que más destacan en el agua fuente son 800 ppm de dureza, 4427.404 mg/l total de sólidos disueltos, 8049.82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad térmica, 10.89 mg/l de boro, 70 mg/l de sílice y 7.45 de PH. Estos elementos pueden ser los causantes de que sus sistemas de generación de vapor, torres de enfriamiento, sistemas de bombeo de agua y entre otros sufran daños y taponamiento de sus partes a causa de las calcificaciones que se incrustan.

El boro se encuentra presente en el agua generalmente en forma de ácido bórico $\text{B}(\text{OH})_3$, es rechazado en bajos porcentajes debido que al tener hidrógenos ácidos y no tener carga, es capaz de formar enlaces con los grupos activos de las membranas mediante puentes de hidrógeno, por ello es capaz de atravesar la membrana (Chillón, 2009, p.72). Por ello es indispensable convertir el ácido bórico a ion de borato, el cual sucede por disociación en medio acuoso. La disociación se consigue aumentando el pH de la disolución, por ello se definió dosificar NaOH (hidróxido sódico) quien neutraliza y corrige el pH (Carvajal, 2014, p.16). El NaOH al entrar en contacto con el agua dura, que contiene alto porcentaje de Ca y Mg, se produce la precipitación del carbonato cálcico y la formación de carbonato sódico. Para eliminar estas reacciones se instaló un sistema de intercambio iónico como pretratamiento de agua antes de ingresar a la osmosis inversa.

La presencia de silicatos o sílice en el agua fuente puede comprometer la efectividad de la osmosis pues puede producir incrustaciones que ensucian y deterioran el buen funcionamiento de la membrana (Carvajal, 2014, p.24) . Por ello es necesario llevar a cabo un pretratamiento del agua fuente con antiincrustante Vitec 4000, el inhibe las incrustaciones de sílice en las membranas de osmosis inversa.

1.2.2 Formulación del problema

¿En cuánto se disminuye las sales y minerales como el calcio, magnesio, total de sólidos disueltos, boro y sílice, mediante el diseño e instalación de un sistema de intercambio iónico y osmosis inversa en el proceso de tratamiento de agua de la planta EXSA S.A.?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e instalar un sistema de intercambio iónico y osmosis inversa para eliminar sales y minerales presentes en el proceso de tratamiento de agua de la planta EXSA S.A.

1.3.2 Objetivos específicos

- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de los sistemas de intercambio iónico y osmosis inversa.
- Seleccionar los componentes adecuados y necesarios para el ensamble del sistema de intercambio iónico y osmosis inversa.
- Eliminar los iones de calcio, magnesio, total de sólidos disueltos, boro y sílice presentes en el agua para su uso en sus equipos térmicos y adicionalmente para el regadío de los árboles del cerco vivo de sus dos plantas (emulsiones y dinamitas).
- Analizar los ciclos de funcionamiento que requiere un ablandador de tipo iónico y osmosis inversa para su correcto funcionamiento.
- Realizar una evaluación económica de la implementación del sistema de intercambio iónico y osmosis inversa.

1.4 Formulación de hipótesis

Mediante el diseño e instalación de un sistema de intercambio iónico y osmosis inversa se disminuye las sales y minerales como el calcio, magnesio, total de sólidos disueltos, boro y sílice en un 5%, en el proceso de tratamiento de agua de la planta EXSA S.A.

1.5 Justificación y limitaciones del trabajo

La necesidad de la empresa EXSA S.A de contar con agua tratada, es de vital importancia, para alargar la vida útil de sus equipos térmicos, libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y proteger la existencia de su vegetación. Algunos expertos sostienen que una acumulación de incrustaciones de 3 milímetros de espesor en las paredes de los tubos de las caleras y torres de enfriamiento, reducirán la eficiencia en un 30%, lo que finalmente se refleja en costos de operación y mantenimiento (EnviroTower, 2019). De la misma manera las altas concentraciones de boro presentes en el agua causan síntomas de deficiencia o toxicidad en las plantas y árboles. (Acuña, 2005). El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua. Se ha considerado las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV, la siguiente tabla 2 muestran los requerimientos que deberá satisfacer el agua de alimentación para prevenir incrustaciones y corrosión en equipos térmicos (Thermal, 2011). De igual manera en la tabla 1 se presenta los valores recomendados de sales minerales o partículas para riego en vegetales (Poder Ejecutivo, 2015)

Tabla 1
Parámetros para riego de vegetales

Parámetro	Unidad	Parámetros para riego
Conductividad	uS/cm	2500
Sulfatos	mg/l	1000
Boro	mg/l	1
Bario	mg/l	0.7

Fuente (Poder Ejecutivo, 2015, pg. 569081)

Tabla 2
Parámetros de calidad de agua para procesos

Parámetro	Forma	Valor requerido
Dureza total (Ca, Mg)	Sales disueltas	< 2 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	Gas	< 25 mg/l
Contenido total de hierro (Fe)	Sales disueltas o partículas	< 0.05 mg/l
Contenido total de cobre (Cu)	Sales disueltas o partículas	< 0.01 mg/l
Alcalinidad total (CO ₃ , CO ₃ H, OH)	Sales disueltas	< 25 ppm
Contenido de aceite	Coloides	< 1 mg/l
PH a 25 °C	-	8.5 – 9.5
Total de sólidos disueltos (TDS)	Sales disueltas	< 825 mg/l
Conductividad a 25°C	-	< 1500 µS/cm

Fuente (Thermal, 2011) y (Sincal calderas Industriales, 2018)

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Agua

El agua es el elemento de mayor abundancia en la naturaleza y en el cuerpo humano; está formada por dos moléculas de hidrógeno y una molécula de oxígeno (H_2O), la geometría de sus enlaces la convierte en una molécula muy estable como se aprecia a continuación.

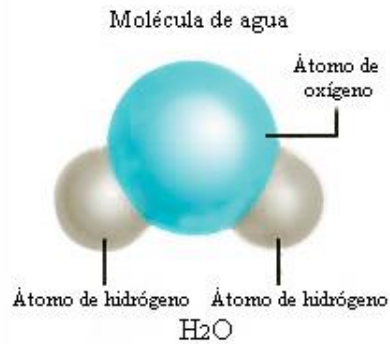


Figura 1. Estructura molecular del agua (Cervantes, 2015, p.4)

El agua está presente en la naturaleza, en tres estados de la materia, el cual se produce debido a cambios térmicos que, dentro de la atmósfera, originan un ciclo hidrológico. Debido a sus características especiales: incolora, insabora e insípida, muchas personas tienden a pensar que es un elemento totalmente puro lo cual no es precisamente cierto.

Cuando se genera la precipitación del agua que se encuentra condensada ésta empieza a contaminarse con las partículas sólidas presentes en el aire y al contacto con la superficie terrestre es contaminada por sales que se disuelven en ella. Este fenómeno natural se explica en la figura 2.

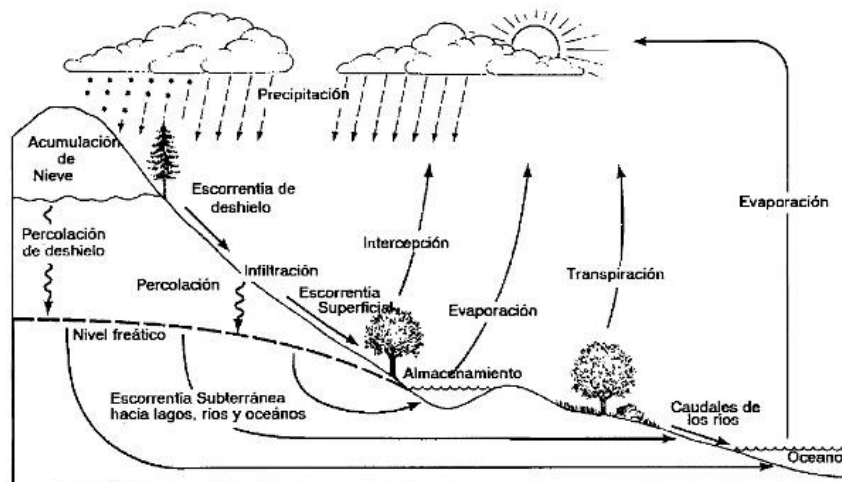


Figura 2. Ciclo hidrológico (Cervantes, 2015, p.5)

De esta manera el agua adquiere varios contaminantes, entre ellos sales minerales como el calcio, carbonatos de magnesio, sulfatos, boro, cloruros y etc.

2.2 Sales minerales

Son moléculas inorgánicas de fácil ionización en contacto con el agua y se encuentran en la naturaleza, aunque también es posible hallarlas dentro de los seres vivos. Se encuentran fundamentalmente de dos maneras, precipitadas o disueltas en forma de iones. Por lo que se pueden distinguir dos grandes grupos:

Grupo A) sales INCRUSTANTES, constituidas por:

- Bicarbonato Cálcico..... $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$
- Bicarbonato Magnésico..... $\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$
- Sulfato Cálcico..... CaSO_4
- Sulfato Magnésico..... MgSO_4
- Cloruro Cálcico..... CaCl_2

Grupo B) Sales NO INCRUSTANTES, constituidas por:

- Carbonato Sódico..... Na_2CO_3
- Sulfato Sódico..... Na_2SO_4
- Cloruro Sódico..... NaCl

Como puede observarse, todas las sales incrustantes contienen CALCIO y MAGNESIO y el contenido total de los mismos constituye la denominada DUREZA TOTAL.

2.3 Ion

Es una partícula cargada eléctricamente que se forma cuando un átomo neutro o en equilibrio, gana o pierde uno o más electrones. Este proceso se denomina ionización; cuando los átomos pierden electrones se cargan positivamente y se denominan cationes, y cuando los átomos ganan uno o más electrones se cargan negativamente se denominan aniones.

EL intercambio iónico es cuando un ion se cambia o se sustituye por otro. A continuación, se indica los cationes y aniones más comunes presentes en el agua:

Cationes:

- Hidrogeno (H^+)
- Sodio (Na^+)
- Calcio (Ca^{+2})
- Magnesio (Mg^{+2})
- Aluminio (Al^{+3})
- Ion ferroso (Fe^{+2})
- Ion Férrico (Fe^{+3})

Aniones:

- Hidroxilo (OH^-)
- Cloruro (Cl^-)
- Bicarbonato (HCO_3^-)
- Carbonato (CO_3^{-2})
- Sulfato (SO_4^{-2})
- Nitrato (NO_3^-)
- Fosfato (PO_4^{-3})

2.4 Dureza

Se llama agua dura a aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Dependiendo con que elementos estén ligados el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}).

La dureza presente en el agua puede es medida en partes por millón de carbonato de calcio (ppm $CaCO_3$); por lo general la dureza se expresa como el número equivalente de miligramos de carbonato de calcio ($CaCO_3$) por litro, es decir, si la concentración total de Ca^{2+} y Mg^{2+} es 1 mM, se dice que la dureza es 100 mg /l de $CaCO_3$ (= 1 mM de $CaCO_3$). La dureza del agua indica su tendencia a formar incrustaciones. En general se considera:

Tabla 3
Clasificación de la dureza del agua en ppm

Dureza (ppm)	Calidad de agua
0 – 75	blanda
75 – 150	moderadamente dura
150 – 300	dura
Mayor de 300	muy dura

Datos obtenidos de la fuente (Cervantes, 2015, pg.9)

Las aguas duras requieren un proceso de ablandamiento para eliminar carbonatos y sulfatos de Ca y Mg, de esta manera evitar las incrustaciones en los equipos y accesorios (Nena, 2013).

2.5 Total de sólidos disueltos

El total de sólidos disueltos (TDS) es una medida de la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones (2 millonésimas de un metro) y no pueden ser removidos por un filtro tradicional. El TDS es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. El TDS son clasificados como un contaminante secundario por la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA) y se sugiere un máximo de 500 mg/L en agua potable. Este estándar secundario se establece porque TDS elevado proporciona al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor en ésta. TDS también pueden interferir con equipos de tratamiento y es importante considerarlo al instalar un sistema de tratamiento de agua. Tratamiento de agua por TDS puede lograrse por ósmosis reversa o destilación. (Regional water Program, 2014, p.1)

2.6 Conductividad térmica del agua

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75 (Amachi, 2017, p.56).

2.7 La química del boro

El boro presente en el agua se encuentra, de forma natural, como ácido bórico $B(OH)_3$. El rechazo de boro por parte de las membranas de ósmosis inversa se produce en unos porcentajes bajos, según las condiciones de trabajo y el tipo de membranas empleado en el proceso (Rodríguez y col., 2001). Estos porcentajes de rechazo son notablemente inferiores a los de otras especies disueltas en el agua.

El boro se encuentra presente en las aguas naturales, mayoritariamente, en forma de ácido bórico. El motivo por el que es rechazado en tan baja proporción por las membranas es que al tener hidrógenos ácidos y no tener carga, es capaz de formar enlaces con los grupos

activos de las membranas mediante puentes de hidrógeno (figura 3). De la misma forma, tanto el ácido bórico como el agua y el anhídrido carbónico son capaces de atravesar la membrana (Sagiv y col., 2004).

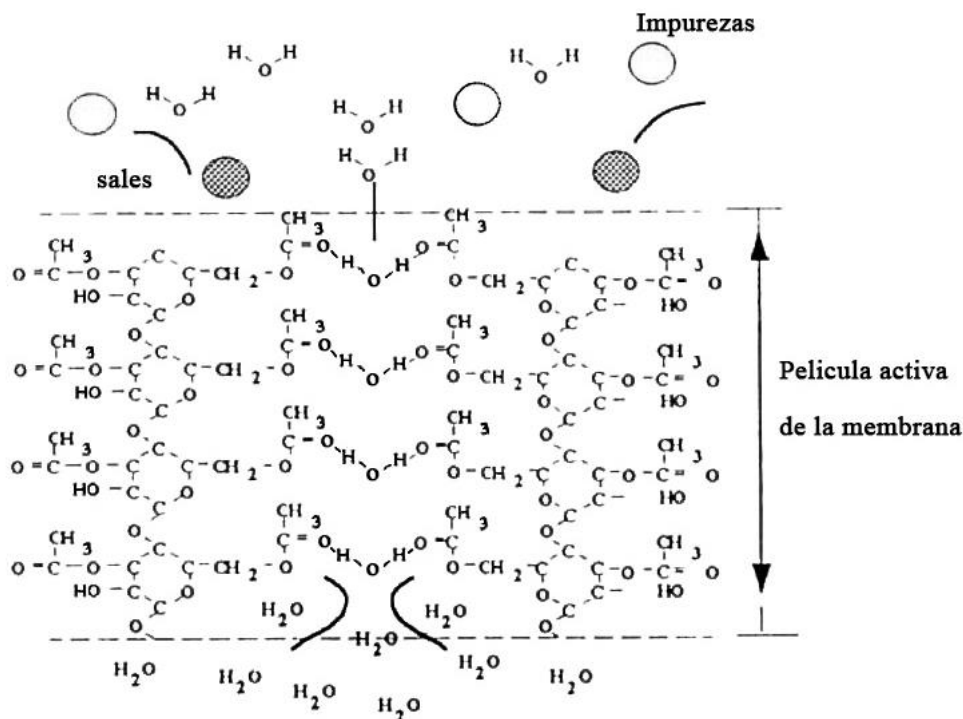


Figura 3. Formación de puentes de hidrógeno en una membrana (Chillón, 2009).

El boro presente en el agua en forma de borato (procedente de la disociación del ácido bórico) es eliminado por la membrana de ósmosis inversa al no disponer de hidrógenos ácidos y tener carga. El boro, en forma de borato, no es capaz de formar enlaces con los grupos activos de las membranas mediante puentes de hidrógeno. La disociación del ácido bórico en borato se consigue aumentando el pH de la disolución. Añadiendo una base, al agua a tratar, se aumenta el pH de la misma, favoreciendo que el equilibrio entre el ácido bórico y el borato se encuentre desplazado hacia la formación del borato. Una vez formados los boratos, el agua puede ser tratada mediante ósmosis inversa, consiguiéndose un rechazo muy elevado del boro (Chillón, 2009).

2.8 Incrustaciones

El origen de las incrustaciones está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen

una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de calor. Por esto, las calderas incrustadas requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica que las calderas con las paredes limpias (Ortiz & Tavera, 2013). Las incrustaciones, obstaculizan el paso del agua en las tuberías, reducen considerablemente la eficiencia energética de los calderos e intercambiadores de calor lo cual es muy grave debido a que la baja conductividad térmica de las incrustaciones actúa como aislante térmico, provocando problemas de refrigeración en las superficies metálicas y puede llegar a causar daños por sobrecalentamiento. Por otro lado, la reducción de la eficiencia térmica de un caldero repercute directamente sobre los costos de producción de la industria debido a las incrustaciones existentes, porque para tratar de compensar esa pérdida de calor en muchos casos se eleva el consumo de combustible lo cual se traduce en dinero, es decir, en un mismo tiempo t , se quema más combustible para obtener un Q deseado; a continuación, se puede visualizar incrustaciones al interior de una caldera.



Figura 4. Acumulación de incrustaciones en una caldera (Ortiz & Tavera, 2013)

Las incrustaciones también se forman en el agua fría debido a la influencia de otros factores como el PH, gas carbónico disuelto y combinado, como se puede apreciar en la figura 4.



Figura 5. Incrustaciones en una tubería de agua fría (Cervantes, 2015, p.11)

2.9 Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso de separación el cual implica el cambio de un ion por otro, solo puede darse con iones de la misma carga (Cervantes, 2015). Cervantes (2015) afirma “esto implica la transferencia de uno o más iones que se encuentran en una solución hacia un sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga los cuales se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales” (p.12).

Los problemas de dureza son ocasionados por los cationes de calcio y magnesio. Si los cationes de calcio y magnesio son removidos para remplazarlos por cationes de sodio, los problemas de la dureza pueden ser eliminados. Al pasar el agua que contiene, calcio y magnesio, por la columna de resina, los cationes de calcio y magnesio se adhieren a la resina y son reemplazadas por cationes de sodio que tenía la resina, así el agua blanda es descargada hacia el servicio.

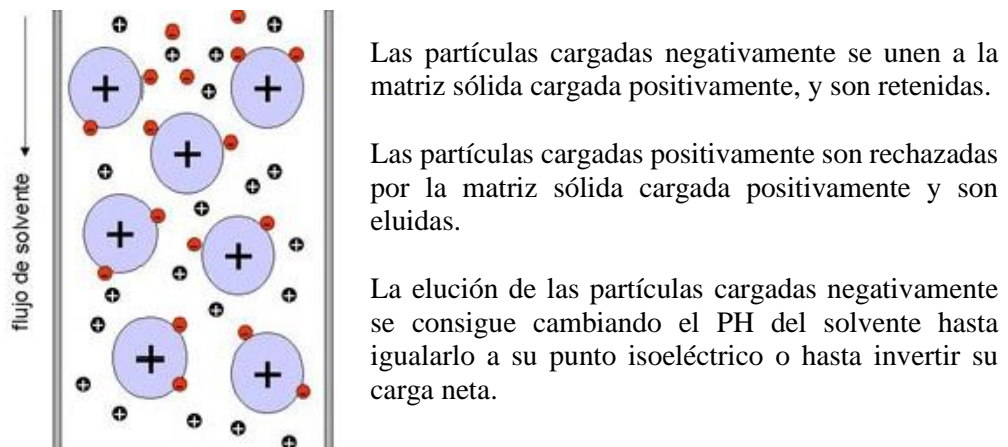


Figura 6. Intercambio iónico en lecho fijo (Depositphotos, 2018)

La columna de resina puede ablandar el agua mientras contenga cationes de sodio, al alcanzar el contenido de sodio, la resina debe ser regenerada con sal (NaCl)



Para regenerar el ablandador, una solución fuerte de salmuera es usada. Los cationes de sodio se adhieren a la resina para mantenerla eléctricamente neutra.



2.10 Ablandador de agua

El ablandador de agua es un equipo diseñada para eliminar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua, trata el agua para reducir el contenido de sales minerales y sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua, por medio de procesos mecánicos, químicos y/o electrónicos (Cervantes, 2015).

2.10.1 Tipos de ablandadores

Existen diversos tipos de ablandadores, así como varias maneras de clasificarlos, en este caso según el tipo de procesos que realizan para la eliminación de las sales minerales; se los puede clasificar en catalíticos, químicos, mecánicos y eléctricos.

2.10.2 Ablandadores de agua tipo iónico

Son ablandadores que utilizan resinas de intercambio iónico para realizar el proceso; pertenecen al grupo de los ablandadores químicos. Por lo general se componen de tres elementos principales:

- Tanque ablandador
- Válvula de control
- Tanque salmuera

En el estanque de resina es donde se produce el “ablandamiento” del agua, al producirse un intercambio iónico entre el agua “dura”, rica en calcio y magnesio y

la resina, rica en sodio. Cuando esto ocurre la resina retiene el calcio y magnesio y el agua se lleva el sodio.

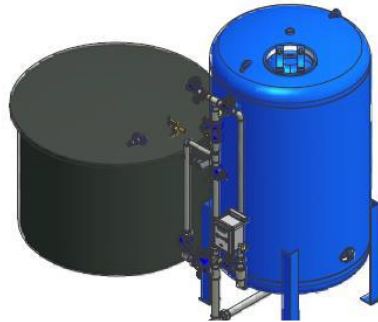


Figura 7. Esquema ablandador de agua (Cervantes, 2015, p.18)

2.10.3 Parte principales equipo ablandador de agua

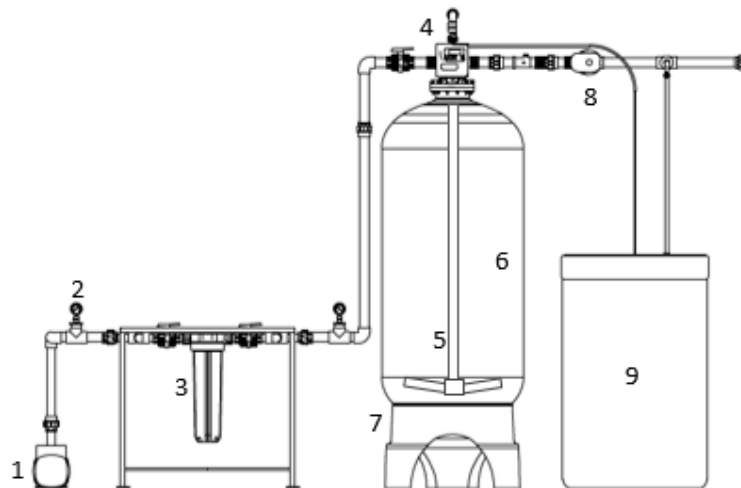


Figura 8. Partes principales de un ablandador (Elaboración propia)

- 1.- Bomba centrífuga
- 2.- Manómetros
- 3.- Filtro de sedimentos
- 4.- Válvula automática de control
- 5.- Distribuidor o toberas
- 6.- Lecho de resina
- 7.- Tanque ablandador
- 8.- Válvula alterna motorizada
- 9.- Tanque salmuera

2.10.4 Procesos del sistema ablandador

Las distintas etapas del proceso para el tratamiento de agua son:

2.10.4.1 Servicio

El agua cruda ingresa por la válvula automática, fluye por la parte superior del tanque, luego desciende a través del lecho de resina y entra al distribuidor como agua tratada. El agua tratada fluye por el tubo central hacia la salida de la válvula arriba, así como se representa en la figura 9.

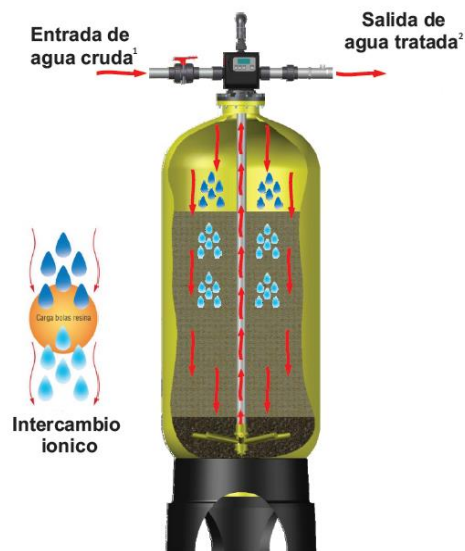


Figura 9. Ciclo de servicio (Elaboración propia)

2.10.4.2 Retrolavado

El ciclo de retrolavado es el primer paso para que se realice el proceso de regeneración de la resina. El agua pasa por la válvula y es encausada a fluir por el tubo central de aspiración de arriba hacia abajo, lo que provoca una expansión de la resina. El flujo de agua ascendente a través del tanque, elimina la turbidez y otros sedimentos que se acumulan durante el ciclo de servicio y los elimina del sistema por el drenaje.

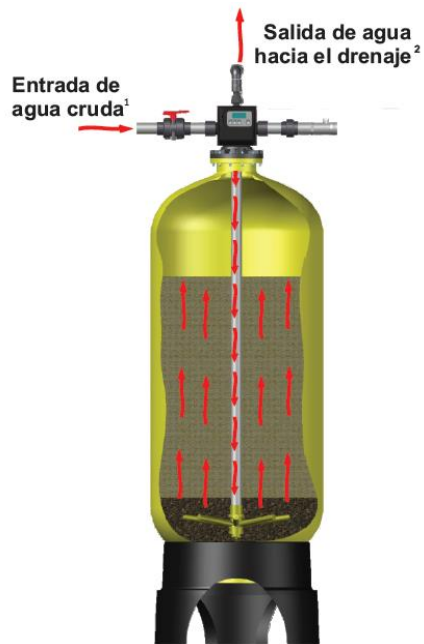


Figura 10. Ciclo de retrolavado (Elaboración propia)

2.10.4.3 Succión de salmuera o regeneración

El ciclo de succión de salmuera consiste en el paso de la concentración de NaCl contenida en el tanque de salmuera, se aplica por medio de un inyector ubicada en la válvula de control automática del ablandador.

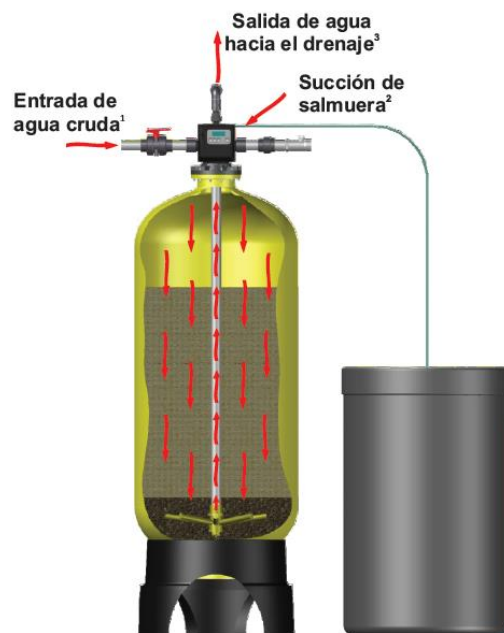


Figura 11. Ciclo de succión de salmuera o regeneración (Elaboración propia)

El proceso se realiza desde la parte superior hacia la parte inferior y luego pasar por el tubo central para que se descarga en el drenaje. El objetivo de este ciclo es regenerar la resina para continuar su proceso en la eliminación de la dureza del agua (calcio y magnesio).

2.10.4.4 Enjuague

El ciclo de enjuague lento se inicia una vez que la salmuera a bañada el lecho de resina, el agua sigue fluyendo por el inyector que se encuentra en la parte superior del tanque del suavizador pasando por la resina, donde el agua es evacuada por el tubo central hacia el drenaje. La importancia de este ciclo es eliminar el exceso de salmuera y de iones de Calcio / Magnesio que quede residual en la resina, la limpieza y eliminación de los residuos se hace por medio de un enjuague de la resina.

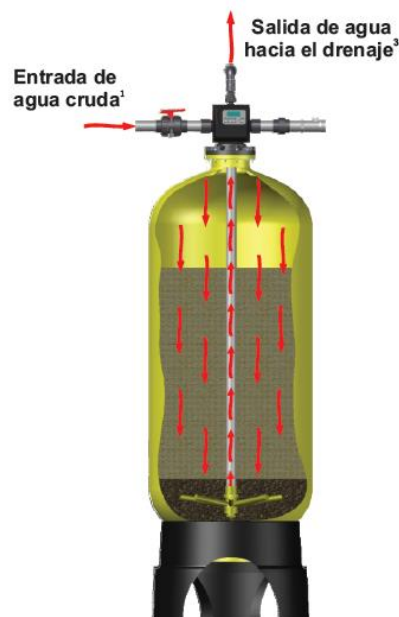


Figura 12. Ciclo de enjuague (Elaboración propia)

2.10.4.5 Reposición de agua al tanque salmuera

Para culminar el proceso de regeneración de la resina, se repone automáticamente agua al tanque salmuera por medio de la válvula

automática de control. Una vez concluido el ciclo de regeneración el sistema ablandador inicia el suministro de agua blanda.

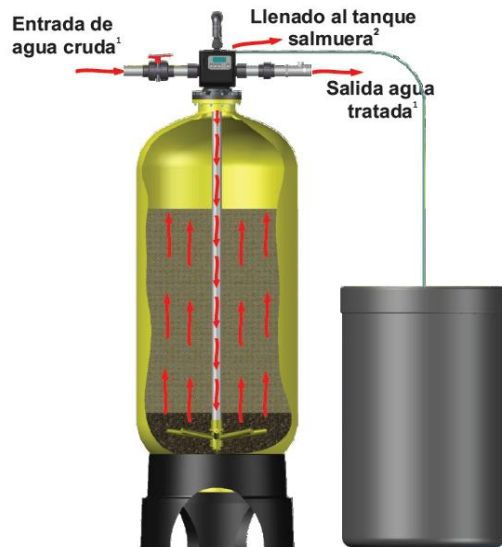


Figura 13. Ciclo de reposición de agua al tanque salmuera (Elaboración propia)

2.11 Osmosis inversa

La Osmosis Inversa (RO, Reverse Osmosis) es el proceso en el cual se logra revertir el proceso natural de la osmosis mediante la aplicación de una alta presión al lado de la membrana con mayor concentración de sales e impurezas. Con esto se logra que el agua pase al otro lado de la membrana logrando así una mayor cantidad de agua pura.

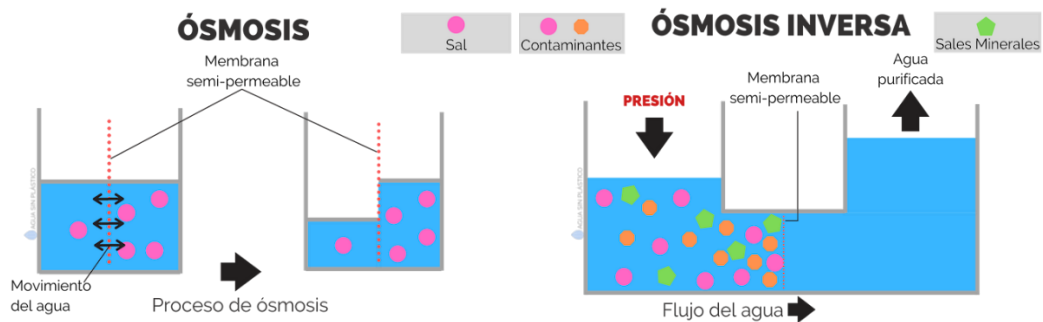


Figura 14. Proceso de Osmosis inversa (Plastico, 2019)

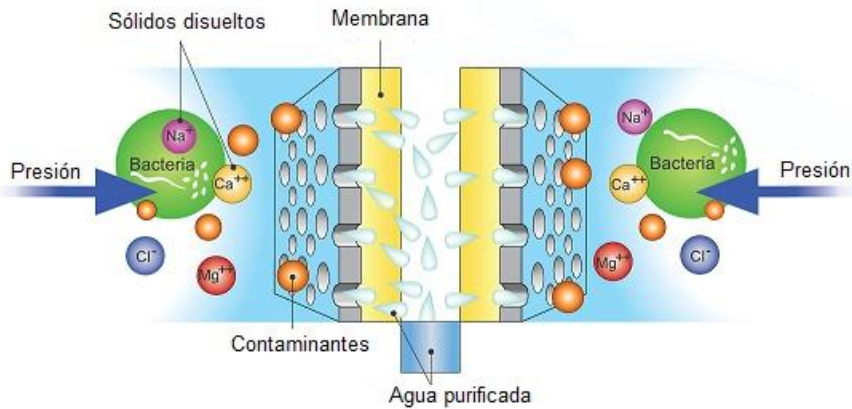


Figura 15. Poro de membrana de ósmosis inversa (Depositphotos, 2018)

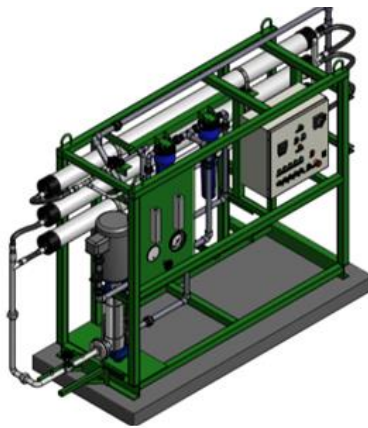


Figura 16. Esquema del equipo de ósmosis inversa (Elaboración propia)

2.11.1 Proceso de la ósmosis inversa

Desde el punto de vista industrial, el proceso de ósmosis inversa se desarrolla como se muestra, de forma simplificada, en la figura 17.

En el esquema se indica la configuración básica del diagrama de flujos de una membrana de ósmosis inversa, que consta de tres soluciones principales:

- Alimentación (a), es la solución de agua de mar que llega a las membranas de ósmosis inversa previamente presurizada por la bomba de alta presión. Al compartimento que contiene esta solución se le conoce con el nombre de "lado de alta".

- Permeado (p), es la solución que se obtiene al otro lado de la membrana, después de atravesarla. Al compartimento que contiene esta solución se le denomina de "baja presión".
- Rechazo (r), es la solución más concentrada que el aporte, que no puede atravesar la membrana. El rechazo (salmuera) presentará una elevada concentración de sales, siendo la del permeado (agua dulce) baja en sólidos disueltos. Mientras que la planta está en el modo de producción se controla la presión de salida con una válvula de regulación.

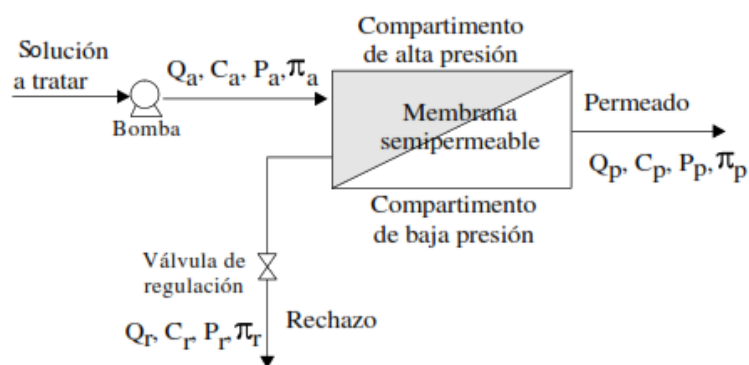


Figura 17. Esquema proceso industrial ósmosis inversa: Caudal Q, Concentración C, Presión hidráulica P, Presión osmótica π (López, 2015, p.25)

2.11.2 Configuración de etapas y pasos

Los términos etapa y paso a menudo se confunden con lo mismo en un sistema de osmosis inversa y pueden ser una terminología confusa para un operador de osmosis inversa.

2.11.2.1 Sistema de 1 etapa y 2 pasos

En un sistema de RO de una etapa, el agua de alimentación ingresa al sistema de RO como una corriente y sale de RO como agua concentrada o permeada. La diferencia entre un sistema osmosis inversa de un solo paso y un sistema osmosis inversa de doble paso es que, con uno de doble paso, el permeado del primer paso se convierte en el agua de

alimentación al segundo paso (o segundo osmosis inversa) que termina produciendo un permeado de mucha mayor calidad porque esencialmente ha pasado por dos sistemas de osmosis inversa.

Además de producir un permeado de una calidad mucho mayor, un sistema de doble paso también permite la oportunidad de eliminar el gas de dióxido de carbono del permeado inyectando cáustico entre el primer y el segundo paso. El CO_2 no es deseable cuando tiene lechos de resina de intercambio iónico de lecho mixto después de la osmosis inversa. Al agregar cáustico después del primer paso, aumenta el PH del agua de permeado del primer paso y convierte el CO_2 en bicarbonato (HCO_3) y carbonato (CO_3) para un mejor rechazo por las membranas de RO en el segundo paso. Esto no se puede hacer con un RO de un solo paso porque la inyección de cáustico y la formación de carbonato (CO_3) en presencia de cationes como el calcio causarían la formación de escamas en las membranas de osmosis inversa (Puretec Industrial Water, n.d.)

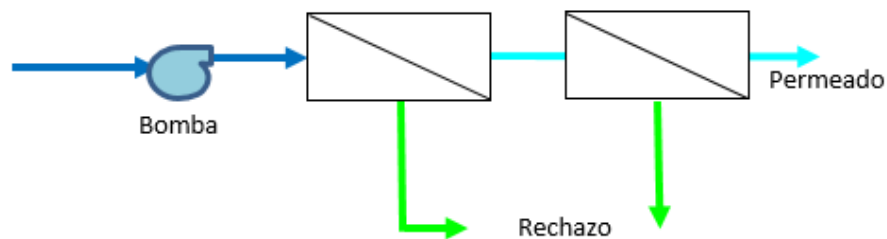


Figura 18. Diseño sistema de 1 etapa y de 2 pasos (Elaboración propia)

2.11.2.2 Sistema de 2 etapas y 1 paso

Es posible ampliar el factor de conversión de un sistema aumentando su longitud y volviendo hacer pasar a la salmuera (rechazo) por otro sistema de ósmosis inversa adicional al que se llama "segunda etapa" (López, 2015).

En un sistema de dos etapas, el concentrado (o rechazo) de la primera etapa se convierte en el agua de alimentación a la segunda etapa. El agua

de permeado se recoge de la primera etapa y se combina con agua de permeado de la segunda etapa. Las etapas adicionales aumentan la recuperación del sistema (Puretec Industrial Water, n.d.).

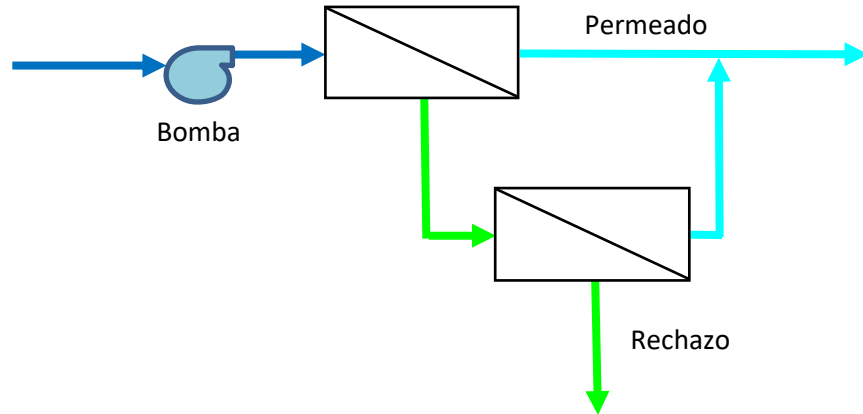


Figura 19. Diseño sistema de 2 etapas y 1 paso (Elaboración propia)

2.11.2.3 Etapas con recirculación

Con un sistema de osmosis inversa que no se puede organizar adecuadamente y la química del agua de alimentación lo permite, se puede utilizar una configuración de reciclaje de concentrado donde una parte de la corriente de concentrado se retroalimenta al agua de alimentación a la primera etapa para ayudar a aumentar el sistema recuperación (Puretec Industrial Water, n.d.).

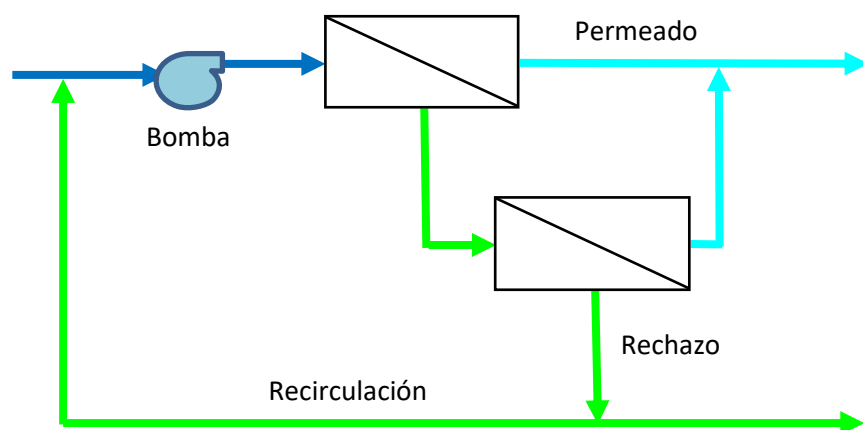


Figura 20. Diseño de dos etapas con recirculación (Elaboración propia)

2.11.3 Módulos de membrana

Las membranas se disponen dentro de los contenedores de presión en una determinada disposición que permite maximizar la relación superficie volumen, mantener la estabilidad mecánica y minimizar los fenómenos de ensuciamiento. Esto se consigue mediante el empaquetamiento de las membranas en módulos que pueden tener diferentes configuraciones y que constituyen la parte más importante de la planta de Osmosis inversa. En la actualidad se comercializan membranas de diferentes tipos: membrana tubular, membrana en placa y bastidor (“plate and Qframe”), membrana con arrollamiento en espiral (“spiral wound”) y membrana de fibra hueca (“hollow fiber”). Las membranas tubulares se utilizan principalmente en ultrafiltración y microfiltración, mientras que los de placa y bastidor están indicados para ultrafiltración y electrodiálisis. En la tecnología de osmosis inversa, las configuraciones más adecuadas son las de arrollamiento en espiral y de fibra hueca, siendo estos dos tipos de membranas los más utilizados en la industria de la desalación (Gutiérrez, 2011).

2.11.3.1 Membranas de fibra hueca

El agua de alimentación entra a presión por un tubo poroso o distribuidor de flujo, que se extiende a lo largo del eje del módulo. De este modo, el agua es distribuida radialmente a partir de este tubo poroso central. Por efecto de la presión, el agua atraviesa las fibras, y el permeado de cada fibra individual fluye por el canal interior de la misma hasta llegar a una placa de resina epoxi de estanqueidad, que soporta los extremos libres de las fibras huecas. En esta zona se unen los flujos individuales de permeado, correspondientes a cada una de las fibras huecas, constituyendo el flujo global de permeado de dicho módulo, que es evacuado por medio de un disco poroso que permite el drenaje del permeado (Navarro & Ramos, 2011). El rechazo queda en los espacios exteriores a las fibras y es evacuado, generalmente, por un conducto situado en el mismo lado del módulo que el de entrada del agua de alimentación. La estanqueidad se obtiene mediante las dos placas de

fibra de vidrio epoxi situadas en los extremos del módulo y sujetadas por dos anillas de acero inoxidable (Navarro & Ramos, 2011).

En algunas configuraciones, el agua a tratar se introduce en el interior de las fibras huecas, que en este caso presentan la capa activa en el interior y no en el exterior como en el caso anterior. El permeado circula por los espacios existentes entre las fibras, mientras que la salmuera lo hace por el interior de las mismas. Sin embargo, esta configuración no es la más adecuada debido a que es más sensible mayores problemas de ensuciamiento y su limpieza es complicada (Voutchkov, 2013).

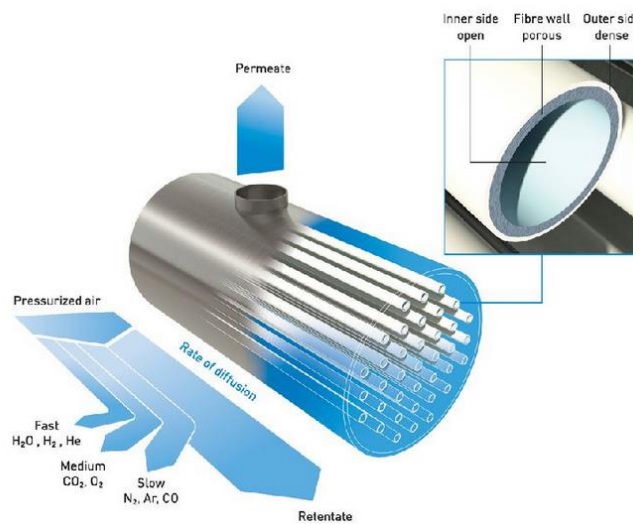


Figura 21. Membrana de fibra hueca (Emontanos, 2013)

En comparación con la configuración de membrana en espiral, la configuración de membrana de fibra hueca cuenta con un área superficial mayor, lo cual genera un flujo de permeado proporcionalmente más bajo para el mismo volumen de agua procesada, lo que a su vez reduce la polarización de concentración y el potencial de incrustación asociado cuando el agua de alimentación es de alto contenido mineral (Voutchkov, 2013).

Por otro lado, un recipiente de fibra hueca normalmente contiene dos elementos de membranas, pero producen aproximadamente el mismo

volumen de agua que un recipiente de OI convencional que contiene de 7 a 8 elementos, lo cual hace que las membranas de fibra hueca más adecuada para aguas de alta salinidad con elevado potencial incrustante (Voutchkov, 2013).

Las membranas de fibra hueca son fabricadas en la actualidad principalmente por Dupont y Toyobo, siendo las de Toyobo más utilizadas para desalinizar agua de mar (Bonilla & Venera, 2017).

2.11.3.2 Membranas en espiral

Actualmente son las más utilizadas en los procesos de desalinización por Ósmosis Inversa al ser las más económicas y compactas. Dos láminas son separadas por una fina malla plástica para formar un canal que permita el paso de permeado por las láminas planas. Tres de los cuatro lados de las dos láminas son selladas con pegamento, el lado restante se deja abierto y unido a un canal central que recoge y agrupa el permeado. Otra malla con un espesor entre 0.7 o 0.9 mm sirve de separador y forma el canal por el cual fluirá el caudal de alimentación y rechazo. El recorrido del flujo de caudal, tanto de alimentación como rechazo, es axial, desde el extremo de entrada de caudal de alimentación hasta el extremo de salida del caudal de rechazo. Cada fabricante especifica los requisitos mínimos de operación para evitar fenómenos como la polarización por concentrado. Los módulos de membranas de OI comerciales vienen con medidas de diámetro y longitud estandarizados y generalmente se clasifican por su diámetro. Algunos de los diámetros disponibles son: 6.4cm (2.5in), 10cm (4in), 15.2cm (6in), 20.3cm (8in), 40.6cm (16in) (Voutchkov, 2013).

Actualmente las membranas más utilizadas son de 20cm (8in), configuradas por lo general en tubos de presión de siete membranas, con producción de permeado entre 13 y 38 m³/día (Voutchkov, 2013). En contraste con las membranas de fibra hueca presentan ventajas como.

- Mayor resistencia al ensuciamiento
- Más económicas
- Facilidad de mantenimiento

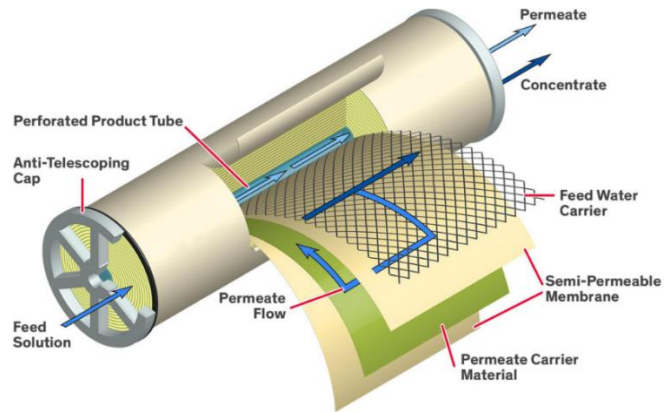


Figura 22. Membrana espiral (Simpec SRL, 2017)

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Los materiales y equipos que se usaron para el presente proyecto han sido:

- 01 computador
- 01 sistema de equipo ablandador
- 01 sistema de osmosis inversa
- Tuberías y accesorios de PVC SCH80
- Tablero eléctrico
- Medidor de conductividad
- Flujómetros

3.2 Metodología

La metodología de diseño inició con la identificación de la procedencia del agua fuente, se realizó un análisis fisicoquímico – microbiológico del agua cruda. Se desarrolló el diseño del proceso de pre tratamiento de agua, considerando las características de agua cruda, para tal efecto se diseñó un sistema de ablandamiento de agua y osmosis inversa.

3.3 Diseño y selección del equipo ablandador

3.3.1 Selección del tipo de ablandador

La eliminación de iones de calcio y de magnesio presentes en el agua se puede realizar mediante la utilización de ablandadores de tipo mecánico y de tipo químico; a continuación, se analizan algunos parámetros.

Mecánico: El fluido a presión pasa a través de varias membranas de Poliamida, presenta un alto costo en cuanto a equipos se refiere.

– Características:

Agua destinada al consumo Humano

Baja capacidad de producción

Membranas requieren frecuente limpieza

- Aplicaciones:
 - Desalinización de agua de mar y salobre
 - Industrias farmacéuticas, eléctrica, producción de energía
 - Descontaminación de aguas urbanas

Químico: El fluido pasa a través de resinas de intercambio iónico, presenta un bajo costo en cuanto a equipos se refiere.

- Características:
 - Agua destinada al consumo industrial y doméstico
 - Capacidad de producción media
 - Las resinas requieren ser regenerada con poca frecuencia
- Aplicaciones:
 - En procesos de Producción de vapor
 - En viviendas
 - En criadero de peces y acuarios

De la información contenida se desprende que, en función de la necesidad existente, y las bondades que brinda cada equipo, el que mejor se adapta al requerimiento de producción de agua, es el ablandador de agua de tipo químico.

3.3.2 Parámetros de diseño

Existen parámetros de diseño que deben ser considerados para la construcción de ablandadores de tipo iónico. Es necesario cumplir con estos parámetros para de esta manera conseguir condiciones ideales; que en el mundo de los tratamientos de agua se las conoce como “Condiciones Hidráulicas”. Los parámetros de diseños son:

- **Altura mínima del lecho de resina (h)**

“Se refiere a la altura mínima que debe tener un lecho de resina, esto en función de que debe existir un tiempo mínimo de contacto entre el agua dura

y las resinas para garantizar que se lleve a cabo el intercambio de iones. Se establece como altura mínima el valor de 30 pulgadas (76.2cm)". (Owens, 1995, p. 35).

– **Altura de pared lateral mínima (H)**

Es la altura mínima que deberá tener el tanque donde se producirá el intercambio iónico, en función de la profundidad mínima del lecho; se define el valor de “la pared lateral mínima” en 48 pulgadas el cual se obtiene de la siguiente manera: (Owens, 1995, p. 36)

30” altura lecho de resina

12” altura libre para expansión (40% h)

6” altura lecho de grava

Esto significa que si se considera una profundidad mínima para el lecho resina de 30 pulgadas, se debe dejar por arriba del lecho una altura libre equivalente a un 40% de la altura del lecho.

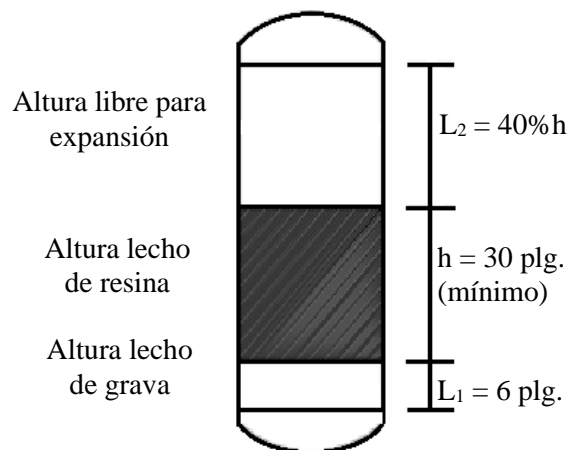


Figura 23. Longitud que conforman la pared lateral mínima (Cervantes, 2015, p.45)

– **Velocidad superficial**

En mecánica de fluidos se puede definir la velocidad lineal como la velocidad que tiene una cantidad de fluido que circula a través de una sección transversal de un ducto por unidad de tiempo.

$$v_l = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

Q : es caudal (gpm)

A : es el área de una sección (ft²)

v_l : es la velocidad lineal (gpm/ft²)

“Para ser satisfactorias las velocidades lineales deben encontrarse en el rango de 4 a 10 (gpm/ft²); se utiliza normalmente el valor de 8 (gpm/ft²)” (Owens, 1995, p. 38)

– **Velocidad volumétrica**

La velocidad espacial o también conocida como velocidad de reacción se la puede definir como la cantidad de sustancia que se transforma en una determinada reacción por unidad de volumen y tiempo.

$$v_e = \frac{Q}{VR} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

Q : es caudal (gpm)

VR : es el volumen de resina necesaria (ft³)

v_e : es la velocidad espacial (gpm/ft³)

“Para ser satisfactorias las velocidades espaciales deben encontrarse en el rango de 0.25 a 5 (gpm/ft³); se utiliza normalmente el valor de 2 (gpm/ft³)” (Owens, 1995, p. 39)

3.4 Dimensionamiento del equipo de osmosis inversa

3.4.1 Parámetros de diseño

Las características físicas y químicas del agua que se va a tratar son la base de partida para el diseño de la planta de osmosis inversa. El análisis iónico debe ser lo más completo posible con especial referencia a los iones que presentan más dificultades para su separación, como es el caso del boro.

Tabla 4
Parámetros físico químicos analizados del agua fuente

Iones	Unidad	Método
Calcio (Ca)	mg/l	Volumétrico
Magnesio (Mg)	mg/l	Volumétrico
Sodio (Na)	mg/l	Absorción atómica
Potasio (K)	mg/l	Absorción atómica
Amonio (NH ₄)	mg/l	Absorción atómica
Bario (Ba)	mg/l	Absorción atómica
Estroncio (Sr)	mg/l	Absorción atómica
(CO ₃)	mg/l	Absorción atómica
Sulfato (SO ₄)	mg/l	Absorción atómica
Cloruro (Cl)	mg/l	Absorción atómica
Fluoruro (F)	mg/l	Absorción atómica
Nitrato (NO ₃)	mg/l	Absorción atómica
Fosfato (PO ₄)	mg/l	Absorción atómica
Sílice (SiO ₂)	mg/l	Absorción atómica
Boro (B)	mg/l	Absorción atómica
CO ₂	mg/l	Absorción atómica
TDS	mg/l	Conductímetro
PH	-	Electrodo

Fuente (Elaboración propia)

3.4.2 Balance de materia

De forma general se tiene que:

$$Q_A = Q_P + Q_R \quad \text{Ec. 3}$$

$$\eta = \frac{Q_P}{Q_A} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Q_A : Caudal de alimentación, gpm (ver figura 24).

Q_P : Caudal de permeado o caudal producto, gpm (ver figura 24).

Q_R : Caudal de rechazo o salmuera, gpm (ver figura 24).

η : Factor de conversión

En la figura 24 se muestran el diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa para 1 paso y 1 etapa con una conversión del 45%.

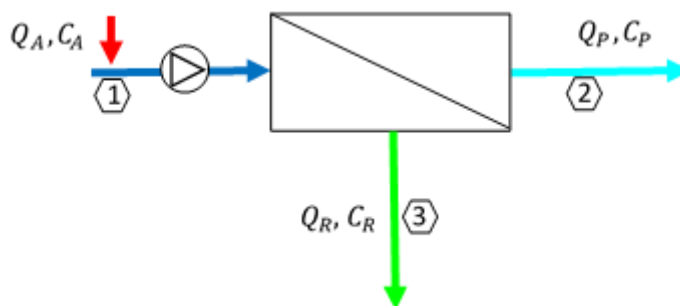


Figura 24. Diagrama de bloques de la unidad de ósmosis (Elaboración propia)

3.4.3 Selección y cálculo del de membranas y tubos de presión

Existen varios proveedores de membranas, entre los que cabe destacar Filmtec e Hydranautics. En el Anexo 4 se detallan alguna de las características de dicha membrana:

- ✓ Caudal de permeado Q_p
- ✓ % Rechazo de sales
- ✓ % Rechazo de boro
- ✓ Máxima presión de operación
- ✓ Área activa

Partiendo del caudal de permeado que se requiere producir y con los datos técnicos de la membrana elegida, tales como área y flujo específico, se puede hacer una estimación inicial del número de membranas que va a llevar el tubo de presión de ósmosis inversa.

$$N_m = \frac{Q_p}{J \times A_m} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

A_m : Área de la membrana = 7.43 m² (ver Anexo 4)

Q_n : Caudal nominal por el fabricante = 7.95 m³/d = 0.33 m³/h

J : flujo de diseño

Para calcular el número aproximado de tubos de presión (N_v), se divide el número de membranas (N_m) entre el número de membranas por tubo de presión (N_{ev}).

$$N_v = \frac{N_m}{N_{ev}} \quad \text{Ec. 6}$$

3.4.4 Concentración de rechazo de sales y permeado

El rechazo de sales de las membranas y de un sistema de membranas, es el factor que determina la calidad final del permeado de un sistema de ósmosis inversa. Con lo cual es el parámetro más importante de la membrana y se basa en el proceso de fabricación y en los polímeros que forman la membrana.

La fórmula que determina el factor de rechazo de sales (R) es:

$$R = 100 \times \frac{C_a - C_p}{C_a} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

C_a es concentración de alimentación.

C_p es concentración de permeado.

El rechazo de sales en tanto por uno (R) es:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_a} \quad \text{Ec. 8}$$

El factor de paso de sales (Ps), es el cociente, en tanto por ciento, entre la concentración de sales en el permeado y en la solución de aporte.

$$P_s = 100 \times \frac{C_p}{C_a} \quad \text{Ec. 9}$$

El paso de sales en tanto por uno (p) es:

$$P = \frac{C_p}{C_a} \quad \text{Ec. 10}$$

Conocidos los caudales volumétricos de todas las corrientes y las concentraciones de los distintos iones en la corriente de alimentación, se calculan las concentraciones de estos mismos iones en las corrientes del permeado y del rechazo. Para ello se resuelve el balance de materia:

$$Q_A = Q_P + Q_R \quad \text{Ec. 11}$$

$$Q_A \times C_A = Q_P \times C_P + Q_R \times C_R \quad \text{Ec. 12}$$

Despejando de la ecuación 12 la concentración del permeado para el componente i, se tiene que:

$$C_{Pi} = \frac{C_{Ai} \times Q_{Ai} - C_{Ri} \times Q_{Ri}}{Q_{Pi}} \quad \text{Ec. 13}$$

Por otro lado, conocidos la concentración de la alimentación para el componente i, detallada en la tabla 4, el rechazo de sales de la membrana y la conversión global del sistema, se determina la concentración del rechazo para el componente i:

$$\frac{C_{Ai} \times Q_{Ai}}{Q_{Ai}} = \frac{C_{Pi} \times Q_{Pi}}{Q_{Ai}} + \frac{C_{Ri} \times Q_{Ri}}{Q_{Ai}} \quad \text{Ec. 14}$$

Remplazando Ec. 4 y Ec. 5

$$C_{Ri}(1 - \eta) = C_{Ai} - C_{Pi}\eta \quad \text{Ec. 15}$$

Despejando C_{Ri}

$$C_{Ri} = \frac{C_{Ai}}{(1 - \eta)} \times \left(1 - \frac{C_{Pi} \times \eta}{C_{Ai}}\right) \quad \text{Ec. 16}$$

La fórmula que determina el factor de rechazo de sales (R) es:

$$C_{Ri} = \frac{R \times C_{Ai}}{1 - \eta} \quad \text{Ec. 17}$$

3.4.5 Cálculo de la presión osmótica

Si dos disoluciones acuosas de diferente concentración se encuentran separadas por una membrana semipermeable aparece un diferencial de presión entre los dos lados de la membrana. Cuando lo que se coloca a un lado de la membrana es agua pura y al otro una disolución cualquiera, la diferencia de presión que se registra entre ambos lados de la membrana recibe el nombre de presión osmótica. Si se aplica artificialmente, al lado de la disolución, una presión superior a la presión osmótica, comienza a pasar agua desde la disolución de mayor concentración a la de menor, purificando ésta última y obteniendo, por tanto, un agua de pureza admisible. Por ello, es importante conocer la presión osmótica del agua de alimentación, ya que a

partir de ella se determinará la presión de trabajo de las bombas de alta presión. Esta última condicionará el consumo energético del proceso, de aquí, su gran importancia.

Consideraciones termodinámicas permiten establecer que la relación existente entre la presión osmótica de una solución y la concentración de sustancias que la componen viene dada por la ecuación (Ósmosis inversa, Manuel Fariñas):

$$\pi = -\left(\frac{RT}{V_0}\right) \ln a_0 \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

π : Presión osmótica de la solución

a_0 : Actividad del solvente (agua)

R: Constante de los gases perfectos

T: Temperatura absoluta en grados Kelvin

V_0 : Volumen molar parcial del solvente en la solución

La actividad del agua en una solución, teniendo en cuenta que en 1 kg de agua hay 55,51 moles, viene dada por la ecuación:

$$\ln a_0 = \frac{\sum m_i}{55.51} x \emptyset \quad \text{Ec. 19}$$

Sustituyendo el valor de la actividad del agua en la expresión 4.5 obtenemos que la presión osmótica queda:

$$\pi = 0.08308 x \emptyset x (t + 273.16) x \sum m_i \quad \text{Ec. 3.20}$$

Donde:

π = presión osmótica expresada en bar

\emptyset = coeficiente osmótico del disolvente

t = temperatura del agua en °C

Σm_i = sumatorio de las molalidades de todos los constituyentes de la solución, tanto iónicos como no iónicos

La molalidad de cada componente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 \times M_i \frac{10^6 - TDS}{10^6}} \quad \text{Ec. 21}$$

Dónde:

C_i = concentración del componente i de la solución expresada en mg/l

M_i = masa molar del componente i

TDS = contenido en sales totales de la solución en mg/l

Y el coeficiente osmótico del disolvente ϕ viene dado por la relación siguiente:

$$\phi = 1 - \frac{S}{3.375 \times I} \times \left(A - 2 \times \ln A - \frac{1}{A} \right) + B \times I' + C \times (I')^2 \quad \text{Ec. 22}$$

Dónde I es la fuerza iónica; I' sería la molalidad de una sal que correspondiera a un electrolito 1-1 y cuya masa molar fuera el promedio de las sales marinas (masa molar aparente) y S, A, B y C coeficientes empíricos; para calcularlos se utilizan las siguientes expresiones:

$$I = \frac{1}{2} \times \sum (m_i \times Z_i^2) \quad \text{Ec. 23}$$

$$I' = \frac{1}{2} \times \sum m_i \quad \text{Ec. 24}$$

$$S = 1.17202 \times \left(\frac{\sum m_i \times Z_i^2}{\sum m_i} \right) \left[\frac{23375.556}{D \times (t + 273.16)} \right]^{3/2} \times \rho^{1/2} \quad \text{Ec. 25}$$

Dónde la densidad se calcula como:

$$\rho = 1.00157 - 1.5609 \times 10^{-4}T - 2.6949 \times 10^{-6}T^2 \quad \text{Ec. 26}$$

$$A = 1 + 1.5x(I)^{1/2} \quad \text{Ec. 27}$$

$$B = 6.72817 - \frac{348.662}{T + 273.16} - 0.971307 \times \ln(t + 273.16) \quad \text{Ec. 28}$$

$$C = \frac{40.5016}{(t + 273.16)} - 0.721404 + 0.103915 \times \ln(t + 273.16) \quad \text{Ec. 29}$$

$$D = 233.76 + \frac{5321}{(t + 273.16)} - 0.9297 \times (t + 273.16) + 0.001417 \times (t + 273.16)^2 - 8.292 \times 10^{-7} \times (t + 273.16)^3 \quad \text{Ec. 30}$$

3.4.6 Normalización del sistema

3.4.6.1 Factor de corrección de temperatura

El cambio en la temperatura del agua de alimentación da como resultado el cambio en la velocidad de difusión a través de la membrana. El cambio en la tasa de flujo de permeado con la temperatura es descrito por la siguiente ecuación:

$$TCF = f_T = e^{K_T \left(\frac{1}{(273+t)^\circ K} - \frac{1}{298^\circ K} \right)} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

t = Temperatura en grados Celsius

K_T = Constante dependiente del tipo de membrana 2700 °K

3.4.6.2 Factor corrector de presión

El factor corrector de presión (f_p) se define como:

$$f_p = \frac{(P_m - \Delta\pi)_{operación}}{(P_m - \Delta\pi)_{prueba}} \quad \text{Ec. 32}$$

Dónde:

P_m : presión aplicada a la membrana, y se define como la presión requerida para que la separación ocurra en las condiciones de operación existentes. Es necesaria una diferencia de presión P_m mucho mayor que la osmótica $\Delta\pi$ (nunca mayor de 30 bar para la concentración del agua de mar mediterránea) para poder obtener permeado.

$\Delta\pi$: diferencial de presión osmótica. Podemos calcular P_m de la siguiente manera:

$$P_m = \frac{J_d}{K_a} + \Delta\pi_{A-R} \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

J_d : es el flujo máximo de diseño

K_a : es el coeficiente de permeabilidad al solvente típico de la membrana

✓ Datos de operación:

J_d viene recomendado por el fabricante y en nuestro caso es 27 l/m²*h (tabla 5), mientras que K_a es el coeficiente de permeabilidad de la membrana de valor típico cercano a 0.02 m³/d*m²*bares, es un factor que depende de la presión de operación, de la temperatura, del estado de compactación de la membrana, de su factor de polarización y del grado de ensuciamiento fundamentalmente de la concentración de sales (siendo su relación inversamente proporcional a esta).

Tabla 5
Flujos máximos de diseño para osmosis inversa

Tipo de agua	R.O. Permeado	agua de pozo	suministro de superficie		Efluente		agua de mar	
SDI	<1	<3	<3	<5	<3	<5	<3	<5
Flux (l/m ² h)	36-43	27-34	22-29	20-27	17-24	14-20	13-20	11-17
Max.								
Recuperación (%)	30	19	17	15	14	12	15	13

Datos recomendados por el fabricante, fuente (NanoTechPRO, 2019)

✓ Datos de prueba:

Estos datos son facilitados por el fabricante de la membrana:

$$P_m = 55 \text{ bar}$$

$$\Delta\pi = 22.2 \text{ bar}$$

3.4.6.3 Factor de ensuciamiento

Factor de ensuciamiento o factor corrector del tiempo de operación: es un coeficiente que representa el deterioro que sufre la membrana en su funcionamiento.

En el período del tiempo de operación de un sistema de ósmosis inversa, todas las membranas sufren cambios en su estructura física interna y en su superficie experimentando un fenómeno de compactación, lo que afecta a su permeabilidad. Es decir, las membranas se vuelven más densas y menos permeables al agua y a las sales. El factor de descenso de flujo de agua a través de una membrana con el tiempo de operación se define como:

$$f_e = \frac{Q_p(t)}{Q_p(0)} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

$Q_p(t)$: caudal de agua a tiempo t de operación de la planta.

$Q_p(0)$: caudal de agua en el momento de puesta en marcha de la planta.

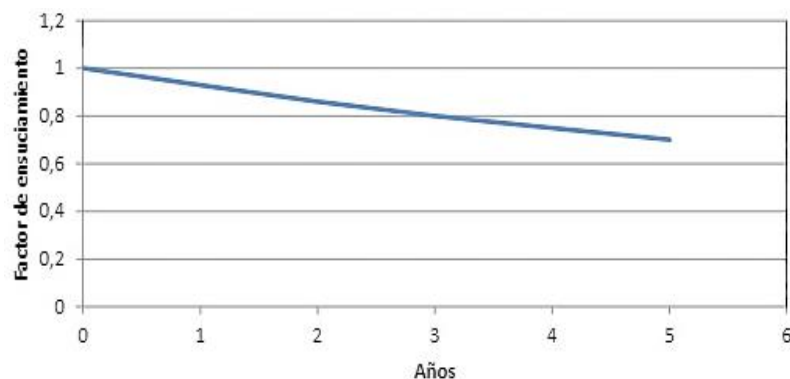


Figura 25. Evolución del factor de ensuciamiento para 5 años (Vasquez, 2007, p.71)

3.4.6.4 Cálculo del flujo de diseño

Haciendo uso de los factores correctores obtenidos en los apartados anteriores y de la expresión que se muestra a continuación, se calcula el caudal de diseño de nuestra membrana:

$$Q_d = Q_n \times f_p \times f_T \times f_e \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

Q_d : es el caudal de diseño de nuestra membrana

Q_n : es el caudal nominal de nuestra membrana

f_p : factor corrector de presión

f_T : factor corrector de temperatura

f_e : factor de ensuciamiento

3.4.7 Cálculo de la presión de operación

Este parámetro es uno de los más importantes a tener en cuenta en el diseño de este tipo de instalación ya que va a condicionar la economía del proceso. Además, es la presión necesaria para vencer la presión osmótica y conseguir la separación. Teniendo en cuenta el flujo de operación de las membranas, la presión requerida para que se dé el proceso es:

$$P_d = \frac{J_d}{K_a} + \Delta\pi \quad \text{Ec. 36}$$

Teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en el sistema. Determinamos la presión óptima de rendimiento de la bomba de alta presión (presión recomendada de bombeo). Esta presión se determina mediante la expresión siguiente:

$$PRB = P_d + (0.10 \times \Delta P^* + 0.2) \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

ΔP : Diferencia de presión neta, la cual se define como:

$$\Delta P^* = P_d - \Delta \pi$$

Ec. 38

3.5 Criterio de selección considerado para las tuberías

Por las características del equipo se decide utilizar tuberías de material PVC. Este material posee ventajas comparativas con relación a otro tipo de tuberías: es económico, flexible, durable, de poco peso y de fácil transporte e instalación; además, son las tuberías que incluyen diámetros comerciales menores de 2 plg y que fácilmente se encuentran en el mercado. Anteriormente se determinó el diámetro de las tuberías Ø1.5", la cual cumple con las condiciones necesarias.

3.6 Selección de válvulas y accesorios de PVC

La oferta en diseños y tipos de válvulas es muy amplia y ofrece múltiples posibilidades, por lo cual se debe seguir una secuencia lógica de parámetros para su selección. Naturalmente estos parámetros estarán influenciados por factores ajenos al aspecto técnico tales como la disponibilidad, o economía.

La primera base de selección se basará en la función que tendrá la válvula; para ello se identifican las siguientes funciones:

- Aislamiento: Interrumpe el flujo de la línea de forma total
- Retención: Impide que el flujo retroceda
- Regulación: Permite modificar la cantidad de flujo
- Seguridad: Protege equipos y personas de sobre presiones. (Comeval, 2007)

El siguiente factor a considerar es la presión de diseño, del cual se derivará los materiales constructivos apropiados. Con estas consideraciones los elementos seleccionados son los siguientes:

3.6.1 Válvula de bola compactas

- ❖ Excelentes características de flujo
- ❖ No se corroe y no hay desgaste
- ❖ Cierre de ¼ de vuelta

- ❖ Presión máxima de trabajo: 235 psi
- ❖ Rosca NPT



Figura 26. Válvula tipo bola SCH80 Ø1.5" (Elaboración propia)

3.6.2 Accesorios de PVC SCH80

Elementos fabricados en PVC (Policloruro de vinilo)

- Este material garantiza la conservación de la calidad del agua
- Instalación rápida y sencilla
- Presión máxima de trabajo: 235 psi
- Resistencia a la corrosión interna



Figura 27. Accesorios de PVC SCH80 Ø1.5" (Elaboración propia)

3.6.3 Manómetros de presión

Para la selección de manómetros de presión es importante tener en cuenta los siguientes factores:

- Composición del fluido
- Temperatura del fluido
- Condiciones ambientales
- Rangos de presión

Generalmente se selecciona un rango de presión dos veces a la presión de trabajo. La presión de trabajo en todos los casos debe limitarse a 75 % del rango del manómetro. Donde se encuentra presión y pulsación alternantes, la presión de trabajo se debe limitar 2/3 el rango del manómetro.



Figura 28. Manómetro de presión (Elaboración propia)

3.7 Evaluación económica del proyecto

Dentro de los indicadores de rentabilidad tenemos:

3.7.1 Valor actual neto (VAN)

Se define el valor actual neto o valor capital de la inversión, como la suma de todos los flujos netos de caja actualizados al momento inicial a una tasa de actualización o de descuento r_j , siendo r_j la tasa de actualización en el año j . Indica la ganancia neta generada por el proyecto.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} - K \quad \text{Ec. 39}$$

Siendo:

K = Inversión inicial.

n = Vida económica de la inversión.

F_j = Flujo de caja en el año j .

i = Tasa de actualización (interés).

Según este criterio, la regla de decisión para aceptar o rechazar un proyecto de inversión es la siguiente:

$VAN < 0$ el proyecto no es rentable.

$VAN = 0$ el proyecto es rentable

$VAN > 0$ el proyecto es rentable.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Dimensionamiento del equipo ablandador

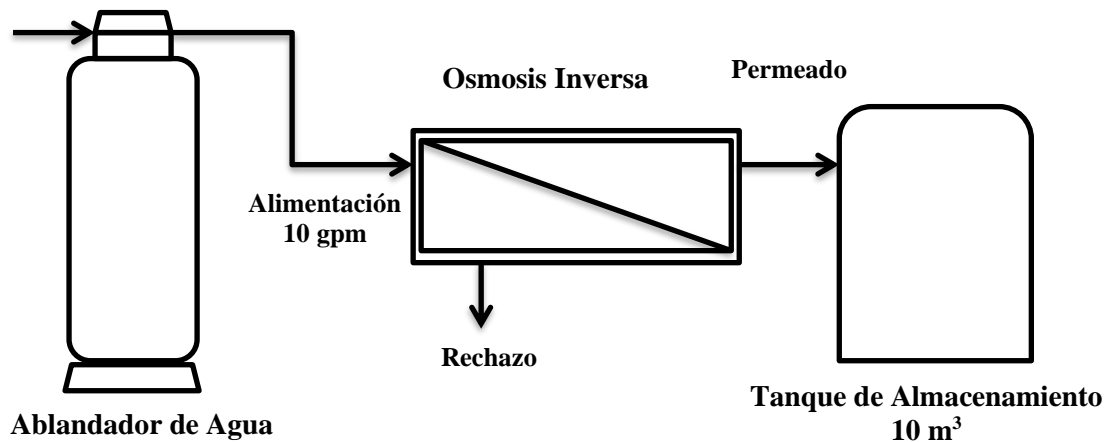


Figura 29. Esquema general del proceso (Elaboración propia)

El caudal de alimentación para el equipo de Osmosis Inversa es de 10 gpm, este parámetro es dado por el cliente. Hallamos el volumen de alimentación al equipo R.O

$$V_{ARO} = 10 \frac{gal}{min} \times \frac{60 min}{1 hora} \times \frac{16 hora}{1 dia}$$

$$V_{ARO} = 9600 gal$$

$$V_{ARO} = 9600 gal \times \frac{3.785lt}{1gal} \times \frac{1m^3}{1000lt}$$

$$V_{ARO} = 36.34 m^3$$

Vamos a diseñar un ablandador que produzca 9600 galones (36.34 m³) de agua blanda. Después de los equipos ablandador de agua y osmosis inversa se instalan dos tanques de almacenamiento de agua de 5 m³ y 10 m³, esto como medida de seguridad y reserva ante probables fallas de dichos equipos o cuando se requiera el mantenimiento de estos se contará con la reserva de agua tratada para los procesos térmicos.

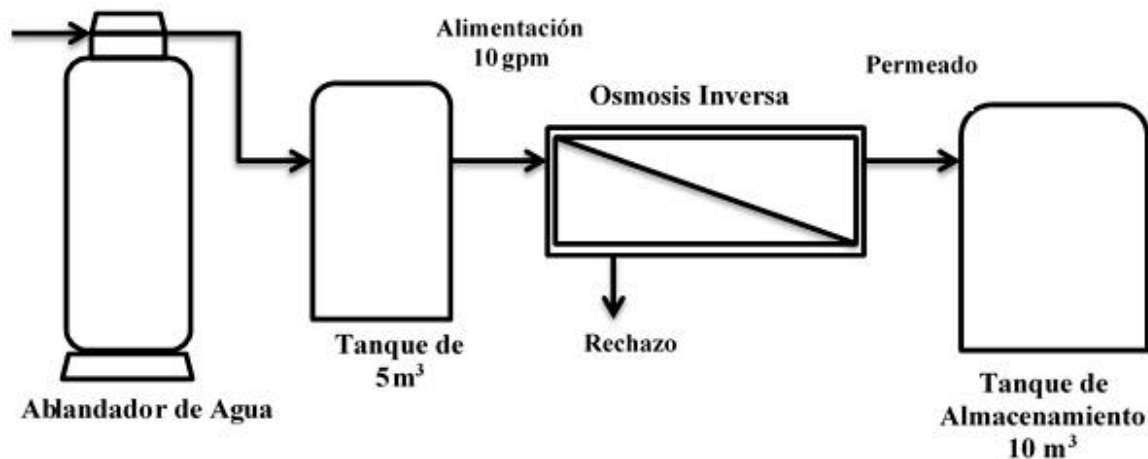


Figura 30. Esquema defino del proceso (Elaboración propia)

4.1.1 Datos para el diseño

Los siguientes datos se obtuvieron del análisis de agua fuente de pozo de la empresa EXSA S.A Tacna.

1) Dureza del agua	:	800 ppm
2) Volumen de agua tratada	:	9600 galones
3) Origen del agua	:	Pozo
4) Temperatura del agua	:	25°C (77 °F)
5) Tipo de sistema deseado por el cliente	:	Simple
6) Diámetro de la tubería	:	Ø 1.5"
7) Tipo de control	:	Automático
9) Tipo de flujo	:	Continuo
10) Horas de operación	:	-----
11) Lugar de instalación	:	-----

4.1.2 Concentración total de solidos disueltos

Para convertir ppm de CaCO₃ a granos/gal de CaCO₃ se usa un factor de conversión.

$$\frac{Dureza}{17.1} = \frac{800}{17.1} = 46.78 \text{ granos/galón}$$

4.1.3 Capacidad de trabajo (CAP)

Se determina la capacidad de trabajo que deberá tener el equipo y se calcula a través de dos parámetros fundamentales que son: dureza y caudal

$$cap = QxDxf_c$$

Dónde:

$$Q = \text{caudal requerido, gal/día} = 9600$$

$$D = \text{dureza, granos/gal} = 46.78$$

$$f_c = \text{factor de seguridad (1.25)}$$

Al remplazar los datos se obtiene:

$$Cap = 9600 \frac{\text{gal}}{\text{dia}} \times 46.78 \frac{\text{granos}}{\text{gal}} \times 1.25$$

$$Cap = 561360 \text{ granos/dia}$$

4.1.4 Selección de resina

Para determinar qué tipo de resina es la más adecuada, se debe considerar los resultados del análisis del agua, la calidad de agua que se desea obtener en función del uso que se le dará, en este caso el objetivo principal es remover las partículas de calcio y de magnesio presentes en el agua, la presencia de estos minerales determina el grado de dureza que posee el agua.

Los iones que poseen estos dos minerales tienen cargas positivas; por lo cual se denominan cationes, en este caso se debe elegir un tipo de resina que pueda eliminar iones de minerales con cargas positivas; esta característica la poseen las resinas catiónicas.

Para el proyecto se utilizará resinas del tipo catiónica fuerte ya que presenta las mejores características y además utiliza como regenerante un material de bajo coste,

fácil manipulación, bajo riesgo de almacenaje y fácil de adquirir; la información técnica se presenta en el Anexo 2.

4.1.5 Dimensionamiento del lecho de resina

1ft³ de resina tiene 33 000 granos (ver Anexo 2), del cálculo anterior se deduce la primera estimación del volumen de resina que se debería utilizar.

$$\begin{array}{l} 33000 \text{ granos} \longrightarrow 1 \text{ ft}^3 \\ 561360 \text{ granos} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{561360 \times 1}{33000} = 17.01 \approx 17 \text{ ft}^3 \text{ de resina}$$

Comprobamos este resultado con la siguiente fórmula general para diseño de ablandadores de agua (Purikor, 2005), Para llevarlo a granos de dureza se dividen las ppm de dureza entre 17.1

$$Q = \frac{\text{Capacidad de intercambio} \times 17.1 \times \text{Volumen de resina}}{\text{Dureza total}}$$

$$\text{Volumen de resina} = \frac{Q \times \text{Dureza total}}{\text{Capacidad de intercambio} \times 17.1}$$

No se puede trabajar al 100% de capacidad de intercambio iónico debido a que la dureza del agua siempre es variable. Por ello calculamos para 75% de capacidad.

$$\begin{array}{l} 33000 \text{ granos} \longrightarrow 100\% \\ X \longrightarrow 75\% \end{array}$$

$$X = \frac{75 \times 33000}{100} = 24750 \frac{\text{granos}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{Volumen de resina} = \frac{9600 \text{ gal} \times 800 \text{ ppm}}{24750 \frac{\text{granos}}{\text{ft}^3} \times 17.1 \frac{\text{ppm}}{\text{granos/gal}}}$$

$$\text{Volumen de resina} = 18.14 \text{ ft}^3$$

Observamos que no hay mucha variación en el volumen de la resina calculada, por ello del Anexo 9 (Álamo Wáter) seleccionamos para 20 ft^3 , como valor entero:

$$\text{Volumen de resina} = 20 \text{ ft}^3$$

Seleccionamos el tanque comercial:

$$\varnothing = 30 \text{ plg.}$$

$$H = 72 \text{ plg.}$$

$$A = 4.91 \text{ ft}^2$$

4.1.6 Cálculo de caudal de retrolavado

$$Q_R = \text{flux} \times A_{\text{tanque}}$$

De la figura 31 (ver Anexo 2), para una cama de expansión al 25% - 50% y Temperatura ambiente 25°C , tenemos:

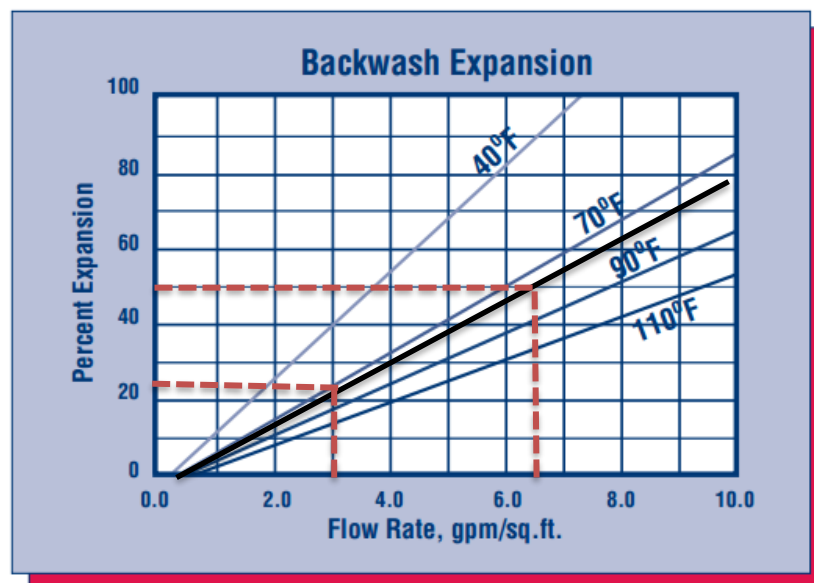


Figura 31. Flux de retrolavado (ResinTech, 2002)

De la figura 31 se obtiene los siguientes valores:

$$flux_{minimo} = 3 \text{ gpm}/ft^2$$

$$flux_{maximo} = 6.6 \text{ gpm}/ft^2$$

Caudal mínimo de Retrolavado:

$$Q_{Rmin} = 3 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \times 4.91 \text{ft}^2$$

$$Q_{Rmin} = 14.73 \text{ gpm}$$

Caudal máximo de Retrolavado:

$$Q_{Rmax} = 6.6 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \times 4.91 \text{ft}^2$$

$$Q_{Rmax} = 32.41 \text{ gpm}$$

Realizamos los cálculos correspondientes para encontrar el caudal de retrolavado satisfactorio:

Tabla 6
Cálculo del caudal de retrolavado

Cama de expansión (%)	flux (gpm/ft2)	Área (ft2)	Vresina (ft3)	Q _R (gpm)	Velocidad Superficial	Velocidad volumétrica
25	3	4.91	20	14.73	3.05	0.75
30	4	4.91	20	19.64	4.07	1.00
35	4.6	4.91	20	22.59	4.68	1.15
40	5.2	4.91	20	25.53	5.29	1.30
45	5.9	4.91	20	28.97	5.90	1.45
50	6.6	4.91	20	32.41	6.51	1.60

Cálculos correspondientes para encontrar el caudal óptimo de retrolavado para el sistema de intercambio iónico, fuente (Elaboración propia).

De la tabla 6 seleccionamos el 30% de la cama de expansión, entonces el caudal usado para una excelente regeneración es ≈ 20 gpm, entonces la bomba centrífuga instalada será de 20 gpm @ 40 psi.

4.1.7 Comprobación de la longitud del tanque

Del Anexo 3, tenemos

$$V_{\text{cilindro}} = 29.45 \text{ ft}^3$$

$$V = A \times H$$

$$H = \frac{V}{A}$$

$$H_{\text{cilindro}} = \frac{29.45}{4.91} = 5.99 \approx 6 \text{ ft} = 72 \text{ plg.}$$

Altura de la resina:

$$29.45 \text{ ft}^3 \text{ ----- } 100 \%$$

$$20 \text{ ft}^3 \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{20 \times 100}{29.45} = 67.9\%$$

$$L_1 = \frac{20}{4.91} = 4.07 \text{ ft} = 48.8 \text{ plg.}$$

Altura de la cama de expansión:

$$100\% \text{ ----- } 29.45 \text{ ft}^3$$

$$30\% \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{25 \times 29.45}{100} = 8.8 \text{ ft}^3$$

$$L_2 = \frac{8.8}{4.91} = 1.79 \text{ ft} = 21.5 \text{ plg.}$$

Altura del lecho de grava

$$H = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_3 = 72 - (48.8 + 21.5) = 1.77 \text{ plg.}$$

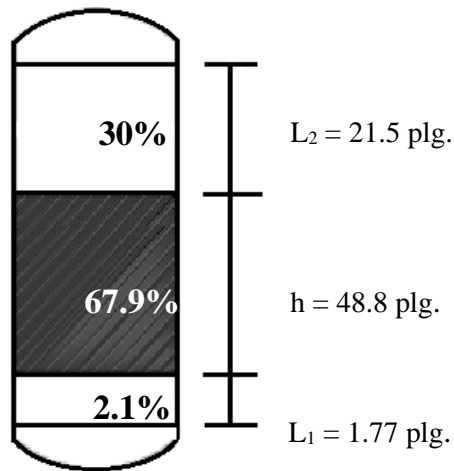


Figura 32. Comprobación de la longitud del tanque (Elaboración propia)

Del Anexo 11, seleccionamos la válvula automática de control, modelo WS 1.5 EE la cual produce agua blanda hasta 70 gpm y es el adecuado para tanques ablandadores de 12" a 30" de diámetro.

4.1.8 Cálculo de la potencia de la bomba

Realizaremos los cálculos de las potencias para la bomba del ablandador de agua, (20 gpm = 4.54 m³/h) y (presión 40 psi = 28.16 m).

– Potencia hidráulica

$$P_3 = P_H = \rho \times g \times Q \times H$$

Donde:

ρ = densidad del líquido en Kg/m³

g = aceleración de gravedad en m/s²

Q = caudal en m³/h

H = altura en m.

$$P_3 = 997 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 4.54 \frac{m^3}{h} \times 28.16 m$$

$$P_3 = 997 \times 9.81 \times 4.54 \times 28.16 \frac{Kg \ m \ m^3}{m^3 \ s^2 \ h} m$$

$$P_3 = 997 \times 9.81 \times 4.54 \times 28.16 \frac{Kg \ m^2}{s^2 \ h} \times \frac{1h}{3600 \ s}$$

$$P_3 = 2.72 \times 4.54 \times 28.16 \ N \times \frac{m}{s}$$

$$P_3 = 2.72 \times 4.54 \times 28.16 \ W$$

Por ello la ecuación simplificada se puede dar como

$$P_3 = 2.72 \times Q \times H$$

$$P_3 = 347.74 = 0.34 \ Kw$$

– **Potencia de la bomba o mecánica**

Consideramos una eficiencia para la bomba de 56.3% (ver Anexo 5, para bomba centrífuga 3x220 V. de la marca Grundfos)

$$P_2 = \frac{2.72 \times Q \times H}{\eta_b}$$

$$P_2 = \frac{2.72 \times 4.54 \times 28.16}{0.563} \ W$$

$$P_2 = 617.7 = 0.617 \ Kw$$

– **Potencia eléctrica**

Consideramos una eficiencia para el motor de 88.8% (ver Anexo 5, para bomba centrífuga 3x220 V. de la marca Grundfos)

$$\eta_{motor} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = \frac{0.6177}{0.888} = 0.695 \text{ Kw}$$

4.1.9 Cálculo del diámetro de la tubería

$$v = \frac{Q_w}{3600 \times \pi \times \left(\frac{\phi_i}{2}\right)^2}$$

ϕ_i : Diámetro Interno tubería (mm)

Q_w : Rango de Flujo del líquido (m³/h)

v : Velocidad del Agua (m/s)

Suponiendo una velocidad del fluido mínimo de 1 m/s

$$\phi_i = \sqrt{\frac{Q_w}{3600v} \times \frac{4}{\pi}}$$

$$\phi_i = \sqrt{\frac{4.46 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h} \times 1 \frac{m}{s}} \times \frac{4}{\pi}}$$

$$\phi_i = 39.71 \text{ mm}$$

De la tabla 7 selección el valor más cercano, diámetro de la tubería $\phi = 1 \frac{1}{2}$ "

Tabla 7
Datos de diámetro nominal tubería SCH 80

Diám. Nominal	Diám. Nominal (mm)	Diám. Extern Prom. (mm.)	Diám. Intern Prom. (mm.)	Esp. de Pared min. (mm)
1/2"	12	21.3	13.4	3.7
3/4"	18	26.7	18.4	3.9
1"	25	33.4	23.8	4.5
1 1/4"	31	42.2	31.9	4.9
1 1/2"	38	48.3	37.5	5.1
2"	50	60.3	48.6	5.5
2 1/2"	62	73	58.2	7
3"	75	88.9	72.7	7.6
4"	100	114.3	96.2	8.6
6"	150	168.3	145.0	11
8"	200	219.1	192.2	12.7

Datos obtenidos de la fuente (EMMSA, n.d.)

Tabla 8
Datos de presión de trabajo en tuberías de PVC

Ø (mm)	ASTM D-1785	ASTM D-1785	ASTM D-2241	ASTM D-2241	ASTM D-2241	ASTM D-2241
	SCH 40	SCH 80	SDR 17	SDR 26	SDR 32.5	SDR 41
	12	600	850	250	160	125
18	480	690	250	160	125	100
25	450	630	250	160	125	100
31	370	520	250	160	125	100
38	330	470	250	160	125	100
50	280	400	250	160	125	100
62	300	420	250	160	125	100
75	260	370	250	160	125	100
100	220	320	250	160	125	100
150	180	280	250	160	125	100
200	160	250	250	160	125	100

Datos de presión de trabajo en tuberías de PVC SCH 40 y 80, fuente (Durman, 2018)

Tabla 9
 Datos de presión de trabajo en accesorios de PVC

Ø (mm)	ASTM D-2466	ASTM D-2467
	SCH 40	SCH 80
12	360	510
18	288	414
25	270	378
31	220	312
38	198	282
50	168	240
62	180	252
75	156	222
100	132	192

Datos de presión de trabajo en accesorios de PVC SCH 40 y 80, fuente (Durman, 2018)

4.1.10 Dimensionamiento del tanque salmuera

Cantidad de NaCl por ciclo de regeneración. Para la concentración se recomienda emplear soluciones entre 10 y 26% de NaCl en agua.

$$\begin{array}{l}
 1ft^3 \text{resina} \longrightarrow 15 \text{ lb NaCl} \\
 20ft^3 \text{resina} \longrightarrow X
 \end{array}$$

$$X = \frac{15 \times 20}{1} = 300 \text{ lb NaCl}$$

$$X = 300 \text{ lb NaCl} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb NaCl}} = 136.36 \text{ kg NaCl}$$

Tamaño del tanque salmuera

$$\begin{array}{l}
 2.6 \text{ lb NaCl} \longrightarrow 1 \text{ gal H}_2\text{O} \\
 300 \text{ lb NaCl} \longrightarrow X
 \end{array}$$

$$X = \frac{300 \times 1}{2.6} = 115 \text{ galH}_2\text{O}$$

Del Anexo 10, de la marca Clack seleccionamos un tanque salmuera de Ø30x48” que tiene una capacidad hasta 145 galones.

4.1.11 Cálculo de los tiempos de regeneración de la resina

– **Retrolavado (Backwash)**

$$V = A \times h$$

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

$$V = \frac{\pi \times (30)^2}{4} \times 72$$

$$V = 50893.80 \text{ plg}^3$$

$$V = 50893.80 \text{ plg}^3 \times \frac{1 \text{ lit}}{61.02 \text{ plg}^3} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ lit}} = 220.35 \text{ gal}$$

$$t_{backwash} = \frac{V}{Q}$$

$$t_{backwash} = \frac{220.35 \text{ gal}}{20 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}}$$

$$t_{backwash} = 11.01 \text{ min.} \approx 11 \text{ min.}$$

– **Succión de salmuera (Draw)**

Del Anexo 12, seleccionamos el tipo de inyector de acuerdo al diámetro del talque calculado, seleccionando el código V3010-15H.

De la tabla B1-6: Inyector N° V3010-15H

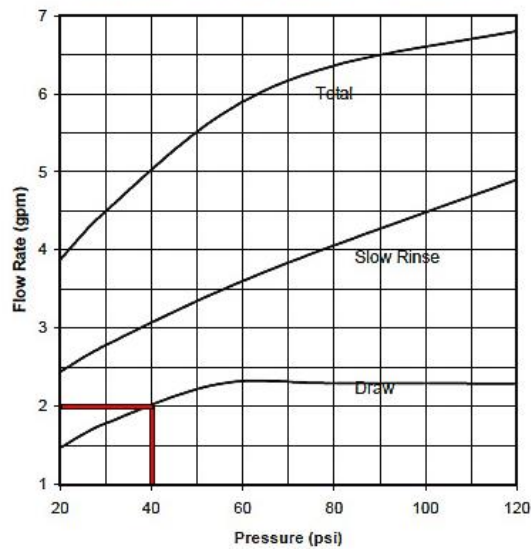


Figura 33. Flujo de succión (clack corporation, 2015)

Para una $P = 40$ psi

Flux de succión = 2 gpm

$$t_{draw} = \frac{115 \text{ gal}}{2 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}} = 57.5 \text{ min.} \approx 58 \text{ min}$$

– **Enjuague (Rinse)**

De la tabla B1-6: Inyector N° V3010-15H

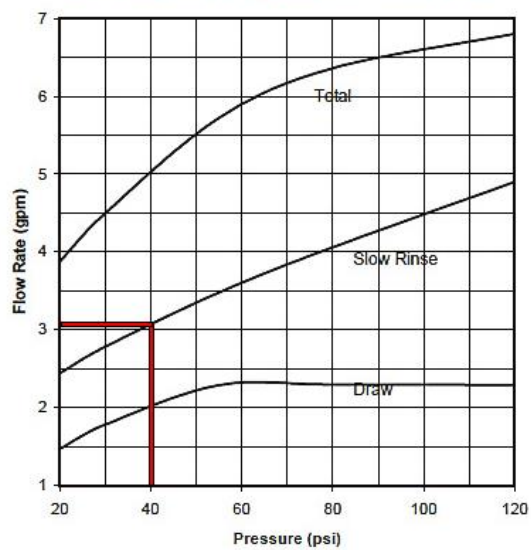


Figura 34. Flujo para enjuague (clack corporation, 2015)

Para una P = 40 psi

Flux de enjuague = 3.1 gpm

$$t_{rinse} = \frac{115 \text{ gal}}{3.1 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}} = 37.09 \text{ min.} \approx 37 \text{ min}$$

– **Reposición de agua al tanque salmuera (Fill)**

Flux de Fill = 10 gpm

$$t_{fill} = \frac{115 \text{ gal}}{10 \frac{\text{gal}}{\text{min.}}}$$

$$t_{fill} = 11.5 \text{ min.} \approx 12 \text{ min}$$

Tabla 10
Flujos en restrictores

Flow Control	Flow Rate (gpm)
V3182	0.5
V3162-007	0.7
V3162-010	1
V3162-013	1.3
V3162-017	1.7
V3162-022	2.2
V3162-027	2.7
V3162-032	3.2
V3162-042	4.2
V3162-053	5.3
V3162-065	6.5
V3162-075	7.5
V3162-090	9
V3162-100	10

Flujos nominales para diferentes diámetros de restrictores, fuente (clack corporation, 2015)

4.2 Cálculo de la bomba de alimentación a la osmosis inversa

Realizaremos los cálculos de las potencias para la bomba quien alimentará a al equipo de osmosis inversa, como datos tenemos:

$$Q_{\text{alimentación}} = 10 \text{ gpm} = 2.27 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P = 40 \text{ psi} = 28.16 \text{ m}$$

– Potencia hidráulica

$$P_3 = P_H = \rho \times g \times Q \times H$$

$$P_3 = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2.27 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 28.16 \text{ m}$$

$$P_3 = 997 \times 9.81 \times 2.27 \times 28.16 \frac{\text{Kg m m}^3}{\text{m}^3 \text{ s}^2 \text{ h}} \text{ m}$$

$$P_3 = 997 \times 9.81 \times 2.27 \times 28.16 \frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^2 \text{ h}} \times \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}}$$

$$P_3 = 2.72 \times 2.27 \times 28.16 \text{ N} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_3 = 173.87 \text{ W} = 0.173 \text{ KW}$$

– Potencia de la bomba o mecánica

Consideramos una eficiencia para la bomba de 58 % (ver Anexo 6, para bomba centrífuga 3x220 V. de la marca Grundfos

$$P_2 = \frac{2.72 \times Q \times H}{\eta_b}$$

$$P_2 = \frac{2.72 \times 2.27 \times 28.16}{0.58} = 299.7 = 0.299 \text{ Kw}$$

– Potencia eléctrica

Consideramos una eficiencia para el motor de 84.3 % (ver Anexo 6, para bomba centrífuga 3x220 V. de la marca Grundfos

$$\eta_{motor} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0.299}{0.843} = 0.355 \text{ Kw}$$

4.3 Dimensionamiento del equipo de osmosis inversa

4.3.1 Diseño del proceso

Tenemos la siguiente composición iónica del agua luego de pasar por el sistema de pretratamiento (intercambio iónico), esta se recoge en la siguiente tabla 11.

Tabla 11
Características del agua fuente del proyecto

Iones	Agua bruta (mg/l)
CaCO ₃	4.00
Ca ²⁺	0.80
Mg ²⁺	0.49
Na ⁺	1435.00
K ⁺	33.11
Ba ²⁺	0.02
Sr ²⁺	1.49
CO ₃ ²⁻	1.26
HCO ₃ ⁻	377.47
SO ₄ ²⁻	1728.00
Cl ⁻	743.40
F ⁻	0.12
NO ₃ ⁻	4.21
SiO ₂	70.00
B ³⁺	10.89
CO ₂	17.15
TDS	4427.404
PH	7.45

Análisis del agua fuente a tratar, fuente (EXSA Tacna S.A.)

Por lo tanto, tenemos en nuestra agua de alimentación un total de 4427.404 mg/l de sólidos disueltos.

Datos de Diseño

T= 25°C

PH=7.45

4.3.2 Balance de materia

Conocidos el caudal de alimentación y el rendimiento global, resolvemos el balance de materia.

$$Q_{a1} = 10 \text{ gpm}$$

Por tanto, el caudal de agua producto será de:

$$Q_{p1} = Q_{a1} \times \eta$$

$$Q_{p1} = 10 \text{ gpm} \times 0.45$$

$$Q_{p1} = 4.5 \text{ gpm}$$

Y el caudal de rechazo:

$$Q_{r1} = Q_{a1} - Q_{p1}$$

$$Q_{r1} = 10 \text{ gpm} - 4.5 \text{ gpm} = 5.5 \text{ gpm}$$

En la Figura 35 se muestra el diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa con los resultados obtenidos:

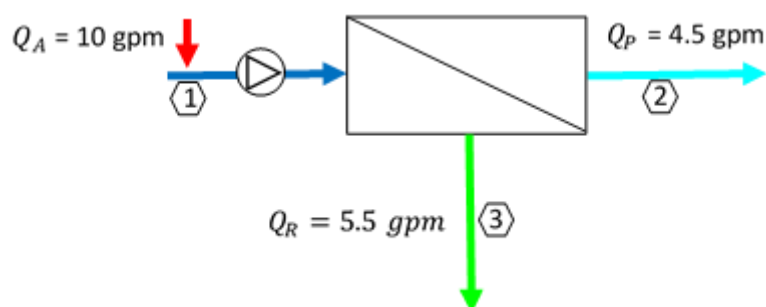


Figura 35. Flujos de la unidad de ósmosis inversa (Elaboración propia)

Usaremos un sistema de doble etapa, ya que se trata de conseguir una mayor cantidad de agua producto

Etapa 1-1

$$Q_{a1} = 10 \text{ gpm}$$

Por tanto, el caudal de agua producto será de:

$$Q_{p1} = Q_{a1} \times \eta$$

$$Q_{p1} = 10 \text{ gpm} \times 0.3$$

$$Q_{p1} = 3 \text{ gpm}$$

Y el caudal de rechazo:

$$Q_{r1} = Q_{a1} - Q_{p1}$$

$$Q_{r1} = 10 \text{ gpm.} - 3 \text{ gpm}$$

$$Q_{r1} = 7 \text{ gpm}$$

$$Q_{PT} = Q_{P1} + Q_{P2}$$

$$Q_{P2} = Q_{Pt} - Q_{P1} = 4.5 - 3 = 1.5 \text{ gpm}$$

$$\eta^* = \frac{1.5}{7} = 0.21$$

Etapa 1-2 Siempre es deseable que la segunda etapa sea la que tenga menor recuperación ya que es aquella que trata la solución más concentrada y el darle una mayor carga la hará más propensa a saturarse restándole eficiencia al proceso.

$$Q_{p2} = Q_{a2} \times \eta$$

$$Q_{p2} = 7 \text{ gpm} \times 0.21$$

$$Q_{p2} = 1.47 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r2} = Q_{a2} - Q_{p2}$$

$$Q_{r2} = 7 \text{ gpm.} - 1.47 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r2} = 5.53 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r2} = 5.53 \times 0.80 \text{ gpm.}$$

$$Q_R = 4.42 \text{ gpm}$$

Recalculando nuevamente:

Etapas 1-1

$$Q_{an} = Q_{a1} + Q_R$$

$$Q_{an} = 10 \text{ gpm.} + 4.42 \text{ gpm}$$

$$Q_{an} = 14.42 \text{ gpm}$$

$$Q_p = Q_a \times \eta$$

$$Q_{p1} = 14.42 \text{ gpm} \times 0.32$$

$$Q_{p1} = 4.61 \text{ gpm}$$

$$Q_{r1} = Q_{a1} - Q_{p1}$$

$$Q_{r1} = 14.42 \text{ gpm.} - 4.61 \text{ gpm}$$

$$Q_{r1} = 9.81 \text{ gpm}$$

Etapas 1-2

$$Q_{p2} = 9.81 \text{ gpm} \times 0.19$$

$$Q_{p2} = 1.86 \text{ gpm}$$

$$Q_{r2} = Q_{a2} - Q_{p2}$$

$$Q_{r2} = 9.81 \text{ gpm.} - 1.86 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r2} = 7.95 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r3} = Q_{r2} - Q_R = 7.95 - 4.42 \text{ gpm.}$$

$$Q_{r3} = 3.53 \text{ gpm}$$

$$Q_{PT} = Q_{P1} + Q_{P2} = 4.61 + 1.86 = 6.47 \text{ gpm.}$$

$$\eta_{sistema} = \frac{6.47}{10} \times 100 = 64.7 \%$$

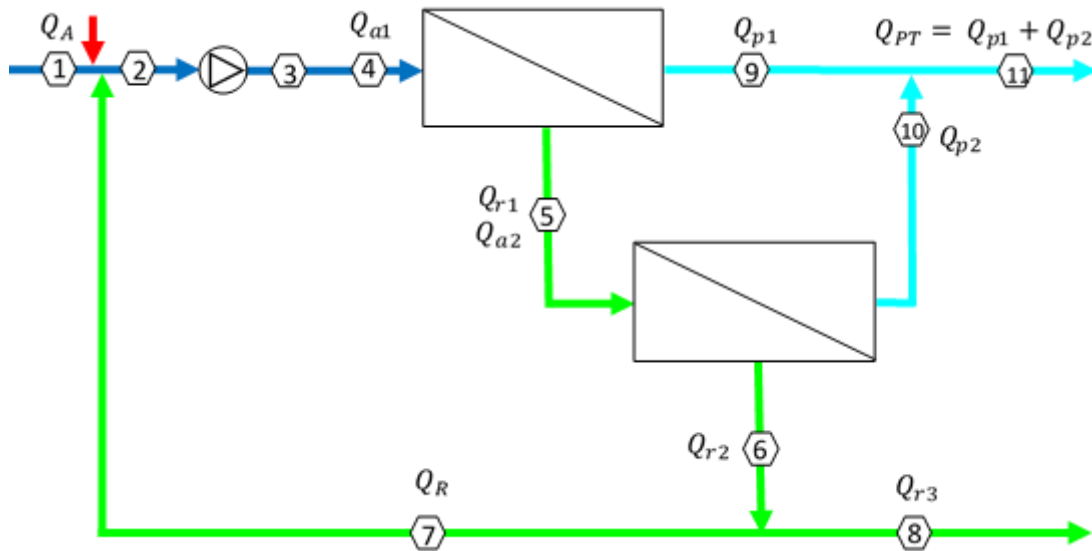


Figura 36. Diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa con los resultados obtenidos (Elaboración propia)

por lo tanto, la producción diaria de agua osmotizada será:

$$Q_{PT} = Q_{P1} + Q_{P2} = 4.61 + 1.86 = 6.47 \text{ gpm.}$$

$$V_{\text{agua osmotizada}} = 6.47 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times \frac{16 \text{ hora}}{1 \text{ día}} \times \frac{3.785 \text{ lt}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}}$$

$$V_{\text{agua osmotizada}} = 23.51 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

4.3.3 Cálculo del número de membranas y tubos de presión

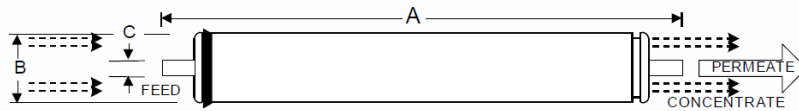


Figura 37. Membrana para osmosis inversa (Hydranautics, 2010)

Tabla 12

Dimensiones de la membrana de Osmosis Inversa

A (mm)	B (mm)	C (mm)	Peso (kg)
1016	100.3	19.1	3.6

Fuente (Hydranautics, 2010)

$$N_m = \frac{Q_p}{J \times A_m}$$

A_m : area de la menbra = 7.43 m² (ver Anexo 4)

Q_n : caudal nominal por el fabricante = 7.95 m³/d = 0.33 m³/h

J : flujo de diseño

Etapa 1-1

$$J = \frac{Q_n}{A_m}$$

$$N_m = \frac{Q_{p1}}{Q_n}$$

$$N_m = \frac{4.61 \text{ gpm}}{0.33 \times 4.4 \text{ gpm}}$$

$$N_m = 3.17 \approx 4 \text{ membranas}$$

Etapas 1-2

$$N_m = \frac{Q_{p2}}{Q_n}$$

$$N_m = \frac{1.86 \text{ gpm}}{0.33 \times 4.4 \text{ gpm}}$$

$$N_m = 1.28 \approx 2 \text{ membranas}$$

Aplicando la recomendación del fabricante de utilizar 2 membranas por tubo de presión, se tiene que el número total de tubos de presión será de:

$$N_v = \frac{N_m}{N_{ev}}$$

Etapas 1-1

$$N_v = \frac{4}{2} = 2 \text{ tubos de presión}$$

Etapas 1-2

$$N_v = \frac{2}{2} = 1 \text{ tubo de presión}$$

4.3.4 Cálculo de la concentración de rechazo, permeado y total de sólidos disueltos (TSD)

Conocidos los caudales volumétricos de todas las corrientes y las concentraciones de los distintos iones en la corriente de alimentación, se calculan las concentraciones de estos mismos iones en las corrientes del permeado y del rechazo. Para ello se resuelve el balance de materia:

$$Q_A = Q_P + Q_R$$

$$Q_A x C_A = Q_P x C_P + Q_R x C_R$$

Despejando de la ecuación 6 la concentración del permeado para el componente i, se tiene que:

$$C_{Pi} = \frac{C_{Ai} \times Q_{Ai} - C_{Ri} \times Q_{Ri}}{Q_{Pi}}$$

Por otro lado, conocidos la concentración de la alimentación para el componente i, detallada en la tabla 11, el rechazo de sales de la membrana y la conversión global del sistema, se determina la concentración del rechazo para el componente i:

$$C_{Ri} = \frac{R \times C_{Ai}}{1 - \eta}$$

Por ejemplo, para el ión Boro, donde la concentración en la alimentación y el porcentaje de rechazo de la membrana hacia el boro son:

$$B = 10.89 \text{ mg/l}$$

$$R = 99.7 \%$$

Utilizando las ecuaciones 3.17 y 3.13 se tiene que la concentración de boro en las corrientes de rechazo y permeado respectivamente es:

$$C(B)_R = \frac{0.997 \times 10.89}{1 - 0.3} = 15.51 \text{ mg/l}$$

$$C(B)_P = \frac{10 \times 10.89 - 7 \times 15.51}{3} = 0.11 \text{ mg/l}$$

Para el resto de componentes, el porcentaje de rechazo de la membrana es 99,7%. Realizando el cálculo de la misma forma que para el boro, se obtiene, como puede verse a continuación en la tabla 13, las composiciones de cada una de las corrientes. No obstante, debe tenerse en cuenta que los valores de rechazo de sales dados por el fabricante corresponden a las llamadas condiciones de test de la membrana. Por tanto, para obtener valores reales en unas condiciones de operación distintas a las de test es necesario aplicar los correspondientes factores de corrección según se describe posteriormente. Por otra parte, cabe tener en cuenta que el PH es un parámetro de operación de gran influencia en el rechazo de boro.

Tabla 13

Composición corrientes rechazo y permeado

Iones	Q _{a1} (gpm)	Q _{P1} (gpm)	Q _{R1} (gpm)	Q _{P2} (gpm)	Q _{R2} (gpm)	C _{a1} (mg/l)	C _{r1} (mg/l)	C _{p1} (mg/l)	C _{r2} (mg/l)	C _{p2} (mg/l)	C _R (mg/l)	C _{nueva} (mg/l)
CaCO ₃	10	3	7	1.47	5.53	4.00	5.697	0.040	7.190	0.081	7.190	5.035
Ca ²⁺	10	3	7	1.47	5.53	0.80	1.139	0.008	1.438	0.016	1.438	1.007
Mg ²⁺	10	3	7	1.47	5.53	0.49	0.698	0.005	0.881	0.010	0.881	0.617
Na ⁺	10	3	7	1.47	5.53	1435.00	2043.850	14.350	2579.390	29.198	2579.390	1806.476
K ⁺	10	3	7	1.47	5.53	33.11	47.158	0.331	59.515	0.674	59.515	41.681
Ba ²⁺	10	3	7	1.47	5.53	0.02	0.027	0.000	0.034	0.000	0.034	0.024
Sr ²⁺	10	3	7	1.47	5.53	1.49	2.115	0.015	2.669	0.030	2.669	1.869
CO ₃ ²⁻	10	3	7	1.47	5.53	1.26	1.795	0.013	2.265	0.026	2.265	1.586
HCO ₃ ⁻	10	3	7	1.47	5.53	377.47	537.625	3.775	678.497	7.680	678.497	475.185
SO ₄ ²⁻	10	3	7	1.47	5.53	1728.00	2461.166	17.280	3106.053	35.160	3106.053	2175.324
Cl ⁻	10	3	7	1.47	5.53	743.40	1058.814	7.434	1336.250	15.126	1336.250	935.843
F ⁻	10	3	7	1.47	5.53	0.12	0.171	0.001	0.216	0.002	0.216	0.151
NO ₃ ⁻	10	3	7	1.47	5.53	4.21	5.996	0.042	7.567	0.086	7.567	5.300
SiO ₂	10	3	7	1.47	5.53	70.00	99.700	0.700	125.824	1.424	125.824	88.121
B ³⁺	10	3	7	1.47	5.53	10.89	15.510	0.109	19.575	0.222	19.575	13.709
CO ₂	10	3	7	1.47	5.53	17.15	24.427	0.171	30.827	0.349	30.827	21.590
TDS						4427.404	6305.888	44.274	7958.191	90.084	7958.191	5573.518

Datos calculados de los caudales, concentración y permeado de las diferentes sales disueltas o partículas a tratar, fuente (Elaboración propia)

Tabla 14

Composición corrientes rechazo, permeado y caudal de recirculación

Iones	Q _{a1} (gpm)	Q _{P1} (gpm)	Q _{R1} (gpm)	Q _{P2} (gpm)	Q _{R2} (gpm)	C _{a1} (mg/l)	C _{r1} (mg/l)	C _{p1} (mg/l)	C _{r2} (mg/l)	C _{p2} (mg/l)	C _{pT} (mg/l)
CaCO ₃	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	5.035	7.383	0.047	9.087	0.117	0.074
Ca ²⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	1.007	1.477	0.009	1.817	0.023	0.015
Mg ²⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	0.617	0.904	0.006	1.113	0.014	0.009
Na ⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	1806.476	2648.612	16.936	3260.082	41.820	26.440
K ⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	41.681	61.112	0.391	75.220	0.965	0.610
Ba ²⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	0.024	0.035	0.000	0.043	0.001	0.000
Sr ²⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	1.869	2.741	0.018	3.374	0.043	0.027
CO ₃ ²⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	1.586	2.326	0.015	2.863	0.037	0.023
HCO ₃ ⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	475.185	696.705	4.455	857.549	11.001	6.955
SO ₄ ²⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	2175.324	3189.409	20.394	3925.729	50.359	31.839
Cl ⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	935.843	1372.110	8.774	1688.881	21.665	13.697
F ⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	0.151	0.221	0.001	0.273	0.003	0.002
NO ₃ ⁻	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	5.300	7.770	0.050	9.564	0.123	0.078
SiO ₂	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	88.121	129.201	0.826	159.028	2.040	1.290
B ³⁺	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	13.709	20.100	0.129	24.740	0.317	0.201
CO ₂	14.42	4.61	9.81	1.86	7.94	21.590	31.654	0.202	38.962	0.500	0.316
TDS						5573.518	8171.760	52.252	10058.327	129.028	81.576

Datos calculados con el caudal de recirculación, concentración y permeado de las diferentes sales disueltas o partículas a tratar, fuente (Elaboración propia)

Sumando todas las composiciones se obtienen los sólidos totales disueltos en cada una de las corrientes. Para la corriente de permeado, corriente de interés, se tiene que:

$$TDS_p = 81.576 \text{ mg/l}$$

4.3.5 Cálculo de la presión osmótica

Tabla 15
Concentración de sales disueltas en la alimentación del agua

Iones	C _{al} (mg/l)	Masa molar (g/mol)
CaCO ₃	5.035	100.09
Ca ²⁺	1.007	40.08
Mg ²⁺	0.617	24.31
Na ⁺	1806.476	22.99
K ⁺	41.681	39.10
Ba ²⁺	0.024	137.33
Sr ²⁺	1.869	87.62
CO ₃ ²⁻	1.586	60.01
HCO ₃ ⁻	475.185	61.02
SO ₄ ²⁻	2175.324	96.06
Cl ⁻	935.843	35.45
F ⁻	0.151	19.00
NO ₃ ⁻	5.300	62.00
SiO ₂	88.121	60.08
B ³⁺	13.709	10.81
CO ₂	21.590	44.01

Fuente (Elaboración propia)

En primer lugar, se determinan los sólidos totales disueltos en la corriente:

$$TDS = \sum C_i = 5573.518 \text{ mg/l}$$

A continuación, se realiza el cálculo de la molalidad de la corriente. Para ello es necesario obtener primero la molalidad de cada componente, y después con el sumatorio de todas se tendrá la molalidad de la corriente. La expresión a utilizar es la que se expone a continuación.

Para el caso del sodio:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 \times M_i \frac{10^6 - TSD}{10^6}}$$

$$m_i = \frac{1806.48}{1000 \times 22.99 \frac{10^6 - 5573.518}{10^6}} = 0.07901 \text{ mol/kg}$$

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 16
Resultado de molalidades

Iones	m_i (mol/kg de agua)
CaCO ₃	0.0000506
Ca ²⁺	0.0000253
Mg ²⁺	0.0000255
Na ⁺	0.0790170
K ⁺	0.0010720
Ba ²⁺	0.0000002
Sr ²⁺	0.0000215
CO ₃ ²⁻	0.0000266
HCO ₃ ⁻	0.0078310
SO ₄ ²⁻	0.0227724
Cl ⁻	0.0265469
F ⁻	0.0000080
NO ₃ ⁻	0.0000860
SiO ₂	0.0014749
B ³⁺	0.0012753
CO ₂	0.0004933

Fuente (Elaboración propia)

Seguidamente se calcula la valencia de cada ion, de la tabla 16

Tabla 17
Valencia de los iones

Iones	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ba ²⁺	Sr ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	B ³⁺
Z _i	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	3

Fuente (Elaboración propia)

Con los datos de molalidad y valencia, se calculan las fuerzas iónicas. Para ello es necesario tener calculados los términos siguientes:

$$\sum m_i = 0.140726 \text{ mol}/1000 \text{ g de agua}$$

$$\sum (m_i x Z_i^2) = 0.2175$$

$$I = \frac{1}{2} x \sum (m_i x Z_i^2)$$

$$I = \frac{1}{2} x 0.2175 = 0.109$$

$$I' = \frac{1}{2} x \sum m_i$$

$$I' = \frac{1}{2} x 0.140726 = 0.0704$$

Por tanto:

$$I = 0.109$$

$$I' = 0.0704$$

A continuación, se calcula el valor del coeficiente osmótico y como se puede observar en su definición, para calcularlo son necesarios los siguientes datos:

- ✓ Fuerza iónica, calculada anteriormente.

✓ Correlaciones empíricas tales como A, B, C, D y S, definidas en párrafos anteriores:

$$D = 233.76 + \frac{5321}{(25 + 273.16)} - 0.9297x(25 + 273.16) + 0.001417x(25 + 273.16)^2 - 8.292x10^{-7}x(25 + 273.16)^3$$

$$D = 78.398$$

$$C = \frac{40.5016}{(25 + 273.16)} - 0.721404 + 0.103915x \ln(25 + 273.16)$$

$$C = 0.0065$$

$$B = 6.72817 - \frac{348.662}{25 + 273.16} - 0.971307x \ln(25 + 273.16)$$

$$B = 0.0246$$

$$A = 1 + 1.5x(0.109)^{1/2}$$

$$A = 1.495$$

$$\rho = 1.0057 - 1.5609x10^{-4}x298.16 - 2.6949x10^{-6}x298.16^2$$

$$\rho = 0.9542$$

$$S = 1.17202x \left(\frac{0.2175}{0.140726} \right) \left[\frac{23375.556}{78.398x(25 + 273.16)} \right]^{3/2} x 0.9542^{1/2}$$

$$S = 1.7695$$

$$\phi = 1 - \frac{1.7695}{3.375 \times 0.109} \times \left(1.495 - 2 \times \ln 1.495 - \frac{1}{1.495} \right) + 0.0246 \times 0.0704 + 0.0065 \times 0.0704^2$$

$$\phi = 0.8967$$

$$\pi = 0.08308 \times 0.8967 \times (25 + 273.16) \times 0.140726$$

$$\pi = 3.126 \text{ bar}$$

Haciendo los mismos cálculos para las corrientes de permeados y rechazo, se obtiene que:

Tabla 18
Resumen de las presiones osmóticas

Corriente	Presión osmótica, π (bar)
Alimentación	3.126
Rechazo	5.585

Fuente (Elaboración propia)

4.3.6 Normalización del sistema

4.3.6.1 Factor de corrector de temperatura

$$TCF = f_T = e^{K_T \left(\frac{1}{(273+t)^\circ K} - \frac{1}{298^\circ K} \right)}$$

En esta ecuación, se utiliza una temperatura de 25 ° C para nuestro proyecto y Constante dependiente del tipo de membrana 2700 °K.

$$TCF = e^{2700^\circ K \left(\frac{1}{(273+25)^\circ K} - \frac{1}{298^\circ K} \right)}$$

$$TCF = 1$$

4.3.6.2 Factor corrector de presión

$$P_m = \frac{11 \text{ l/m}^2\text{h}}{0.833 \text{ l/m}^2\text{h bar}} + 2.45 \text{ bar}$$

$$P_m = 15.65 \text{ bar}$$

$$f_p = \frac{(15.65 - 2.45)_{operación}}{(55 - 22.2)_{prueba}} = 0.40$$

4.3.6.3 Factor de ensuciamiento

Factor de ensuciamiento o factor corrector del tiempo de operación: es un coeficiente que representa el deterioro que sufre la membrana en su funcionamiento.

En nuestro caso, vamos a trabajar con una edad de 4 años para las membranas, el cambio total no necesariamente se puede dar en este año, dependerá de la calidad de agua obtenida. El factor de ensuciamiento sería.

$$f_e = 0.75$$

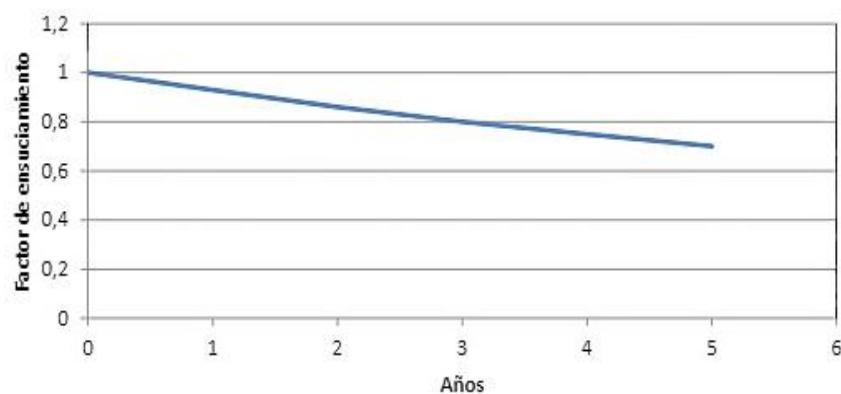


Figura 38. Evolución del factor de ensuciamiento para 5 años (Vasquez, 2007)

4.3.7 Cálculo del flujo de diseño

Haciendo uso de los factores correctores obtenidos en los apartados anteriores y de la expresión que se muestra a continuación, se calcula el caudal de diseño de nuestra membrana, de la ecuación 35

$$Q_d = Q_n \times f_p \times f_T \times f_e$$

$$Q_d = 7.95 \times 1 \times 0.40 \times 0.75$$

$$Q_d = 2.385 \frac{m^3}{dia}$$

De la ecuación 5

$$J_d = \frac{Q_d}{A_m} = \frac{3.63}{7.43} = 0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

$$J_d = 13.37 \text{ l/m}^2\text{h}$$

4.3.8 Cálculo de la presión de operación

Teniendo en cuenta el flujo de operación de las membranas, la presión requerida para que se dé el proceso es:

$$P_d = \frac{J_d}{K_a} + \Delta\pi$$

$$P_d = \frac{13.37}{0.833} + 2.45 = 18.5$$

Teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en el sistema. Determinamos la presión óptima de rendimiento de la bomba de alta presión (presión recomendada de bombeo).

$$PRB = P_d + (0.10 \times \Delta P * + 0.2)$$

Donde.

ΔP : Diferencia de presión neta, la cual se define como:

$$\Delta P * = P_d - \Delta\pi$$

Por tanto, sustituyendo se obtiene que la presión recomendada de bombeo es:

$$PRB = 18.5 + (0.10 \times (18.5 - 2.45) + 0.2) = 20.3 \text{ bar}$$

$$PRB = 20.3 \text{ bar}$$

$$Q_a = 14.42 \text{ gpm}$$

4.3.9 Cálculo de la potencia de la bomba

Realizaremos los cálculos de las potencias para la bomba de alta presión de la osmosis inversa, del Anexo 7 (bombas de alta presión marca, Berkeley 3*220 V) seleccionamos la bomba centrífuga BVM 4 con una potencia eléctrica de 7.5 HP (7.457 kW) para un caudal de trabajo de 14.42 gpm y 20.8 bar de presión

4.4 Evaluación económica del proyecto

4.4.1 Presupuesto total del sistema de intercambio iónico y osmosis inversa

En la Tabla 19, observamos el presupuesto final del sistema de tratamiento de agua y el pago anual que habrá que desembolsar para una amortización de 10 años.

Tabla 19
Presupuesto final del sistema Intercambio iónico-Osmosis inversa

Código	Denominación	Monto (US\$)
5 - 3 - 0	Bienes	15079.35
5 - 3 - 0	Servicios	950.00
5 - 3 - 1	Bienes	8550.00
5 - 3 - 1	Servicios	950.00
	Subtotal	25529.35
	IGV (18%)	4595.283
	TOTAL	30124.633
	Costo de equipo (US\$/año)	3012.463

Los detalles se pueden observar en el presupuesto económico ubicada en los anexos

4.4.1.1 Gastos directos

– Reposición de membranas

La experiencia ha demostrado que, durante los primeros años de vida de los módulos de membrana de ósmosis inversa, el grado de reposición es muy bajo. El período de vida útil esperado para los módulos elementales seleccionados en este proyecto es de 10 años, tras los cuáles se debe proceder a su reposición total. Esto supone que a partir del décimo año habrá que considerar el coste de membranas nuevas. Sin embargo, este coste de las nuevas membranas se repartirá en los 10 años de vida esperados. Por tanto, suponiendo un incremento del 3% en el precio de los módulos elementales de membrana y un período de amortización de 10 años se obtiene que la cuota anual por reposición de membranas a partir del décimo año es:

Precio membrana: \$ 249.99

Cantidad de membranas: 6

Primer año precio total por las membranas

$$P_{TM} = 249.99 \times 6 = \$ 1499.94$$

Año diez, precios totales por las membranas

$$P_{TM} = (249.99 + 249.99 \times 0.03) \times 6 = \$ 1544.93$$

Costo anual por reposición de membranas

$$C_{ARM} = \frac{1544.93}{10} = \$ 154.493$$

– Cloruro de sodio (NaCl)

La cantidad de cloruro de sodio calculada por regeneración de resina para el equipo ablandador de 20 ft³ fue 136.36 kg NaCl = 300 lb NaCl, consideramos

cada 3 días se debe agregar el NaCl ya que el equipo ablandador está diseñado con un margen de autonomía (la regeneración no será diaria). El precio del NaCl se consideró de la fuente (TodoAgua, 2019).

$$\text{Costo anual}_{\text{NaCl}} = 300 \text{ lb NaCl} \times 0.4324 \frac{\text{US\$}}{\text{lb NaCl}} \times \frac{8 \text{ veces}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo anual}_{\text{NaCl}} = 12453 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

– Electricidad

El punto de máximo consumo de energía de la instalación es la bomba de alta presión. Luego de la memoria descriptiva se tiene que la potencia total consumida por el sistema de tratamiento de agua es 6.642 kW. La Tarifa a aplicar será la de media tensión MT4. Y según la tarifa eléctrica para cargo por energía activa del presente proyecto, se tiene que el precio es de 20.59 ctm. S/. /kWh (Osinermin). Esta es suministrada por ELECTROSUR S.A. Por tanto, teniendo en cuenta que la planta funcionará 16 horas diaria, la producción trabaja 3 turnos de 8 horas diarias, 24 días al mes (lunes a sábado). Por lo tanto, el coste anual de la potencia consumida es:

Tabla 20
Costo anual de energía Intercambio iónico-Osmosis inversa

Equipos	Potencia consumida (Kw)	Coste energía (ctm. S/. /kWh)	Coste anual total (US\$ / año)
Bomba alimentación a ablandador de agua	0.695	20.59	1971.32
Bomba alimentación equipo de osmosis inversa	0.355	20.59	1006.93
Bomba de alta presión	5.592	20.59	15861.33
TOTAL	6.642		18839.58

Datos del costo anual de energía del sistema de tratamiento de agua, fuente (Elaboración propia).
Considerando el tipo de cambio de soles a dólares US\$ 1 = S/. 3.345 (La República, 2019)

– **Mantenimiento**

En este apartado se incluyen los materiales de mantenimiento (repuestos, lubricantes, etc), materiales para el control preventivo de la instalación y reparaciones para la conservación de las instalaciones, así como algunos consumibles y el trabajo de mantenimiento. Para estimar este coste, se toma como cifra razonable un 3% anual del valor de los equipos a excepción de las membranas. Luego el coste total anual por mantenimiento es 663.882 US\$/año

– **Productos químicos**

Otro costo que forma parte de la inversión inicial es el precio de los productos químicos en el sistema de intercambio iónico y osmosis inversa, los datos fueron calculados según la necesidad requerida para neutralizar el boro, corregir el PH e inhibir la sílice, estas se presentan en el P&ID de los planos mecánicos.

Tabla 21
Gasto neto anual de producto químico Intercambio iónico-Osmosis inversa

Productos químicos	Cantidad (lt/día)	Costo (US\$/lt)	Costo anual (US\$/año)
Hidróxido sódico (NaOH)	5.98	26.42	45501.58
Antiincrustante Vitec 4000	0.210	577	34896.96
TOTAL			80398.54

Los costos para el antiincrustante Vitec 4000 fueron tomados de la fuente (FiltrShop, 2019)
Los costos para el hidróxido sódico (NaOH) fueron tomados de la fuente (QuimiNet.com, 2019)

4.4.1.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos ayudan a la producción del agua tratada, estos pueden ser trabajadores de planta, personal de limpieza, material de oficina, obra civil, equipos e instalación de éstos.

4.4.1.3 Gasto neto anual

Los gastos netos o totales del sistema de intercambio iónico en un año corresponden a la suma de los gastos directos e indirectos.

Tabla 22
Gasto neto anual Intercambio iónico-Osmosis inversa

Concepto	Coste anual US\$/año
Reposición de membranas	154.493
Cloruro de sodio NaCl	12453.00
Electricidad	18839.580
Mantenimiento	663.882
Productos químicos	80398.540
Costo de equipos e instalación	3012.463
TOTAL	115521.958

Fuente (Elaboración propia)

Para calcular cuánto dinero cuesta producir 1 m³ de agua tratada, dividimos los gastos totales entre la producción anual de agua de proceso

$$V_{\text{agua tratada}} = 23.51 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Precio}_{\text{agua tratada}} = \frac{115521.958 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \times 1 \text{mes} \times 1 \text{año}}{23.51 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 24 \text{ día} \times 12 \text{ meses}}$$

$$\text{Precio}_{\text{agua tratada}} = 17.06 \frac{\text{US\$}}{\text{m}^3}$$

4.4.2 Presupuesto total sin sistema de intercambio iónico

Para evaluar esta segunda propuesta no se considera el equipo ablandador, se opta por dosificar más cantidad de antiincrustante que comparado con el sistema de intercambio iónico este no requieren de sal y es muy eficaz contra la sílice, los carbonatos de calcio, entre otros elementos. Como hemos visto el caudal de agua al

ingreso de la osmosis inversa es de 10 gpm, si no se trabaja con ablandador de agua entonces se debe calcular la dosificación de antiincrustante para eliminar los 800 ppm de dureza. Con estos parámetros y el software Antiscalant Dosage Calculator (PWT, 2019) obtenemos 43.149 lt/día de antiincrustante para eliminar la dureza del agua fuente.

4.4.2.1 Gastos directos

Para los gastos directos ya no se considera el equipo ablandador

Tabla 23
Gastos directos Antiincrustante-Osmosis inversa

Código	Denominación	Monto (US\$)
5 - 3 - 1	Bienes	8550.00
5 - 3 - 1	Servicios	950.00
	Subtotal	9500.00
	IGV (18%)	1710.00
	TOTAL	11210.00
	Costo de equipo (US\$/año)	1121.00

Fuente (Elaboración propia)

– Reposición de membranas

Se considera el mismo para el equipo de osmosis inversa, calculado anteriormente

$$C_{ARM} = \frac{1544.93}{10} = \$ 154.493$$

– Mantenimiento

Para estimar este coste, se toma como cifra razonable un 3% anual del valor de los equipos a excepción de las membranas. Luego el coste total anual por mantenimiento es 181.81 US\$/año

– **Productos químicos**

Como se trata de poder eliminar la dureza del agua con antiincrustante, la dosificación de esta será mayor.

Tabla 24
Consumo total de productos químicos Antiincrustante-Osmosis inversa

Productos químicos	Cantidad (lt/día)	Costo (US\$/lt)	Costo anual (US\$/año)
Hidróxido sódico (NaOH)	5.98	26.42	45501.58
Antiincrustante Vitec 4000	43.149	577	7170328.224
TOTAL			7215829.804

Fuente (Elaboración propia)

– **Electricidad**

Tabla 25
Consumo total de energía eléctrica Antiincrustante-Osmosis inversa

Equipos	Potencia consumida (KW)	Costo energía (ctm. S/. /kWh)	Costo anual total (US\$ / año)
Bomba alimentación equipo de osmosis inversa	0.355	20.59	1006.93
Bomba de alta presión	5.592	20.59	15861.33
TOTAL	5.947		16868.26

Fuente (Elaboración propia)

4.4.2.2 Gastos indirectos

Consideramos la obra civil, equipos e instalación de éstos sin el equipo ablandador.

4.4.2.3 Gasto neto anual

Los gastos netos o totales del sistema de intercambio iónico en un año corresponden a la suma de los gastos directos e indirectos

Tabla 26
Costo neto anual Antiincrustante-Osmosis inversa

Concepto	Coste anual US\$/año
Reposición de membranas	154.49
Electricidad	16868.00
Mantenimiento	181.81
Productos químicos	7215829.80
Costo de equipos e instalación	1121.00
TOTAL	7234155.10

Fuente (Elaboración propia)

Para calcular cuánto dinero cuesta producir 1 m³ de agua tratada, dividimos los gastos totales entre la producción anual de agua de proceso

$$V_{\text{agua tratada}} = 23.51 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Precio}_{\text{agua tratada}} = \frac{7234155.10 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \times 1 \text{ mes} \times 1 \text{ año}}{23.51 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 24 \text{ día} \times 12 \text{ meses}}$$

$$\text{Precio}_{\text{agua tratada}} = 307705 \frac{\text{US\$}}{\text{m}^3}$$

Como se puede observar el pretratamiento del agua sólo con productos químicos es demasiado caro, por ello se optó instalar un equipo ablandador como sistema de pretratamiento de agua antes de ingresar a la osmosis inversa. A través de ello se puede obtener un gran ahorro e incrementar la utilidad de la empresa.

Tabla 27
Comparación en costo de producción de agua tratada

Sistemas	Costo producción de agua (US\$/m ³)	Costo neto anual (US\$/año)
Intercambio iónico y Osmosis inversa	17.06	115521.958
Productos químicos y Osmosis inversa	307705	7234155.10

Fuente (Elaboración propia)

De la tabla 27 se observa que existe un ahorro de 18036.63 US\$/m³ en la producción de pretratamiento de agua tratada con un sistema de intercambio iónico.

4.5 Periodo de retorno y Valor actual neto

4.5.1 Ingreso anual neto

Los beneficios que se obtendrán en la empresa provendrán de la venta de los siguientes productos de sus dos plantas (dinamitas y Emulsiones)

Tabla 28
Resumen de producción de explosivos anual

Tipo de producto explosivos	Dimensión	Cantidad Anual 2016	Cantidad Anual 2015	Producción (%)
Accesorios	Toneladas	53896	-	22.9
Dinamitas	Toneladas	7757	8221	3.3
Emulsiones encartuchadas	Toneladas	6644	6619	2.80
Emulsión a granel	Toneladas	167476	201625	71.0
Total		235773	216465	100

Fuente: (Exsa S.A., 2016)

Tabla 29
Las ventas netas de la empresa en dólares americanos y en toneladas

Productos/servicios para voladura	2016	2015
Ventas totales (en US\$. Miles)	178760	170886
Ventas totales (en toneladas)	235773	216465

Fuente: (Exsa S.A., 2016)

Tabla 30
resumen del Estado de Ganancias y Pérdidas

Estado de ganancias y pérdidas (en miles de US\$)	2016	2015
Ventas netas	178760	171319
Costo de ventas	-126696	-126720
Utilidad bruta	52064	44599
Gastos administrativos, de ventas, financieros, regalías, otros.	-45953	-46183
Impuesto a la renta	-2679	-5374
Utilidad Neta	3432	-6958

Fuente: (Exsa S.A., 2016)

De la tabla 28 consideramos sólo la producción de emulsiones encartuchadas, que representa el 2.8% generada por la planta de emulsión, esta opera con el agua tratada del sistema de intercambio iónico y osmosis inversa, entonces de la utilidad total (tabla 30) correspondería para la planta de emulsión 96096 US\$/año.

4.5.2 Periodo de retorno de la inversión inicial

$$PR = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio promedio}} = \frac{30124.633 \text{ US\$}}{96096 \text{ US\$/año}} = 0.3 \text{ años} \approx 4 \text{ meses}$$

4.5.3 Cálculo del VAN

Flujo de caja calculados para los primeros 10 años

$$F_c = \text{Beneficio neto} + \text{Amortizaciones}$$

Teniendo en cuenta un IPC del 3% para la amortización (Arnau, 2015).

Tabla 31
Beneficios, amortizaciones y flujos de caja para los primeros 10 años

Año	Beneficio neto	Amortizaciones	Flujo de caja
1	96096	3012.00	99108
2	96096	3102.36	99198.36
3	96096	3195.4308	99291.43
4	96096	3291.293724	99387.29
5	96096	3390.032536	99486.03
6	96096	3491.733512	99587.73
7	96096	3596.485517	99692.48
8	96096	3704.380083	99800.38
9	96096	3815.511485	99911.51
10	96096	3929.97683	100025.97

Fuente (Elaboración propia)

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} - K$$

K = inversión inicial = 30124.633 US\$

F_j = flujo de caja

i = 10%

n = 10 años

VAN = -30124.6

$$\begin{aligned}
 &+ \left(\frac{99108}{(1+0.1)} + \frac{99198.36}{(1+0.1)^2} + \frac{99291.43}{(1+0.1)^3} + \frac{99387.29}{(1+0.1)^4} + \frac{99486.03}{(1+0.1)^5} \right. \\
 &+ \frac{99587.73}{(1+0.1)^6} + \frac{99692.48}{(1+0.1)^7} + \frac{99800.38}{(1+0.1)^8} + \frac{99911.51}{(1+0.1)^9} \\
 &\left. + \frac{100025.97}{(1+0.1)^{10}} \right)
 \end{aligned}$$

VAN = 581077.5 US\$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El sistema de intercambio iónico y osmosis inversa quedó dimensionado con los siguientes componentes y parámetros principales:

El sistema de intercambio iónico cuenta con las siguientes dimensiones:

Rango de presión de trabajo: 30-50 psi
Caudal de suministro de agua blanda: 9600 gal/día
01 tanque de fibra de vidrio: Ø30" x 72"
Resina catiónica: 20 ft³
Tanque para salmuera: Ø30" x 48"
Válvula automática de control: WS1.5EE (70 gpm)
Bomba de alimentación: 20 gal/min @ 40 psi

El equipo de osmosis inversa cuenta con las siguientes dimensiones:

Caudal de alimentación: 14.42 gal/min
Caudal de permeado: 6.47 gal/min
Caudal de rechazo: 3.53 gal/min
6 membras y 3 tubos de presión
Bomba de alta presión: 14.42 gpm @ 20.3 bar

2. El equipo ablandador y osmosis inversa fue ensamblado correctamente, teniendo en cuenta los planos de diseño, donde se hizo uso de los materiales dimensionados y tuberías de PVC Ø1.5" SCH 80.
3. El equipo ablandador que fue ensamblado funciona correctamente, proporciona 20 gpm. de agua blanda con un valor de dureza de 0 a 2 ppm, con lo cual se superó el rango de dureza que se planteó. De igual manera el equipo de Osmosis inversa funciona correctamente, produciendo un caudal permeado de 6.47 gpm. Tomando los valores de la tabla 11, se logró reducir el total de sólido disueltos (TDS) de 4427.404 mg/l a 81.576 mg/l y la conductividad eléctrica calculada se encuentra en el rango de 108 y 148 us/cm valor aceptable para trabajar en los equipos térmicos.

4. Se determinó los tiempos para los procesos de regeneración, la cual permitirá una excelente regeneración de la resina catiónica, los tiempos de regeneración quedaron determinados de la siguiente manera, con un total de 118 min.

Retrolavado: 11 minutos

Succión de la salmuera: 58 minutos

Enjuague: 37 minutos

Llenado del tanque salmuera: 12 minutos

5. Al incluir un sistema de intercambio iónico en el sistema de pretratamiento de agua nos genera un ahorro de producción en agua tratada de 18036.63 US\$/m³, a diferencias de sólo dosificar productos químicos. El VAN calculado nos indica que la inversión realizada es rentable y ayudará a generar utilidades económicas para la empresa.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda una limpieza del sistema de Ósmosis Inversa cuando muestra una evidencia de ensuciamiento. Una señal que nos indica que ya es necesario una limpieza, es cuando disminuye en 10-15% en el flujo de permeado normalizado,
2. El equipo ablandador debe operar necesariamente a una presión de 30 a 50 psi.
3. Deberá realizarse un mantenimiento anualmente al equipo ablandador de agua y osmosis inversa, tanto externamente como internamente.

CAPÍTULO VI
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, A. M. (2005). Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), 10–26.
- Amachi, A. (2017). *Evaluación de los niveles de contaminación del agua del río Ilave y sus tributarios (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Arnau, C. (2015). *Diseño de una planta de producción de agua de proceso para una central térmica de ciclo combinado (tesis de pregrado)*. Universitat Jaume I, Castellón, España.
- Bonilla, E., & Venera, R. (2017). *Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar para la isla de San Andrés (tesis de pregrado)*. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia.
- Carvajal, C. (2014). *Tratamiento y reutilización de las aguas residuales del proceso de producción de lejías (proyecto de pregrado)*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Cervantes, L. (2015). *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica (tesis de pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, Ecuador.
- Chillón, M. F. (2009). *Reducción de boro en aguas procedentes de la desalación (tesis doctoral)*. Universidad de Alicante, Alicante, España.
- clack corporation. (2015). *Water Specialist 1.5", 2" and 2"QC Drawings and Service Manual*. Retrieved from http://www.awpwater.com/commercial_docs/Clack_WS1.5_2_2QC_Manual.pdf
- Depositphotos. (2018). *Sistema de poros de la membrana de ósmosis inverso*. Retrieved from <https://mx.depositphotos.com/186980300/stock-illustration-reverse-osmosis-membrane-pore-system.html>
- Durman. (2018). *PVC SCH 40 y 80*. Retrieved from <https://www.durman.com/descargas/accesoriospotables/brochure/SCH40y80BC2.pdf>
- EMMSA. (n.d.). *Tubería de PVC cédula 80*. Retrieved from <http://www.emmsa.com/admin/img/servicio-cliente/ft-tuberia-c80.pdf>

- Emontanos. (2013). tipos de configuraciones de membranas para nanofiltración. Retrieved October 8, 2019, from <https://emontanos.wordpress.com/>
- EnviroTower. (2019). Tratamiento de agua torres de refrigeración o enfriamiento. Retrieved November 4, 2019, from <https://www.scalebuster.es/aplicaciones/tratamiento-agua-torres-refrigeracion-envirotower/>
- Escobar, D. (2010). *Analisis y mejora del tratamiento de agua para la prevención de incrustaciones en las calderas utilizadas en la planta de emulsión de la mina carbones del cerrejón LLC (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Exsa S.A. (2016). *Memoria 2016*. Retrieved from <https://www.bvl.com.pe/eeff/B30094/20170317191201/MEB300942016AIA01.PDF>
- FiltraShop. (2019). Inhibidor Incr. Vitec 4000 Sílice, presentación 20 litros (Avista technologies). Retrieved November 7, 2019, from <https://www.filtrashop.com/producto/inhibidor-incr-vitec-4000-silice/>
- Gutiérrez, S. (2011). *Desalación de aguas de mar mediante ósmosis inversa. Estudio de los mecanismos de ensuciamiento y limpieza de las membranas (tesis doctoral)*. Universidad de Cádiz, Andalucía, España.
- Hydranautics. (2010). *Membrane Element CPA5-LD-4040*. 1. Retrieved from <http://membranes.com/wp-content/uploads/2017/03/CPA5-LD-4040.pdf>
- La República. (2019). Tipo de cambio: precio del dólar. Retrieved November 7, 2019, from <https://larepublica.pe/sociedad/2019/11/06/tipo-de-cambio-precio-del-dolar-hoy-miercoles-6-de-noviembre-de-2019-en-peru-para-la-compra-y-venta-sbs-interbancario-ocona-atmp/?ref=footerdesktop>
- López, M. (2015). *Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje (tesis de pregrado)*. Universidad de Cantabria, Cantabria, España.
- Martínez, J., & Idrobo, M. (2012). *Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la facultad de ciencias - ESPOCH (tesis de pregrado)*. Escuela superior politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Ministerio de la producción. (2019). *Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria*.

Resolución Directoral N° 0491-2019.

- NanoTechPRO. (2019). *Proprietary unique software for reverse osmosis and nanofiltration system designed by RM Nanotech*. Retrieved from https://membranium.com/pdf/presentation_nanotech_pro.pdf
- Navarro, M., & Ramos, V. (2011). *Diseño de una planta desaladora por ósmosis inversa en la isla de Fuerteventura (proyecto de pregrado)*. Universidad de Cádiz, Andalucía, España.
- Nena, C. (2013). *Tratamiento de agua*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ortiz, A., & Tavera, C. (2013). *Tratamiento de agua para alimentacion de calderas (tesis de pregrado)*. Instituto Politecnico Nacional, México D.F., México.
- Patenta. (2018). *comercialización de inventos patentados en el Perú*. Retrieved from <https://www.patenta.pe/documents/2487468/2487652/Guia+Caso+de+Éxito.pdf/21a85c1a-32cc-cea6-33c6-cb9eedd8af13>
- Plastico, A. sin. (2019). Comparación Ósmosis Inversa y espring. Retrieved November 5, 2019, from <http://www.aguasinplastico.com/comparacion-osmosis-inversa-y-espring/>
- Poder Ejecutivo. (2015). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM - Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. *Diario Oficial El Peruano*. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N°-015-2015-MINAM.pdf>
- Puretec Industrial Water. (n.d.). What is Reverse Osmosis? Retrieved October 8, 2019, from <https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>
- Purikor. (2005). *Cálculo de suavizadores de agua*.
- PWT. (2019). Calculadora de dosificación de antiincrustante. Retrieved November 8, 2019, from <https://www.pwtchemicals.com/es/resources/calculadora-de-dosificacion-de-anti-incrustante/>
- QuimiNet.com. (2019). Hidroxido de sodio (NaOH) – Información Comercial | QuimiNet.com. Retrieved November 7, 2019, from <https://www.quiminet.com/productos/un-del-hidroxido-de-sodio-naoh-1824-884151885/precios.htm>
- Regional water Program. (2014). Alcalinidad , pH , y Sólidos Disueltos Totales. *Northern*

- Plains & Mountains*, 8. Retrieved from http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS_2012-11-15-SP.pdf
- ResinTech. (2002). *Cation exchange resin*. Retrieved from https://www.carbotecnia.info/PDF/medfiltrantes/Resintech_Cationica_CG8.pdf
- Simpec SRL. (2017). Membrane Plants Simpec Srl Osmosis Ultrafiltration Plants. Retrieved October 8, 2019, from <https://dontly.me/>
- Sincal calderas Industriales. (2018). *Información Técnica ITSI-03 Calidad Del Agua De Calderas*. Retrieved from <http://www.sincal.es/descargas/calidad-de-agua-decalderas.pdf>
- Thermal, E. L. (2011). *Artículo técnico sobre tratamiento de Agua para Calderas*. Retrieved from http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf
- TodoAgua. (2019). SAL Pellets Morton System Saver II Alta Pureza Pellet Saco 50 lbs. Retrieved November 8, 2019, from <https://www.purificadoragua.tododeagua.mx/filtro/suavizadores-residencial-y-comercial-sal-pellets-morton-system-saver-ii-alta-pureza-pellet-saco-50-lbs-system-savii-morton-salt.html>
- Vasquez, A. (2007). *Estudio y optimización de un planta de ósmosis inversa de tratamiento de agua para una industria alimentaria*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20398/fichero/PFC+completo.pdf>
- Voutchkov, N. (2013). *Desalination Engineering Planning and design* (Primera). New Your, United States: Editorial McGraw-Hill.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1: PRESUPUESTO INTERCAMBIO IÓNICO Y OSMOSIS INVERSA

CÓDIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO U. US\$	DSCTO. 5%	PRECIO TOTAL US\$
5-3-0	<p>SUMINISTRO DE EQUIPO ABLANDADOR SIMPLE AUTOMATICO</p> <p>El suministro incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 01 Unid. Válvula automática. - 01 Unid. Distribuidor para tanque de Ø30". - 01 Unid. Válvula alternadora motorizada Ø1.5". - 01 Unid. Controlador de flujo DLFC. - 04 Unid. Restrictores de flujo. - 01 Unid. Inyector para tanque de Ø42". - 01 Unid. Tanque de fibra de vidrio de Ø30X72" - 01 Unid. Tanque salmuera de Ø39X48" - 30 ft3 de resina CG8, marca RESINTECH. - 140 kg de grava soporte #20. - 190 kg de grava soporte 1/4"X1/8". - 03 m. de manguera. - 01 Glob. accesorios de PVC. - 02 Unid. Portafiltro big blue Ø4.5x20" - 02 Unid. Manómetros de 2 1/2" 	01 Glob.	15873	793.65	15079.35
5-3-0	<p>SERVICIO DE INSTALACION</p> <p>El servicio incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montaje de árbol de tuberías - Montaje de tanque de FVR, tanque salmuera, válvula automática - Programación de válvula automática - Llenado de lecho de resina y grava - Seguimiento de proceso y análisis de parámetros <p>El servicio estará a cargo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 01 Supervisor - 02 Técnicos mecánicos - 01 Técnico electricista 	01 Glob.	999.99	49.99	950.00
	PRECIO TOTAL	US\$			16029.35
				IGV (18%)	2885.283
				TOTAL	18914.633

ANEXO 1: (continuación)

CÓDIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO U. US\$	DSCTO. 5%	PRECIO TOTAL US\$
5-3-1	<p>SUMINISTRO DE EQUIPO OSMOSIS INVERSA</p> <p>El suministro incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 06 Unid. Membranas. - 03 Tubos de presión (HOUSING) - 01 Unid. Bomba centrífuga de 20 m³/h @25 bar. - 01 Bomba de alta presión 20 gpm. @280 Psi. - 02 Unid. Filtros cartuchos Ø2.5"x20", 20 micras. - 01 Unid. Presostato KPI 35. - 01 Unid. Presostato KPI 38. - 01 Unid. Bomba dosificadora DMB 3-10. - 01 Unid. Sensor de conductividad. - 01 Unid. Válvula solenoide. - 01 Unid. Estructura metálica. - 01 Unid. Tablero eléctrico de arranque de bomba de alimentación a ablandador y osmosis inversa. - 01 Glob. accesorios de PVC. 	01 Glob.	9000.00	450.00	8550.00
5-3-1	<p>SERVICIO DE INSTALACION</p> <p>El servicio incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montaje de árbol de tuberías. - Montaje de membranas, filtros, tablero eléctrico. - Programación de logo y puesta en marcha del sistema. - Seguimiento de proceso y análisis de parámetros. <p>El servicio estará a cargo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 01 Supervisor - 03 Técnicos mecánicos - 01 Técnico electricista 	01 Glob.	999.99	49.99	950.00
	PRECIO TOTAL	US\$			9500.00
				IGV (18%)	1710.00
				TOTAL	11210.00

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA RESINA CATIONICA



CG8

CATION EXCHANGE RESIN
strong acid gel
8 % DVB, Na or H FORM

RESINTECH CG8 is a premium grade, high capacity, gelular, sulfonated, polystyrene cation resin supplied in the sodium or hydrogen form as moist, tough, uniform, spherical beads. *RESINTECH CG8* is intended for use in all water softening, dealkalization, deionization and chemical processing applications.

- **COMPLIES WITH FDA REGULATIONS**

Conforms to paragraph 21CFR173.25 of the Food Additives Regulations of the F.D.A.*

- **COMPLIES WITH USDA REGULATIONS FOR POTABLE WATER SYSTEMS**

Meets standards for use in systems operating under the Federal meat and poultry products inspection program.

- **AVAILABLE AS NSF/ANSI-44/61 CERTIFIED**

WQA Gold Seal Certified when ordered as CG8-HP



- **HIGHLY UNIFORM PARTICLE SIZE, LOW PRESSURE DROP**

16 to plus 50 mesh range; giving a LOWER PRESSURE DROP while maintaining SUPERIOR KINETICS.

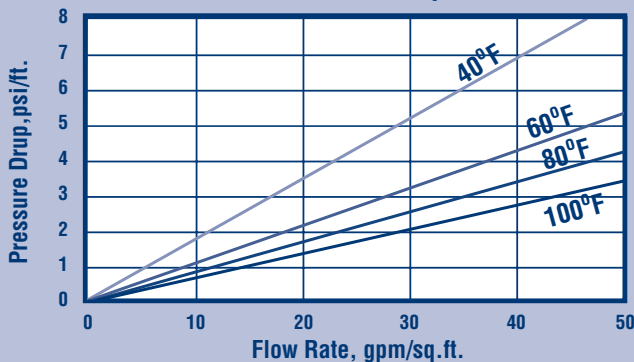
- **SUPERIOR PHYSICAL STABILITY**

93% plus sphericity and high crush strengths together with a very uniform particle size provide greater resistance to bead breakage.

- **LOW COLOR THROW**

* For potable water applications, the resin must be properly pre-treated, usually by multiple exhaustion and regeneration cycles, to insure compliance with extractable levels.

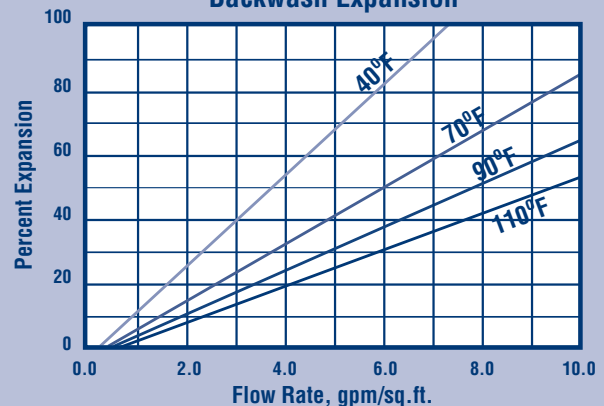
Pressure Drop



PRESSURE DROP

The graph above shows the expected pressure loss per foot of bed depth as a function of flow rate, at various temperatures.

Backwash Expansion



BACKWASH

After each cycle the resin bed should be backwashed at a rate that expands the bed 25 to 50 percent. This will remove any foreign matter and reclassify the bed. The graph below shows the expansion characteristics of *RESINTECH CG8* in the sodium form.

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA RESINA CATIONICA : (continuación)

Polymer Structure	Styrene Crosslinked with DVB
Functional Group	R-(SO ₃) ⁻ M ⁺
Ionic Form, as shipped	Sodium or Hydrogen
Physical Form	Tough, Spherical Beads
Screen Size Distribution	16 to 50
+16 mesh (U.S. Std)	< 5 percent
-50 mesh (U.S. Std)	< 1 percent
pH Range	0 - 14
Sphericity	> 93 percent
Uniformity Coefficient	Approx. 1.6
Water Retention	
Hydrogen Form	47 to 54 percent
Sodium Form	42 to 49 percent
Solubility	Insoluble
Approximate Shipping Weight	
Hydrogen Form	50 lbs/cu.ft.
Sodium Form	52 lbs/cu.ft.
Swelling Ca ⁺² or Na ⁺ to H ⁺	5 to 9 percent
Total Capacity	
Sodium Form	1.9 meq/ml min
Hydrogen Form	1.8 meq/ml min

Maximum Temperature	
Sodium Form	280°F
Hydrogen Form	265°F
Minimum Bed Depth	24 inches
Backwash Rate	25 to 50% Bed Expansion
Regenerant Concentration	
Hydrogen Cycle	10% HCl or 1 to 8% H ₂ SO ₄
Sodium Cycle	10% to 15% NaCl
Regenerant Flow Rate	0.5 to 1.5 gpm/cu.ft.
Regenerant Contact Time	At least 20 Minutes
Regenerant Level	4 to 15 pounds/cu.ft.
Displacement Rinse Rate	Same as Regenerant Flow Rate
Displacement Rinse Volume	10 to 15 gallons/cu.ft.
Fast Rinse Rate	Same as Service Flow Rate
Fast Rinse Volume	35 to 60 gallons/cu.ft.
Service Flow Rate	2 to 10 gpm/cu.ft.



This product has been tested and certified by the Water Quality Association according to NSF/ANSI 44 and 61 for materials safety only

The Sodium cycle operating capacity of *RESINTECH CG8* for hardness removal at various regeneration levels with an influent calcium/magnesium ratio of 2/1 and a hardness level of 500 ppm, as CaCO₃, is shown in the following table:

Pounds NaCl/cu. ft.	Capacity Kilograins/cu. ft.
5	20.0
7.5	25.4
10	29.0
15	33.0

The following table shows the hydrogen cycle relationship between operating capacity and regeneration level when using sulfuric acid as the regenerant:

Pounds H ₂ SO ₄ /cu. ft.	Capacity Kilograins /cu. ft.	
	500 ppm as CaCO ₃ NaCl	500 ppm as CaCO ₃ CaCl ₂
5	19	11.5
7.5	23	12.8
10	25.3	13.6
15	28.1	14.5
20	29.7	15.0

The capacity data is based on an acid concentration of 2 percent in order to avoid calcium sulfate precipitation. Higher operating capacities could be obtained using a stepwise increase in acid concentration to avoid the calcium problem.

DEMINEERALIZATION –

RESINTECH CG8 can be used in multiple and mixed bed demineralizers with strongly basic anion exchangers such as *RESINTECH SBG1P*, *SBMP1* and *RESINTECH SBG2*.

SOFTENING –

RESINTECH CG8 is ideally suited for industrial softening applications because of its high capacity and good physical stability.

***CAUTION: DO NOT MIX ION EXCHANGE RESIN WITH STRONG OXIDIZING AGENTS.** Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive reactions when mixed with organic materials, such as ion exchange resins.

Material Safety Data Sheets (MSDS) are available for all ResinTech Inc. products. To obtain a copy, contact your local ResinTech sales representative or our corporate headquarters. They contain important health and safety information. That information may be needed to protect your employees and customers from any known health and safety hazards associated with our products. We recommend that you secure and study the pertinent MSDS for our products and any other products being used. These suggestions and data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith. However we do not make any guarantee or warranty. We caution against using these products in an unsafe manner or in violation of any patents; further we assume no liability for the consequences of any such actions.

RESINTECH is a registered trademark ® of RESINTECH INC.

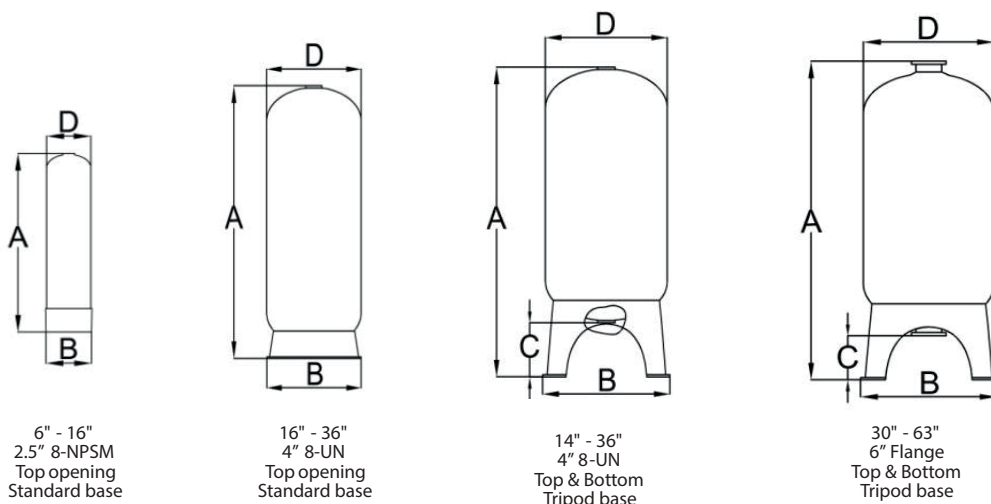
CG8serv050102

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA TANQUES DE FIBRA DE VIDRO

Tamaño (pulgadas)	Boca del Tanque		Capacidad		Base	Dimensiones (mm)			
	Top	BTM	Litros	Galones		A	B (O)	C	D (O)
8" x 17"	2.5" 8-NPSM	/	10.9	2.9	STD	435	216	/	210
8" x 44"	2.5" 8-NPSM	/	32.1	8.5	STD	1115	216	/	210
9" x 48"	2.5" 8-NPSM	/	44.4	11.7	STD	1225	240	/	232
10" x 54"	2.5" 8-NPSM	/	63.3	16.7	STD	1385	269	/	260
12" x 52"	2.5" 8-NPSM	/	97	25.7	STD	1330	318	/	310
13" x 54"	2.5" 8-NPSM	/	105.3	27.9	STD	1380	343	/	336
14" x 65"	2.5" 8-NPSM	/	148.5	39.3	STD	1655	369	/	362
16" x 65"	2.5" 8-NPSM	/	192.1	50.8	STD	1650	422	/	412
18" x 65"	4" 8-UN	/	268	70.9	STD	1670	451	/	461
21" x 62"	4" 8-UN	/	341	90.2	STD	1620	532	/	543
24" x 72"	4" 8-UN	/	490	129.6	STD	1900	616	/	615
30" x 72"	6" FLG	6" FLG	735	194.4	TRIPOD	2260	/	270	765
36" x 72"	6" FLG	6" FLG	1031	272.8	TRIPOD	2280	/	295	920
42" x 72"	6" FLG	6" FLG	1461	386.5	TRIPOD	2300	/	303	1067
48" x 72"	6" FLG	6" FLG	1890	499.3	TRIPOD	2250	/	300	1215

NOTE.

1. All vessels are completed with food grade PE liner. (complied to FDA regulation 21 CFR 177.1520 and safe for drinking water.
2. All dimensions are for reference only and subjected to change without notice.





ANEXO 4: FICHA TÉCNICA MEMBRANA PARA OSMOSIS INVERSA NITTO DENKO

Membrane Element

CPA5-LD-4040 (Low Fouling Technology)

Performance:	Permeate Flow:	2,100 gpd (7.95 m ³ /d)
	Salt Rejection :	99.7 % (99.5% minimum)

Type	Configuration:	Low Fouling Spiral Wound
	Membrane Polymer:	Composite Polyamide
	Membrane Active Area:	80 ft ² (7.43 m ²)
	Feed Spacer:	34 mil (0.864 mm)

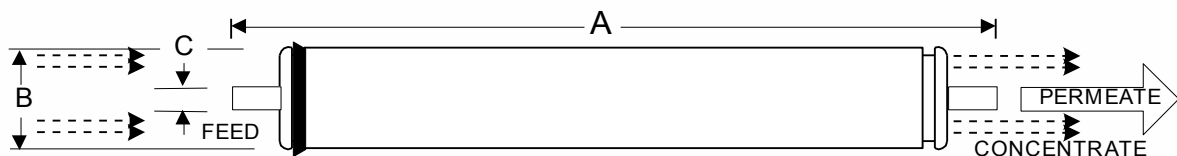
Application Data*	Maximum Applied Pressure:	600 psig (4.16 MPa)
	Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 PPM
	Maximum Operating Temperature:	113 °F (45 °C)
	pH Range, Continuous (Cleaning):	2-11 (1-13)*
	Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
	Maximum Feedwater SDI (15 mins):	5.0
	Maximum Feed Flow:	16 GPM (3.6 m ³ /h)
	Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element:	5:1
	Maximum Pressure Drop for Each Element:	10 psi

* The limitations shown here are for general use. For specific projects, operating at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more detail on operation limits, cleaning pH, and cleaning temperatures.

Test Conditions

The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:

1500 PPM NaCl solution
225 psi (1.55 MPa) Applied Pressure
77 °F (25 °C) Operating Temperature
15% Permeate Recovery
6.5 - 7.0 pH Range



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.00 (1016)	3.95 (100.3)	0.75 (19.1)	8 (3.6)

Core tube extension = 1.05" (26.7 mm)

Notice: Permeate flow for individual elements may vary + 25 or - 15 percent. All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and o-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.

Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 7/16/10

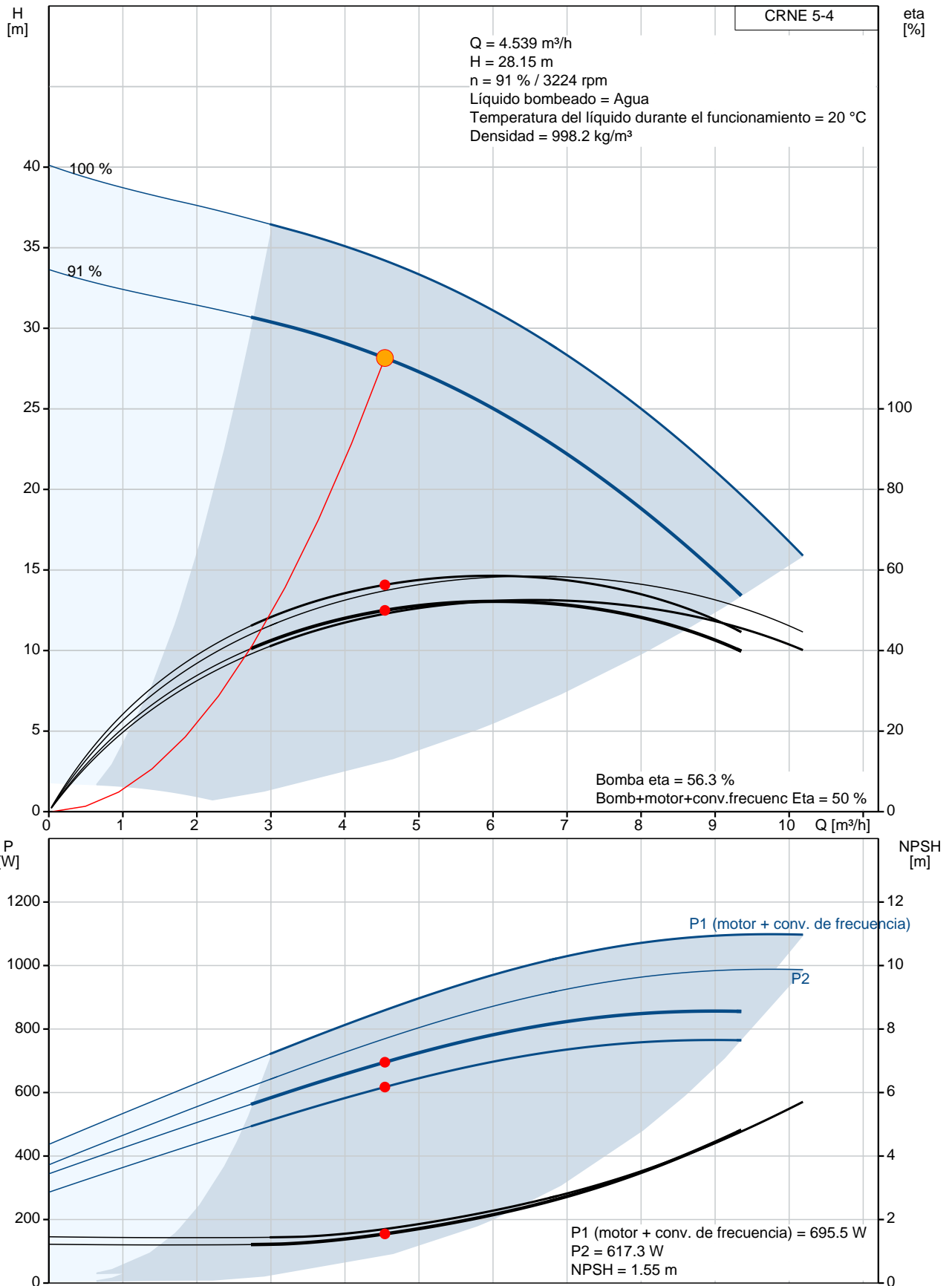
ANEXO 5: FICHA TÉCNICA BOMBA CENTRÍFUGA CRNE 5-4, 3*220V



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRNE 5-4 60 Hz

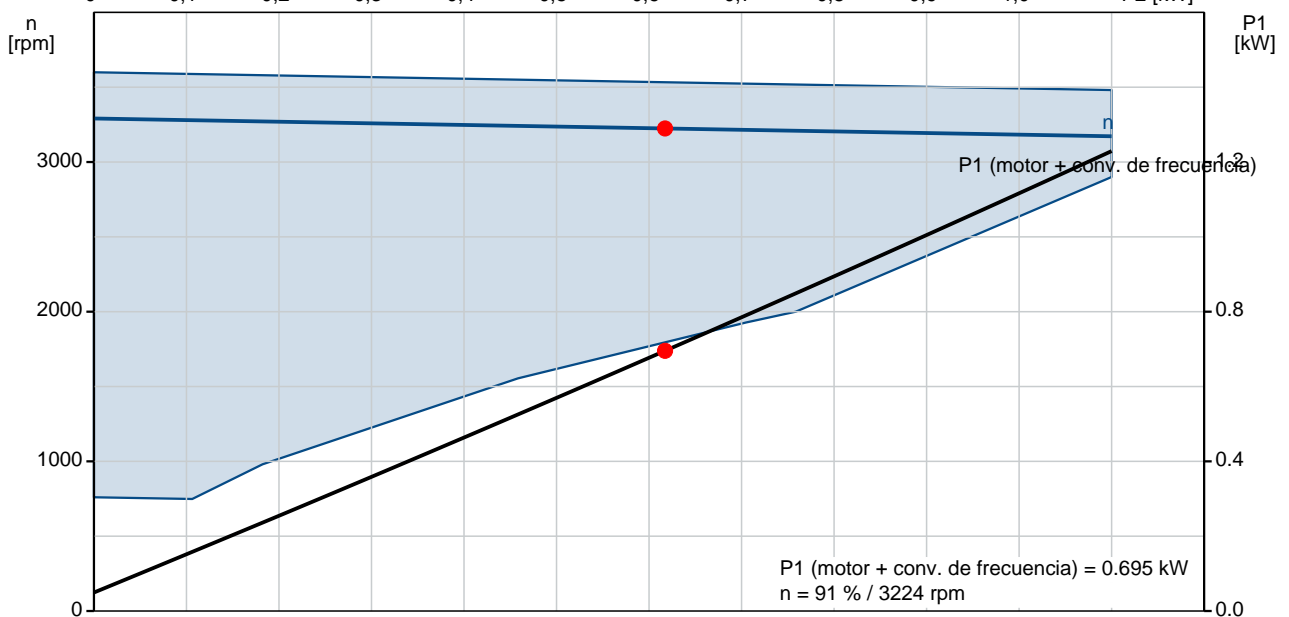
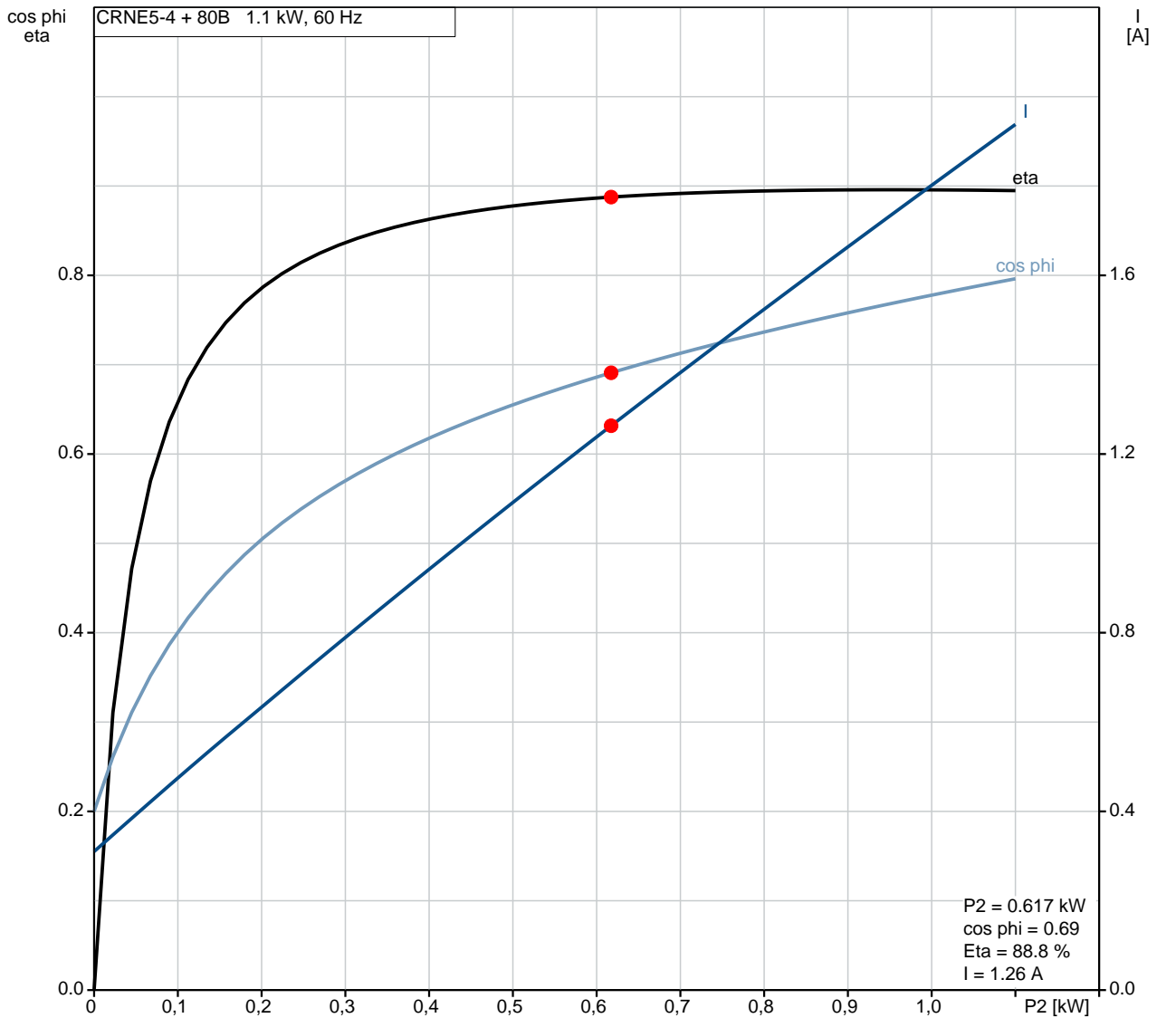




Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRNE 5-4 60 Hz

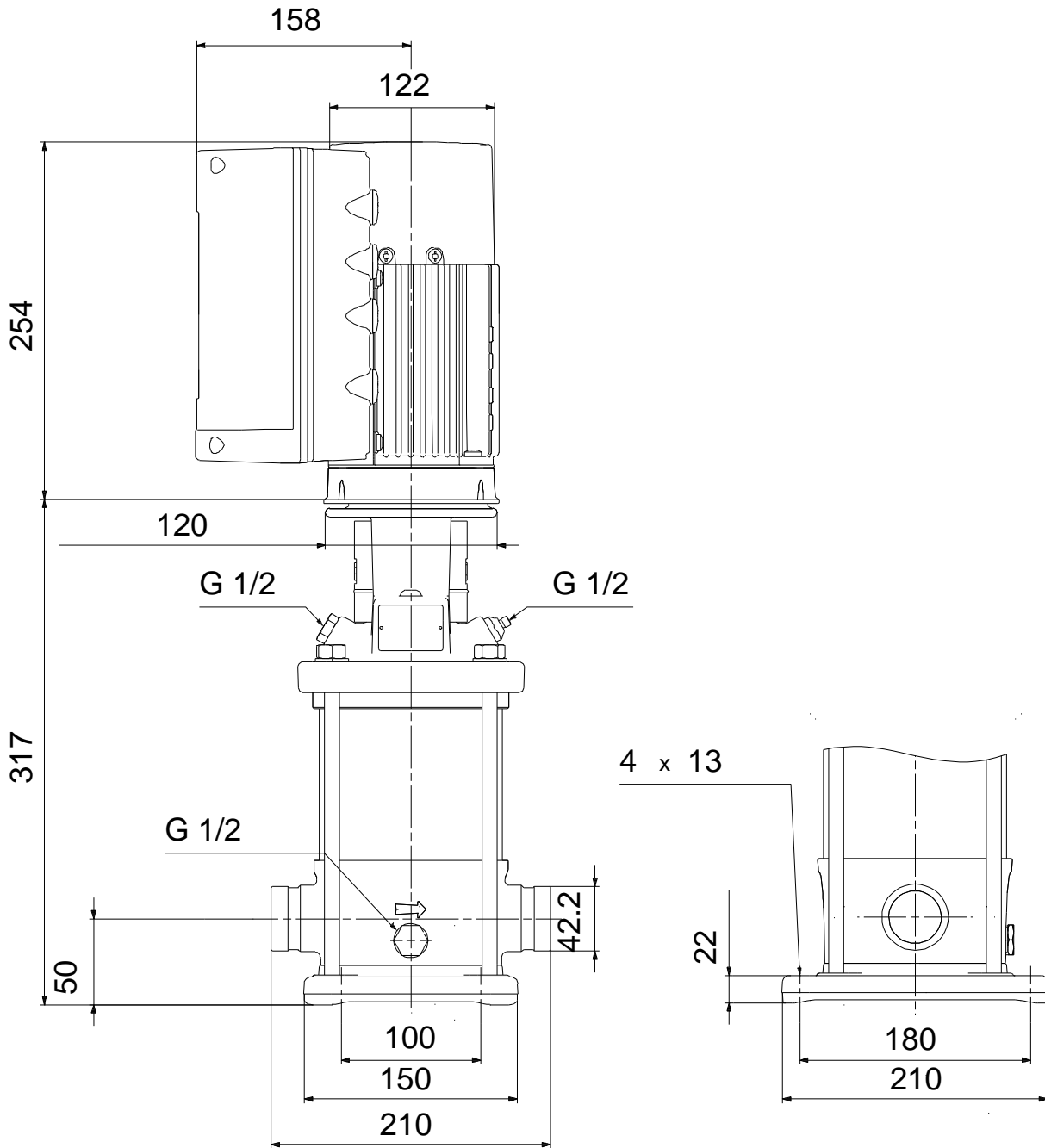




Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRNE 5-4 60 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

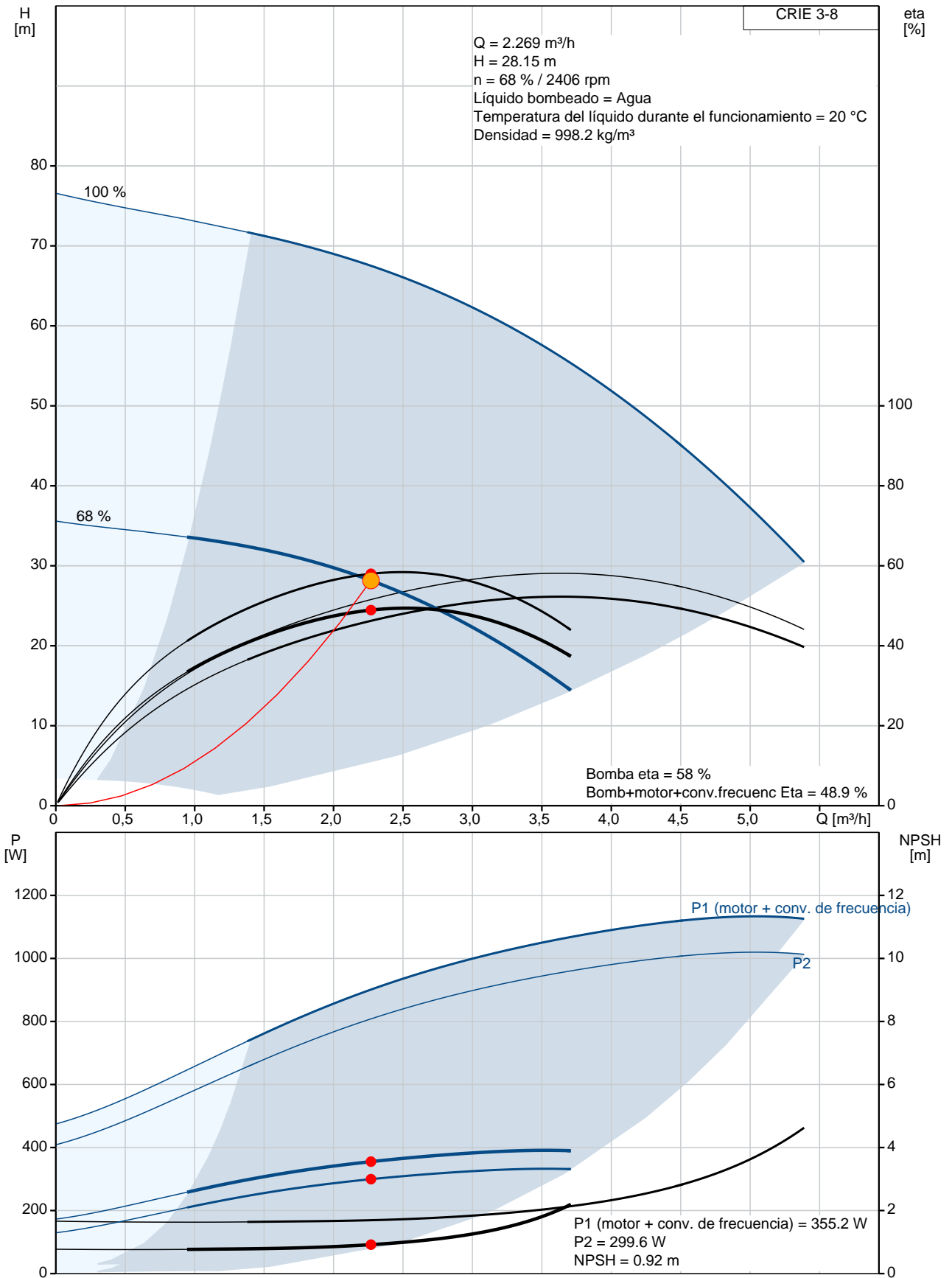
ANEXO 6: FICHA TÉCNICA BOMBA CENTRÍFUGA CRIE 3-8, 3*220 V



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRIE 3-8, 60 Hz

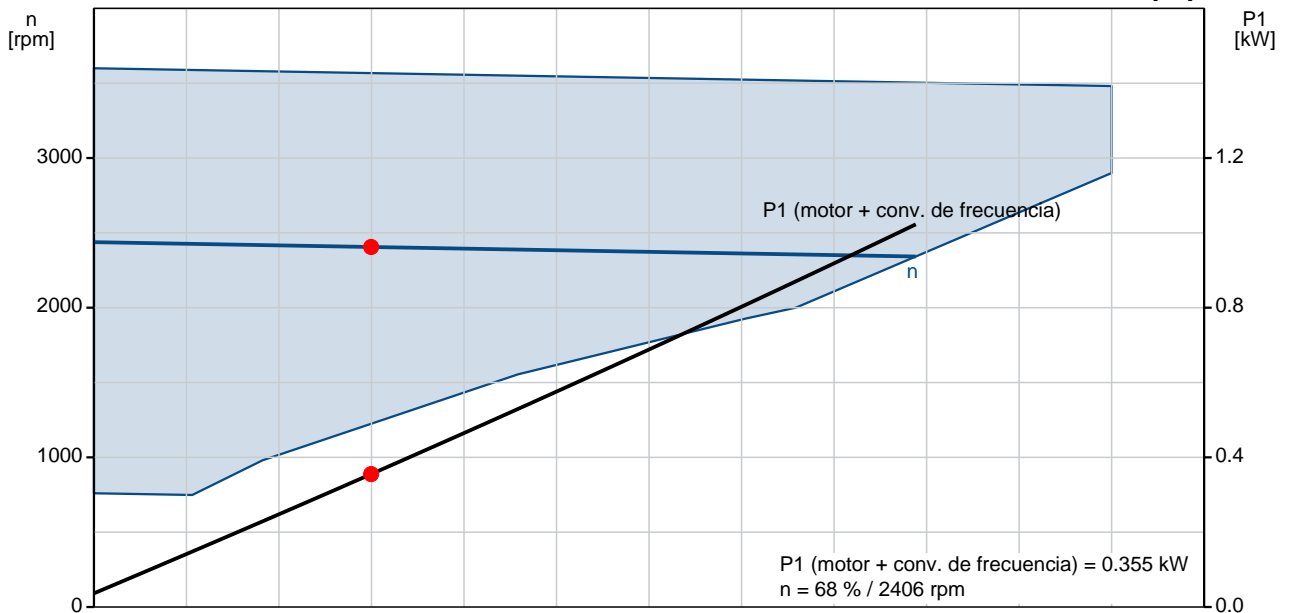
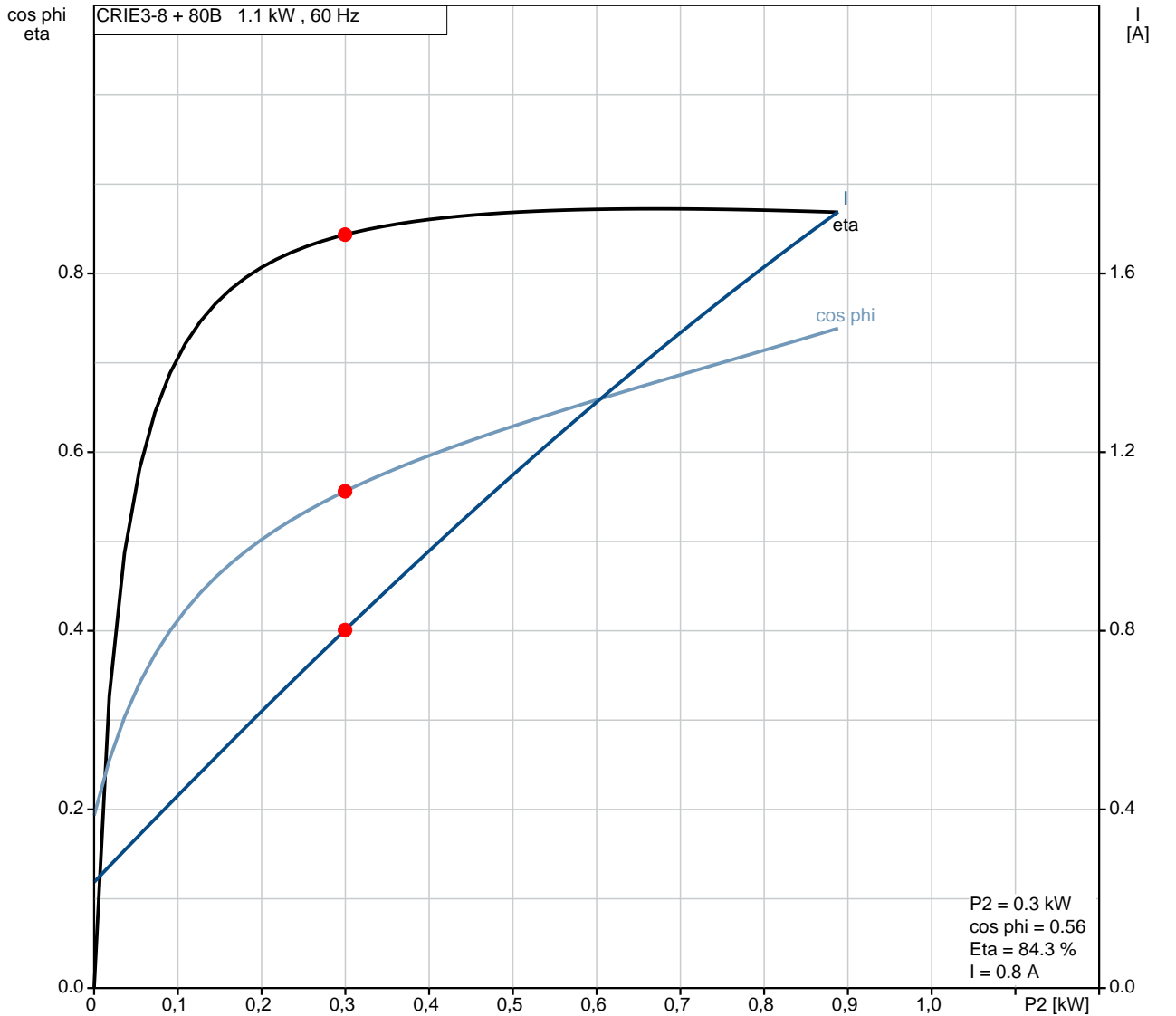




Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRIE 3-8, 60 Hz

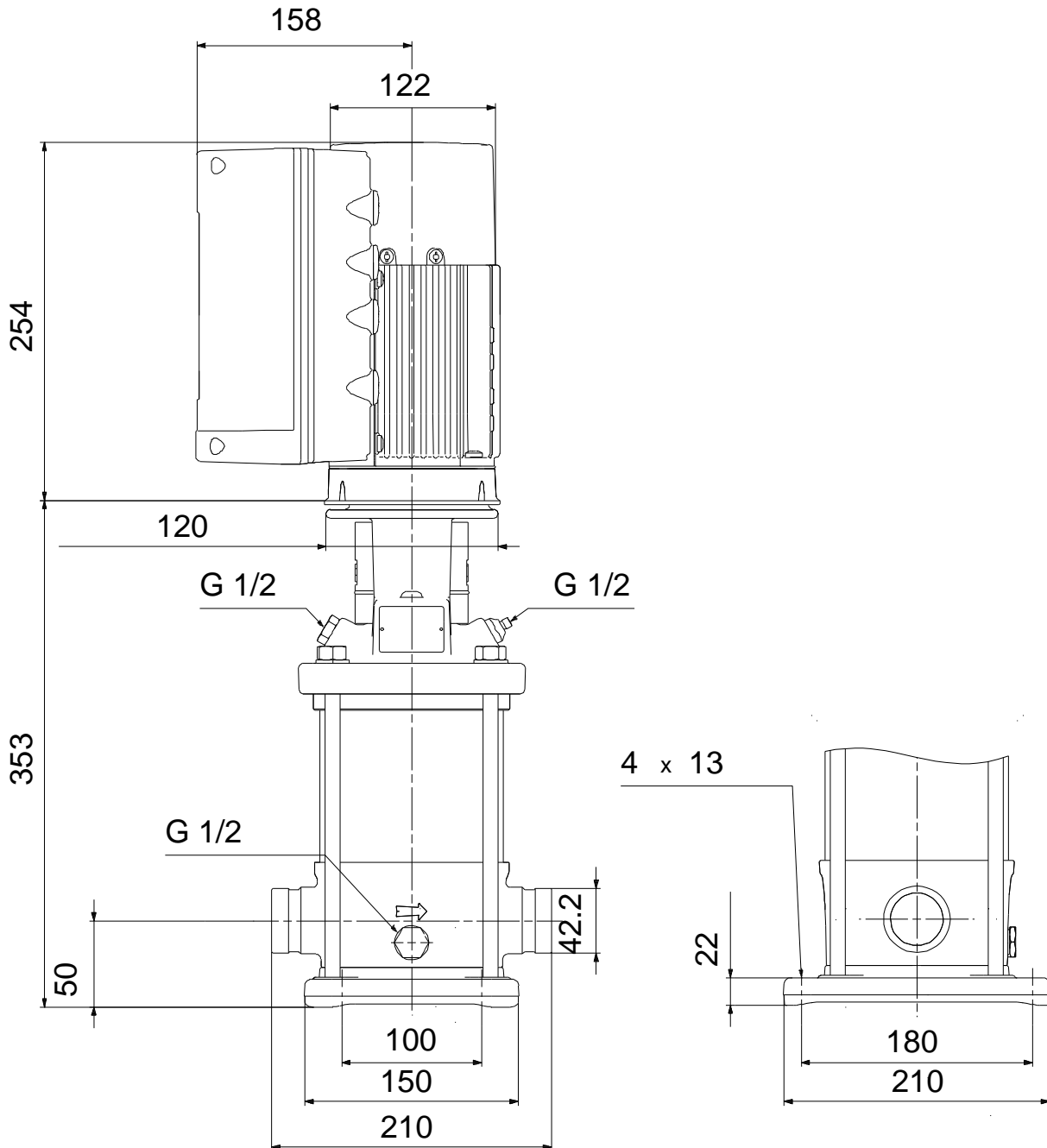




Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 07/11/2019

Bajo pedido CRIE 3-8, 60 Hz



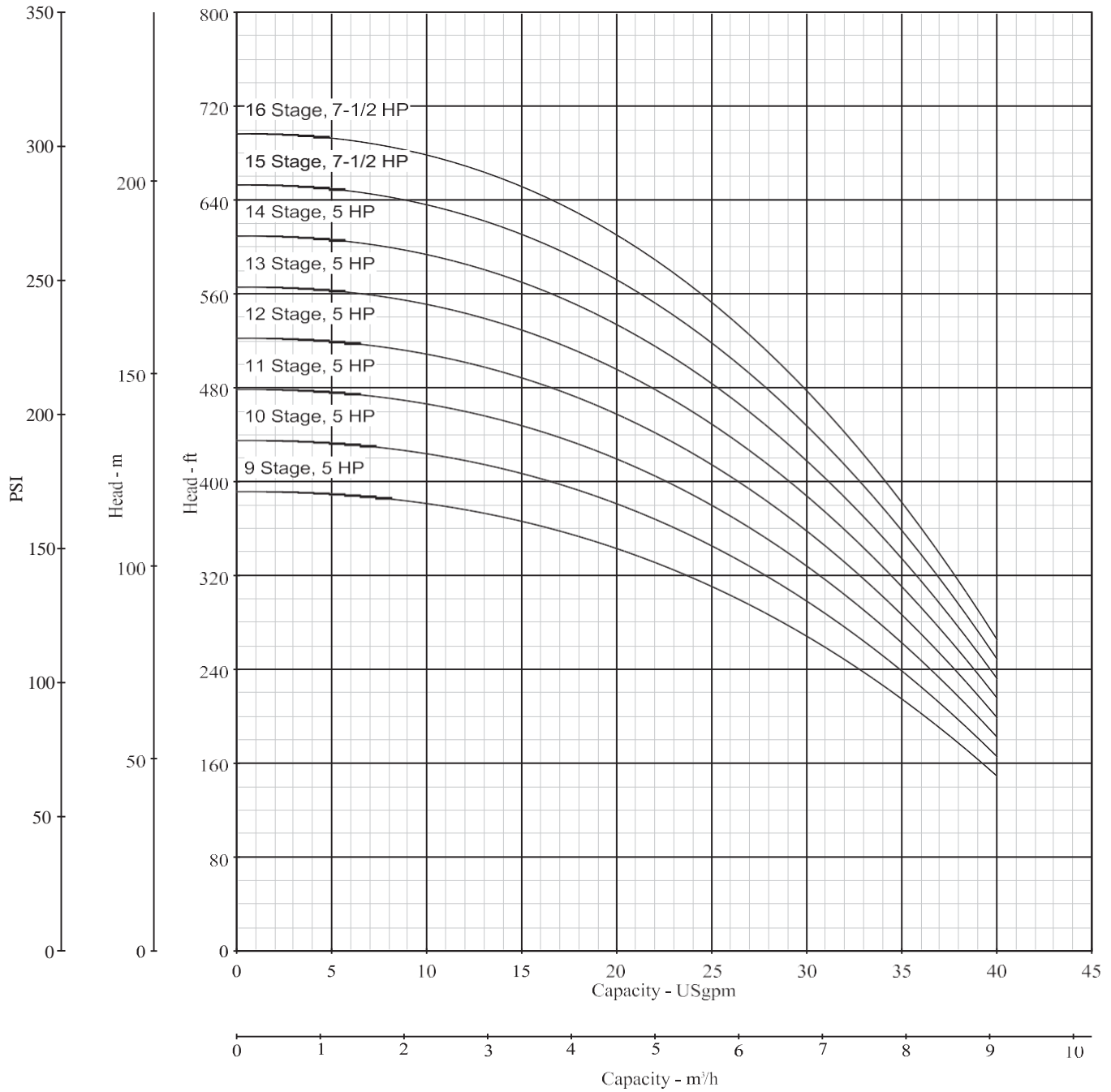
Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

ANEXO 7: FICHA TÉCNICA BOMBA CENTRÍFUGA DE ALTA PRESIÓN

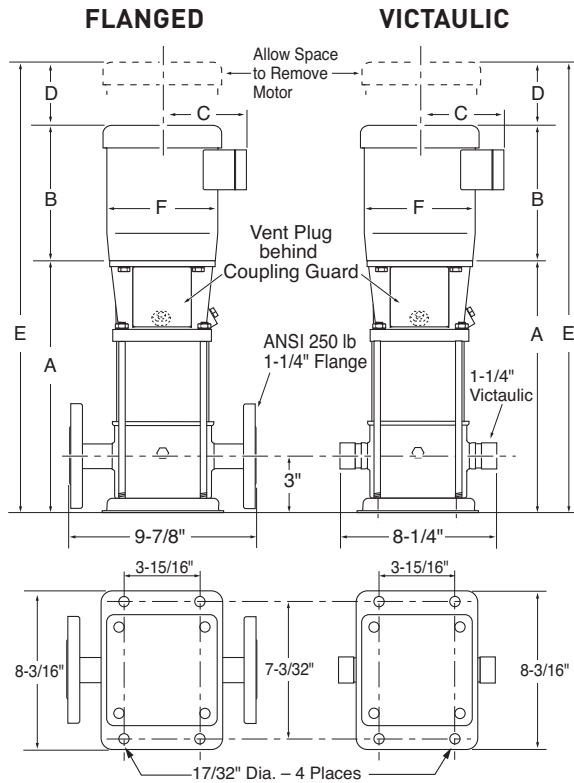
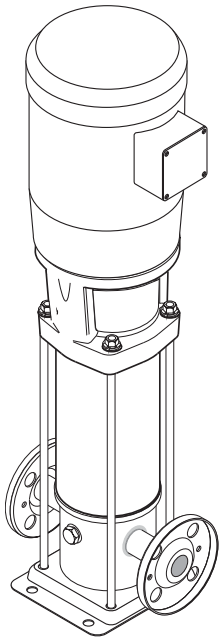
Performance curves – BVM (i/X) 4 series

Nominal RPM: 3450

Based on Fresh
Water@68 deg. F. Maximum
Working Pressure: 360 PSI



BVM (I/X) 4 SERIES
304 SS and 316 SS Construction



Technical Information

MINIMUM PUMPING RATES: 3 GPM

FLOW RANGE: 3 - 40 GPM

MINIMUM SUCTION PIPE SIZES:
1-1/4" NOMINAL DIAMETER, SCHEDULE 40 PIPE

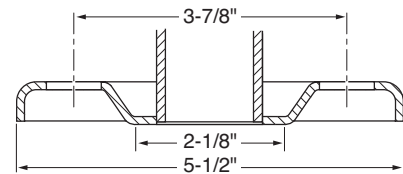
MAXIMUM WORKING PRESSURE: 360 PSI

MAXIMUM AMBIENT TEMPERATURE: 104° F

LIQUID TEMPERATURE RANGE: +5° F TO +250° F

MOTOR OPTIONS: TEFC OR ODP

CONSTRUCTION MATERIALS: SEE PAGE 18.



Dimensions and Specifications - BVM (I/X) 4 Series[†]

3 thru 7-1/2 HP

Model Number [†]	HP	Motor S.F.	Ph	Volts	Frame Size	Disc. Size	Suc. Size	Dimension in Inches*						TEFC Wt.	ODP Wt.
								A	B	C	D	E	F		
BVM(I/X)4-60	3	1.15	1	208-230	182TC	1-1/4	1-1/4	16-3/8	13-5/8	6-7/8	2-7/8	32-7/8	8-1/2	132	123
BVM(I/X)4-60	3	1.15	3	208-230/460	182TC	1-1/4	1-1/4	16-3/8	13-5/8	6-7/8	2-7/8	32-7/8	8-1/2	113	113
BVM(I/X)4-80/7	3	1.15	1	208-230	182TC	1-1/4	1-1/4	18-1/2	13-5/8	6-7/8	2-7/8	35	8-1/2	134	125
BVM(I/X)4-80/7	3	1.15	3	208-230/460	182TC	1-1/4	1-1/4	18-1/2	13-5/8	6-7/8	2-7/8	35	8-1/2	115	115
BVM(I/X)4-80	3	1.15	1	208-230	182TC	1-1/4	1-1/4	18-1/2	13-5/8	6-7/8	2-7/8	35	8-1/2	137	128
BVM(I/X)4-80	3	1.15	3	208-230/460	182TC	1-1/4	1-1/4	18-1/2	13-5/8	6-7/8	2-7/8	35	8-1/2	118	118
BVM4(I/X)-90	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	19-1/2	15-1/4	8	3-3/8	38-1/8	10-5/8	172	146
BVM4(I/X)-90	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	19-1/2	13-5/8	6-7/8	2-7/8	36-1/8	10-5/8	145	142
BVM(I/X)4-100	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	20-5/8	15-1/4	8	3-3/8	39-1/4	10-5/8	174	148
BVM(I/X)4-100	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	20-5/8	15-1/4	8	3-3/8	39-1/4	10-5/8	147	144
BVM4(I/X)-110	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	21-5/8	15-1/4	8	3-3/8	40-1/4	10-5/8	175	149
BVM4(I/X)-110	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	21-5/8	13-5/8	6-7/8	2-7/8	38-1/4	10-5/8	148	145
BVM(I/X)4-120	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	22-3/4	15-1/4	8	3-3/8	41-3/8	10-5/8	177	151
BVM(I/X)4-120	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	22-3/4	15-1/4	8	3-3/8	41-3/8	10-5/8	150	147
BVM4(I/X)-130	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	23-3/4	15-1/4	8	3-3/8	42-3/8	10-5/8	178	152
BVM4(I/X)-130	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	23-3/4	13-5/8	6-7/8	2-7/8	40-3/8	10-5/8	151	148
BVM(I/X)4-140	5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	24-7/8	15-1/4	8	3-3/8	43-1/2	10-5/8	180	154
BVM(I/X)4-140	5	1.15	3	208-230/460	184TC	1-1/4	1-1/4	24-7/8	15-1/4	8	3-3/8	43-1/2	10-5/8	153	150
BVM4(I/X)-150	7.5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	25-7/8	15-1/4	8	3-3/8	44-1/2	10-5/8	162	189
BVM4(I/X)-150	7.5	1.15	3	208-230/460	213TCZ	1-1/4	1-1/4	25-7/8	12	7-7/8	3-3/8	41-3/8	10-5/8	180	169
BVM(I/X)4-160	7.5	1.15	1	208-230	213TCZ	1-1/4	1-1/4	27	15-1/4	8	3-3/8	45-3/8	10-5/8	163	190
BVM(I/X)4-160	7.5	1.15	3	208-230/460	213TCZ	1-1/4	1-1/4	27	15-1/4	8	3-3/8	45-3/8	10-5/8	181	170

* Measurements represent the largest number possible for each model using standard efficiency motors.

† Includes BVM1 models constructed of 304 Stainless Steel and BVMX models constructed of 316 Stainless Steel.



ANEXO 8: TABLA SELECCION DE TANQUES

TANK DIA. INCHES	SQ FT BED AREA	CU FT PER INCH OF HEIGHT	SIDE SHELL HEIGHT ONLY	CU FT CAPACITY WITH 50% ± FREEBOARD	BED DEPTH INCHES	FREE BOARD INCHES	FLOW RATE		MAXIMUM SOFTENER-SALT CAPACITY @ 30,000 GRAINS		MINIMUM SOFTENER-SALT CAPACITY @ 20,000 GRAINS	
							SOFT-ENER	FILTER	@ 15#/ CU FT	@ 6#/ CU FT		
6"	.196	.016	31"	.35	21	10	2	1	10,500	5.25	7,000	2.1
7"	.267	.022	40"	.56	26	14	2.6	1.3	18,000	9	12,000	3.6
8"	.35	.029	31"	.5	18	13	3.5	1.75	16,000	7.5	10,500	3
8"	.35	.029	40"	.8	28	12	3.5	1.75	24,000	12	16,000	4.8
9"	.44	.04	44"	1	27	17	4	2.2	30,000	15	20,000	6
10"	.54	.045	40"	1.25	28	12	5	2.7	40,000	18.75	25,000	7.5
10"	.54	.045	50"	1.5	34	16	5	2.7	45,000	22.5	30,000	9
12"	.78	.065	42"	1.8	28	14	7	4	54,000	27	36,000	10.8
12"	.78	.065	48"	2	31	17	7	4	60,000	30	40,000	12
13"	.92	.077	50"	2.5	33	17	9	4.6	75,000	37.5	50,000	15
14"	1.07	.089	54"	3	34	20	10	5	90,000	45	60,000	18
16"	1.39	.116	54"	4	35	19	14	7	120,000	60	80,000	24
18"	1.77	.147	54"	5	34	20	18	9	150,000	75	100,000	30
20"	2.18	.182	60"	7	39	21	20	11	210,000	105	140,000	42
21"	2.41	.20	54"	7	36	18	24	12	210,000	105	140,000	42
22"	2.64	.220	56"	8.0	37	19	26	13	240,000	120	160,000	48
24"	3.14	.261	60"	10	38	22	30	15	300,000	150	200,000	60
30"	4.91	.409	60"	15	37	23	50	25	450,000	225	300,000	90
30"	4.91	.409	72"	20	49	23	50	25	600,000	300	400,000	120
36"	7.07	.589	60"	20	34	26	70	35	600,000	300	400,000	120
42"	9.62	.801	60"	30	38	22	95	50	900,000	450	600,000	180
48"	12.57	1.05	60"	40	38	22	125	60	1,200,000	600	800,000	240
54"	15.90	1.32	60"	50	38	22	160	80	1,500,000	750	1,000,000	360
54"	15.90	1.32	72"	60	46	26	160	80	1,800,000	900	1,200,000	300
60"	19.63	1.64	60"	65	40	20	200	100	1,950,000	975	1,300,000	390
60"	19.63	1.64	72"	80	49	23	200	100	2,400,000	1200	1,600,000	480
66"	23.76	1.98	60"	80	40	20	240	120	2,400,000	1200	1,600,000	480
72"	28.27	2.36	60"	95	40	20	280	140	2,850,000	1425	1,900,000	570
72"	28.27	2.36	72"	110	48	24	280	140	3,300,000	1650	2,200,000	660
78"	33.18	2.76	60"	110	40	20	330	165	3,300,000	1650	2,200,000	660
84"	38.48	3.2	60"	130	40	20	380	190	3,900,000	1950	2,600,000	780
90"	44.18	3.68	60"	150	40	20	440	220	4,500,000	2250	3,000,000	900
96"	50.27	4.19	60"	170	40	20	500	250	5,100,000	2550	3,400,000	1020
102"	56.75	4.73	60"	190	40	20	560	280	5,700,000	2850	3,800,000	1140
108"	63.62	5.3	60"	215	40	20	640	320	6,450,000	3225	4,300,000	1290
114"	70.88	5.91	60"	240	40	20	700	350	7,200,000	3600	4,800,000	1440
120"	78.54	6.54	60"	260	40	20	780	390	7,800,000	3900	5,200,000	1560
126"	86.59	7.22	60"	300	41	19	860	430	9,000,000	4500	6,000,000	1800
132"	95.03	7.92	60"	315	40	20	950	475	9,450,000	4725	6,300,000	1890
138"	103.87	8.66	60"	350	40	20	1040	520	10,500,000	5250	7,000,000	2100
144"	113.10	9.42	60"	380	40	20	1130	565	11,400,000	5700	7,600,000	2280
							Filter: Softener ²					
							Backwash Rate					

NOTE: Because of varying conditions, tables are for guideline only:

¹ Figured @ 10 gpm per square foot of bed area. FLOW RATE OF FILTER IS 50% OF BACKWASH RATE.

² Figured @ 5 gpm per square foot of bed area. FLOW RATE OF SOFTENER IS TWICE BACKWASH RATE.

ANEXO 9: TABLA GRAVA DE CUARZO



WATER SOFTENER
UNDERBED SIZE FOR SINGLE TANK

TANK SIZE	UNDER BED		
	1/2 x 1/4	1/4 x 1/8	#20
12 x 52	-	-	30
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	80
20 x 60	-	-	100
20 x 62	-	-	100
21 x 62	-	-	100
24 x 60	-	100	100
24 x 72	-	100	100
30 x 60	-	200	100
30 x 72	-	200	200
36 x 60	-	200	200
36 x 72	-	300	200
42 x 60	-	400	300
42 x 72	-	400	300
48 x 60	-	600	300
48 x 72	-	600	300

DIAPHRAGM VALVE NEST SYSTEMS - STEELTANK

TANK SIZE	1/2 x 1/4	1/4 x 1/8	#20
54 x 60	500	400	400
60 x 60	700	500	500
66 x 60	800	500	500
72 x 72	1200	700	700

WATER FILTERS
UNDERBED SIZE FOR SINGLE TANK

TANK SIZE	UNDER BED		
	1/2 x 1/4	1/4 x 1/8	#20
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - CARBON			
9 x 48	-	-	15
10 x 54	-	-	22
12 x 52	-	-	30
14 x 65	-	-	30
16 x 65	-	-	80
21 x 62	-	-	100
22 x 54	-	-	100
24 x 71	-	100	100
24 x 72	-	100	100
30 x 72	-	200	200
36 x 72	-	300	200
42 x 72	-	400	200
48 x 72	500	500	500
63 x 86	1050	500	500
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - CARBON - MAGNUM VALVE			
16 x 65	-	-	60
21 x 62	-	-	100
24 x 72	-	100	100
30 x 72	-	200	200
STEEL TANK - AUTOMATIC - CARBON			
20 x 60	-	-	100
24 x 60	-	100	100
30 x 60	-	200	100
36 x 60	-	300	200
42 x 60	-	400	200
54 x 60	700	700	500
FIBERGLASS TANK - MANUAL - CARBON			
6 x 18	-	-	5
7 x 35	-	-	10
7 x 44	-	-	20
8 x 18	-	-	15
8 x 35	-	-	20

continued next column

WATER FILTER
UNDERBED SIZE FOR SINGLE TANK

TANK SIZE	UNDER BED		
	1/2 x 1/4	1/4 x 1/8	#20
<i>continued from previous column</i>			
8 x 44	-	-	10
9 x 48	-	-	10
10 x 54	-	-	22
12 x 36	-	-	30
12 x 52	-	-	30
14 x 47	-	-	-
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	20
22 x 54	-	-	10
30 x 72	-	200	200
36 x 72	-	300	200
42 x 72	-	400	300
48 x 72	500	500	500
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - FILTER AG			
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	80
22 x 54	100	50	60
24 x 72	100	100	100
STEEL TANK - AUTOMATIC - FILTER AG			
20 x 60	100	55	55
24 x 60	100	100	100
30 x 60	200	100	200
36 x 60	300	200	200
42 x 60	400	200	200
FIBERGLASS TANK - MANUAL - FILTER AG			
24 x 72	125	75	75
30 x 72	200	125	125
36 x 72	300	125	175
42 x 72	400	250	250
48 x 72	525	325	325
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - SAND			
30 x 72	-	300	200
36 x 72	-	600	200
42 x 72	-	900	200
48 x 72	-	1300	200
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - 100% NEUTRALITE			
9 x 48	-	-	10
10 x 35	-	-	10
10 x 54	-	-	10
12 x 52	-	-	15
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	90
Aeration/precipitation Units - Iron or Neutralizer			
7 x 35	-	-	15

WATER FILTER
UNDERBED SIZE FOR SINGLE TANK

TANK SIZE	UNDER BED		
	1/4 x 1/8	#20	.6 -8
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - GREENSAND (w/o feeder)			
9 x 48	14	8	-
12 x 52	-	30	15
14 x 65	-	45	22
16 x 65	-	60	25
22 x 54	100	50	50
24 x 72	125	75	75

continued next column

WATER FILTER
UNDERBED SIZE FOR SINGLE TANK

TANK SIZE	UNDER BED		
	1/4 x 1/8	#20	.6 -8
<i>continued from previous column</i>			
30 x 72	200	125	125
36 x 72	300	175	175
42 x 72	400	250	250
48 x 72	525	325	325
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - GREENSAND (w/o Feeder) - MAGNUM VALVE			
16 x 65	-	60	40
21 x 62	-	100	50
24 x 72	100	100	75
30 x 72	200	200	100
STEEL TANK - AUTOMATIC - GREENSAND (w/o Feeder)			
20 x 60	-	100	50
24 x 60	100	80	75
30 x 60	165	125	12
36 x 60	235	175	18
42 x 60	320	240	25
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - GREENSAND (w/ Feeder)			
9 x 48	-	14	8
10 x 54	-	20	10
12 x 52	-	30	15
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - BIRM			
9 x 48	-	-	15
12 x 52	-	-	30
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	80
20 x 62	-	100	50
24 x 72	-	125	75
30 x 72	-	200	125
36 x 72	-	300	175
42 x 72	-	400	250
48 x 72	525	325	325
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - BIRM - MAGNUM VALVE			
16 x 65	-	60	-
21 x 62	-	100	-
24 x 72	100	100	-
30 x 72	200	200	-
FIBERGLASS TANK - MANUAL - BIRM			
14 x 65	-	-	60
16 x 65	-	-	90
24 x 72	-	100	100
30 x 72	-	200	100
36 x 72	-	300	200
42 x 72	-	400	200
48 x 72	500	500	500
FIBERGLASS TANK - AUTOMATIC - FILOX-R			
GARNET			
7 x 44	-	-	10
8 x 44	-	-	12
9 x 48	-	-	16
10 x 35	-	-	20
12 x 36	-	-	30
12 x 52	-	-	30
13 x 52	-	30	18
14 x 47	-	-	100
16 x 65	-	60	40
21 x 62	-	100	50
24 x 72	100	100	75

Commercial/Industrial Rotationally Molded Brine Tanks



Commercial and industrial water softeners require a large volume of brine during each regeneration.

From a capacity of 95 gallons to 500 gallons, our Rotationally Molded Brine Tanks are built to last.

Molded out of durable, chemically resistant high density polyethylene, their ¼" seamless walls won't bulge.

Rotationally Molded Brine Tanks are strong enough to handle your toughest brine requirements. (All tanks and covers are black.)

Also Available:

24" Plastic Grids

30" Plastic Grids

TANK SIZE	ORDER NUMBER	DIAMETER	HEIGHT	SALT CAPACITY	VOLUME	WEIGHT
24 x 48	G22448CB1P00	24"	48"	800 lbs.	95 gal.	30 lbs.
24 x 60	G22460CB1P00	24"	60"	1000 lbs.	115 gal.	32 lbs.
30 x 48	G23048CB1P00	30"	48"	1200 lbs.	145 gal.	48 lbs.
30 x 60	G23060CB1P00	30"	60"	1600 lbs.	180 gal.	56 lbs.
39 x 48	G23948CB1P00	39"	48"	2200 lbs.	250 gal.	67 lbs.
39 x 60	G23960CB1P00	39"	60"	2700 lbs.	300 gal.	80 lbs.
42 x 60	G24260CB1P00	42"	60"	3100 lbs.	350 gal.	84 lbs.
50 x 60	G25060CB1P00	50"	60"	4500 lbs.	500 gal.	107 lbs.

ANEXO 11: SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL

Clack™ Control Valves

In our 10th year.

Clack versus Fleck and GE ¾" and 1" Control Valve Comparison



WS1 • WS1CS



WS1EE



WS1TC

SPECIFICATIONS	CLACK WS1 SERIES	FLECK 5600	FLECK 2510	FLECK 2750	FLECK 9000	FLECK 9100	GE 255	GE 263/268
Control Valve Size	1"	¾"	¾"	1"	¾"	¾"	¾"	1"
Service @ 1 bar/ 15 psi drop	27 gpm (1)	20 gpm	19 gpm	26 gpm	18 gpm with ¾" Mechanical Meter 21 gpm with 1" Mechanical Meter	18.2 gpm with ¾" Mechanical Meter 19.4 gpm with ¾" Electronic Meter 20.1 gpm with 1" Mechanical Meter	15 gpm	25 gpm
Backwash @ 1.7 bar/ 25 psi drop	27 gpm (2)	7 gpm	17 gpm	25 gpm	8.5 gpm	8.5 gpm	6 gpm	20 gpm
Tank Applications: Softener (3) Filter (4)	6" - 21" dia. 6" - 21" dia.	6" - 12" dia. 6" - 10" dia.	6" - 16" dia. 8" - 16" dia.	10" - 24" dia. 10" - 21" dia.	6" - 16" dia. NA	6" - 16" dia. NA	6" - 14" dia. 6" - 10" dia.	7" - 14" dia. 7" - 18" dia.
Meter Specification	.25 - 27 gpm ± 5% Accuracy	.25 - 15 gpm ± 5% Accuracy	.25 - 15 gpm ± 5% Accuracy	.25 - 15 gpm with ¾" Mechanical Meter .7 - 40 gpm with 1" Mechanical Meter	.25 - 15 gpm with ¾" Mechanical Meter .7 - 40 gpm with 1" Mechanical Meter	.25 - 15 gpm with ¾" Mechanical Meter .7 - 40 gpm with 1" Mechanical Meter	Not Listed	Not Listed
Twin Capability	Yes - WS1EE	NA	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

1. Includes meter and bypass
2. Includes bypass
3. Softener tank size calculated @ 5 gpm of backwash per square foot of bed depth
4. Filter tank size calculated @ 10 gpm of backwash per square foot of bed area

All the data acquired for Fleck and GE Control Valves was taken from manufacturers specification sheets from their respective websites on January 20, 2009.

ANEXO 11: (continuación)

In our 10th year.

Clack versus Fleck and GE 1.5" Control Valve Comparison



WS1.5EE

SPECIFICATIONS	CLACK WS1.5EE	FLECK 2850	FLECK 9500	GE 150	GE MAGNUM Cv
Control Valve Size	1.5"	1.5"	1.5"	1.5"	1.5"
Service @ 15 psi drop	60 gpm	51 gpm	43 gpm	57 gpm	76 gpm
Backwash @ 25 psi drop	50 gpm	49 gpm	16 gpm	71.5 gpm	89 gpm
Tank Applications:					
Softener (1)	12" - 24" dia.	10" - 30" dia.	10" - 24" dia.	14" - 30" dia.	14" - 36" dia.
Filter (2)	12" - 30" dia.	10" - 24" dia.	10" - 14" dia.	14" - 36" dia.	14" - 36" dia.
Meter Specification	.5 - 75 gpm ± 5% Accuracy	1.5 - 75 gpm ± 5% Accuracy	1.5 - 75 gpm ± 5% Accuracy	.5 - 25 gpm 1" Flow Meter ± 3% Accuracy 5 - 150 gpm 2" Flow Meter ± 3% Accuracy	.5 - 25 gpm 1" Flow Meter ± 3% Accuracy 5 - 150 gpm 2" Flow Meter ± 3% Accuracy
Twin Capability	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

1. Softener tank size calculated @ 5 gpm of backwash per square foot of bed depth

2. Filter tank size calculated @ 10 gpm of backwash per square foot of bed area

All the data acquired for Fleck and GE Control Valves was taken from manufacturers specification sheets from their respective websites on January 20, 2009.

ANEXO 12: TABLA INYECTORES

Injector Color with Tank Size

WS1 & WS1.25 Injectors

Injector Order Number	Injector Color	Typical Tank Diameter	
		Downflow	Upflow
V3010-1A	Black	6"	8"
V3010-1B	Brown	7"	9"
V3010-1C	Violet	8"	10"
V3010-1D	Red	9"	12"
V3010-1E	White	10"	13"
V3010-1F	Blue	12"	14"
V3010-1G	Yellow	13"	16"
V3010-1H	Green	14"	18"
V3010-1I	Orange	16"	22"
V3010-1J	Light Blue	18"	
V3010-1K	Light Green	22"	

WS1.5 & WS2L Injectors

Injector Order Number	Injector Color	Typical Tank Diameter	
		Downflow	Upflow
V3010-15B	Violet	12"	
V3010-15C	Red	13"	
V3010-15D	White	14"	
V3010-15E	Blue	16"	
V3010-15F	Yellow	18"	
V3010-15G	Green	21"	
V3010-15H	Orange	24"	
V3010-15H	Orange	30" **	

**Set an extended draw time for full salting

WS2 Injectors

Injector Order Number	Injector Color	Typical Tank Diameter	
		Downflow	Upflow
V3010-2R-15B	Violet	12"	
V3010-2S-15C	Red	13"	
V3010-2T-15D	White	14"	
V3010-2U-15E	Blue	16"	
V3010-2A	Black	18"	
V3010-2B	Black	21"	
V3010-2C	Black	24"	
V3010-2D	Black	30"	
V3010-2E	Black	36"	
V3010-2F	Black	42"	
V3010-2G	Black	48"	

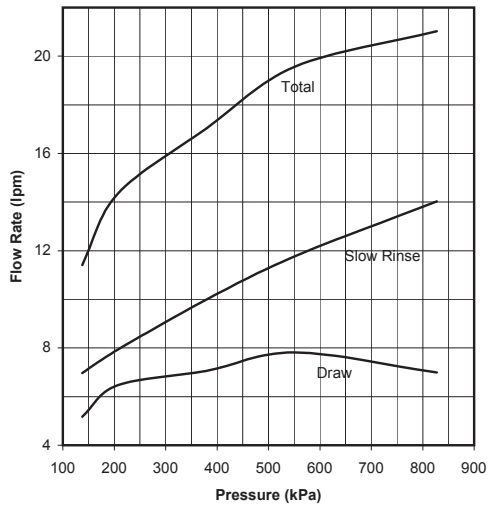
WS2H (Heavy) Injectors

Injector Order Number	Injector Color	Typical Tank Diameter	
		Downflow	Upflow
V3010-2A	Black	18"	
V3010-2B	Black	21"	
V3010-2C	Black	24"	
V3010-2D	Black	30"	
V3010-2E	Black	36"	
V3010-2F	Black	42"	
V3010-2G	Black	48"	
*V3010-2H	GREY (Machined)	63"	

ANEXO 13: TABLA FLUJO DE SUCCIÓN PARA INYECTORES

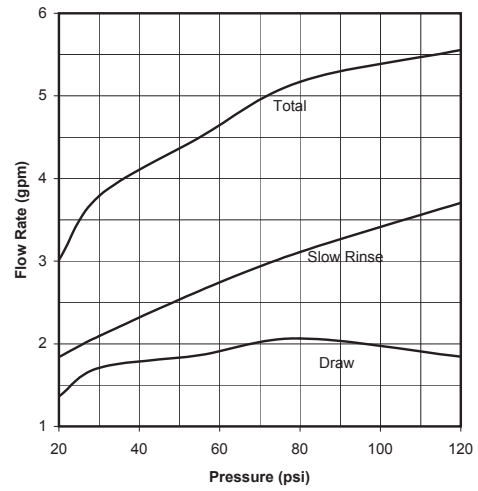
GREEN, ORDER NO. V3010-15G

Metric Units



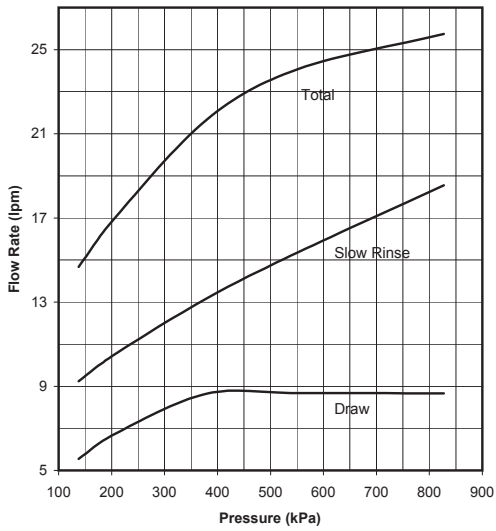
GREEN, ORDER NO. V3010-15G

US Units



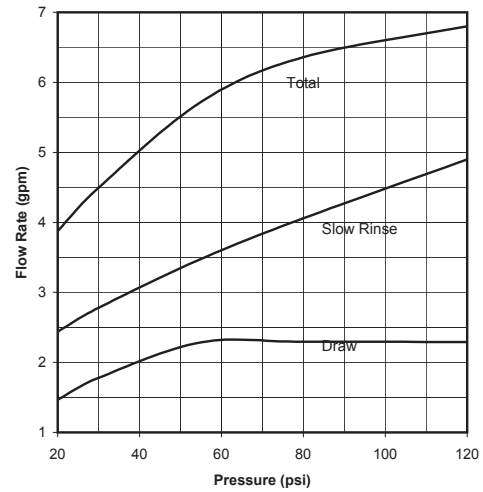
ORANGE, ORDER NO. V3010-15H

Metric Units



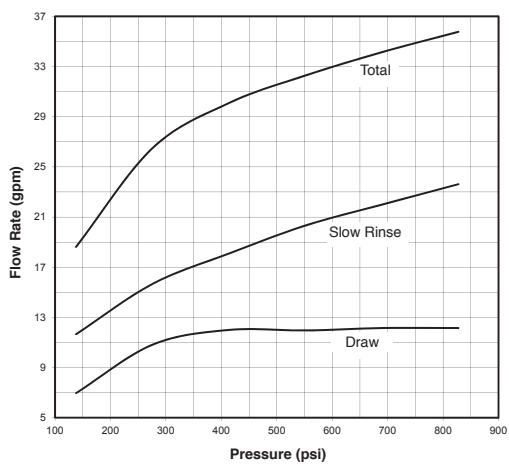
ORANGE, ORDER NO. V3010-15H

US Units



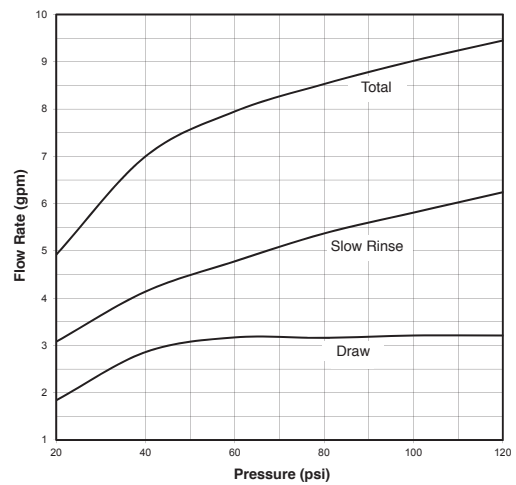
ORDER NO. V3010-15I

Metric Units

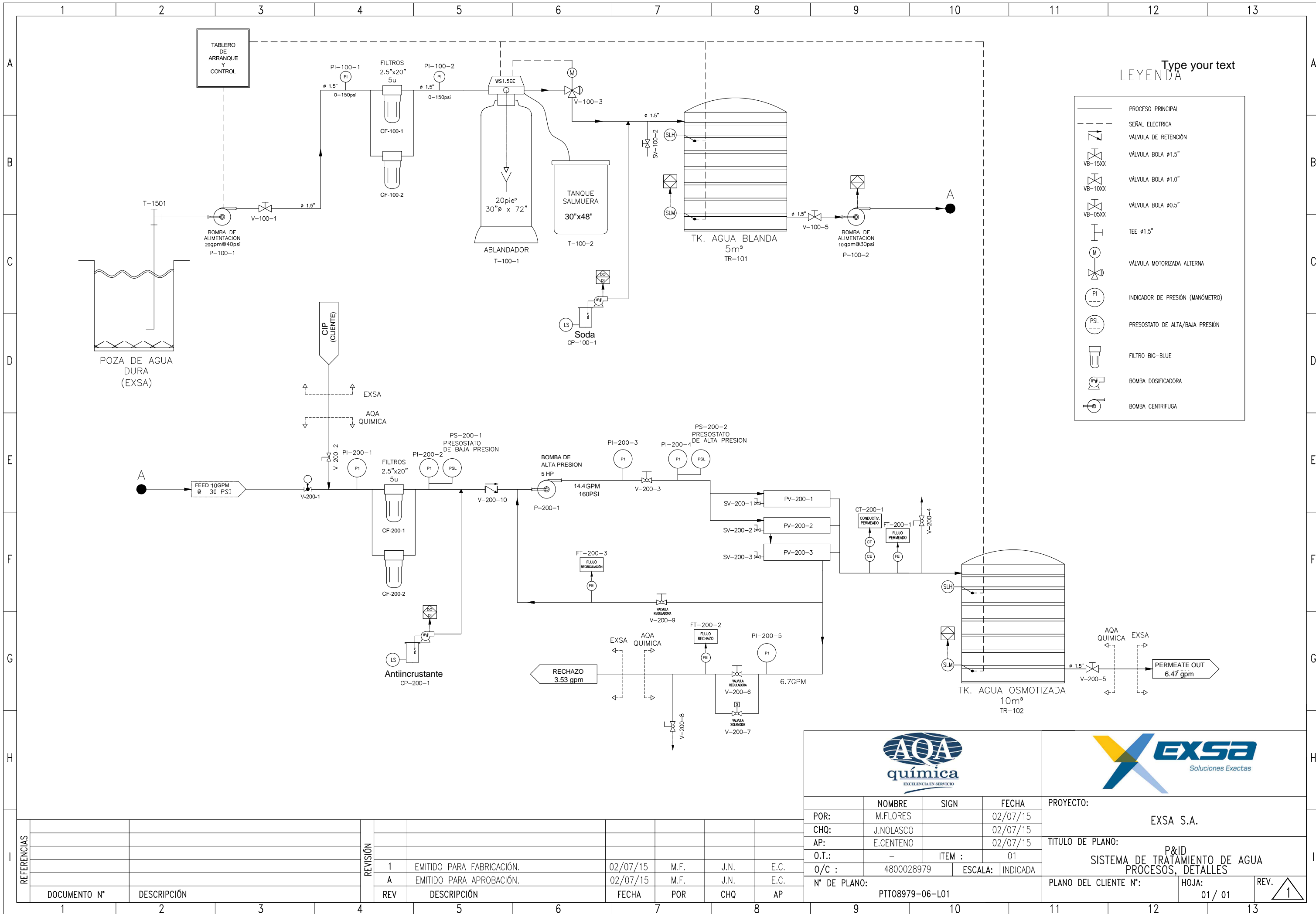


ORDER NO. V3010-15I

US Units



* AQU QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQU QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQU QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



Type your text
 LEYENDA

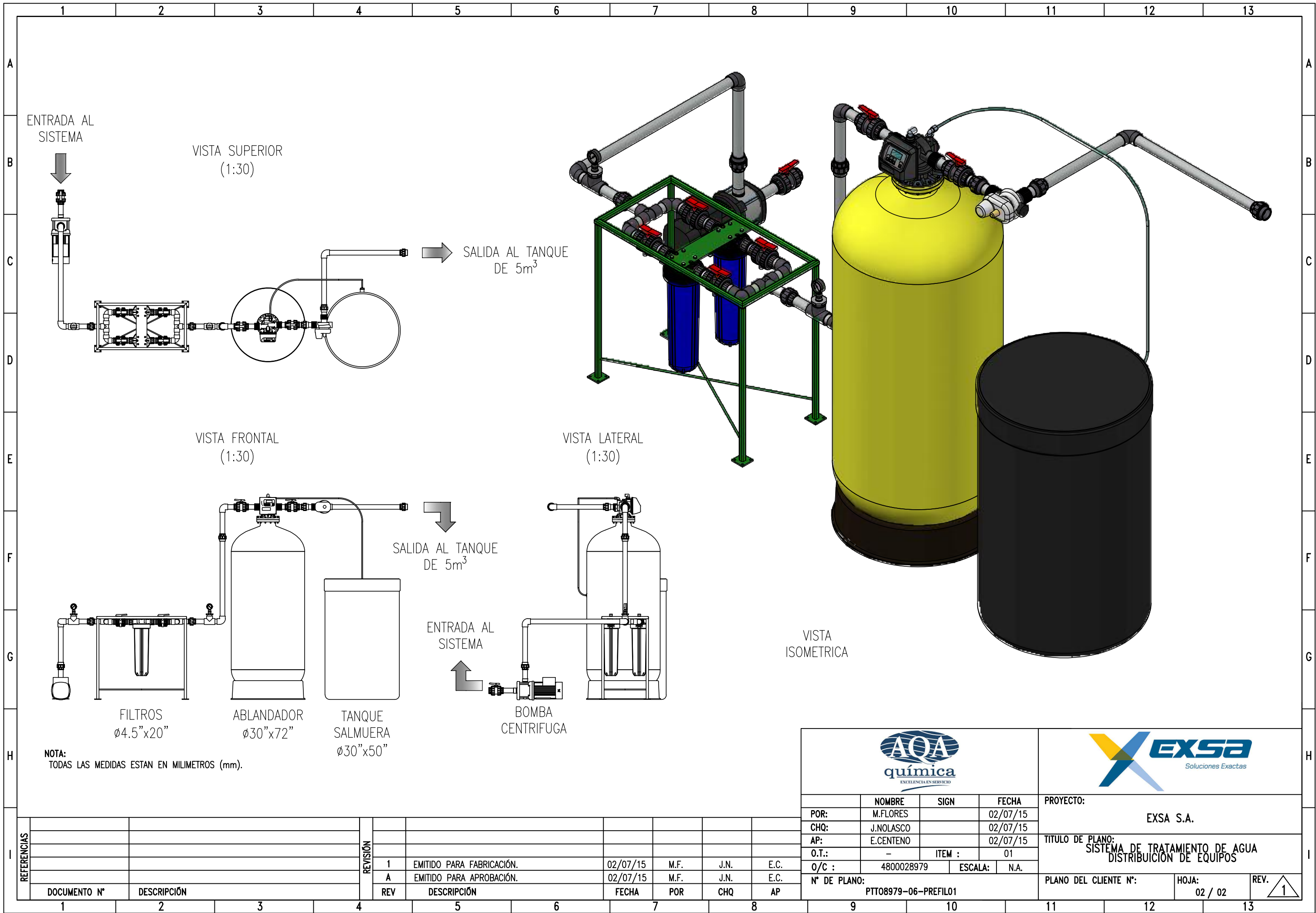
	PROCESO PRINCIPAL
	SEÑAL ELECTRICA
	VÁLVULA DE RETENCIÓN
	VÁLVULA BOLA #1.5"
	VÁLVULA BOLA #1.0"
	VÁLVULA BOLA #0.5"
	TEE #1.5"
	VÁLVULA MOTORIZADA ALTERNA
	INDICADOR DE PRESIÓN (MANÓMETRO)
	PRESOSTATO DE ALTA/BAJA PRESIÓN
	FILTRO BIG-BLUE
	BOMBA DOSIFICADORA
	BOMBA CENTRIFUGA

POR:	NOMBRE	SIGN	FECHA
CHQ:	M.FLORES		02/07/15
AP:	J.NOLASCO		02/07/15
O.T.:	E.CENTENO		02/07/15
O/C :	-	ITEM :	01
N° DE PLANO:	4800028979	ESCALA:	INDICADA
	PTT08979-06-L01		

PROYECTO:		
EXSA S.A.		
TITULO DE PLANO:		
P&ID SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROCESOS, DETALLES		
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA:	REV.
	01 / 01	1

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
		1		EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
		A		EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.

* AQA QUIMICA S.A. - Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420

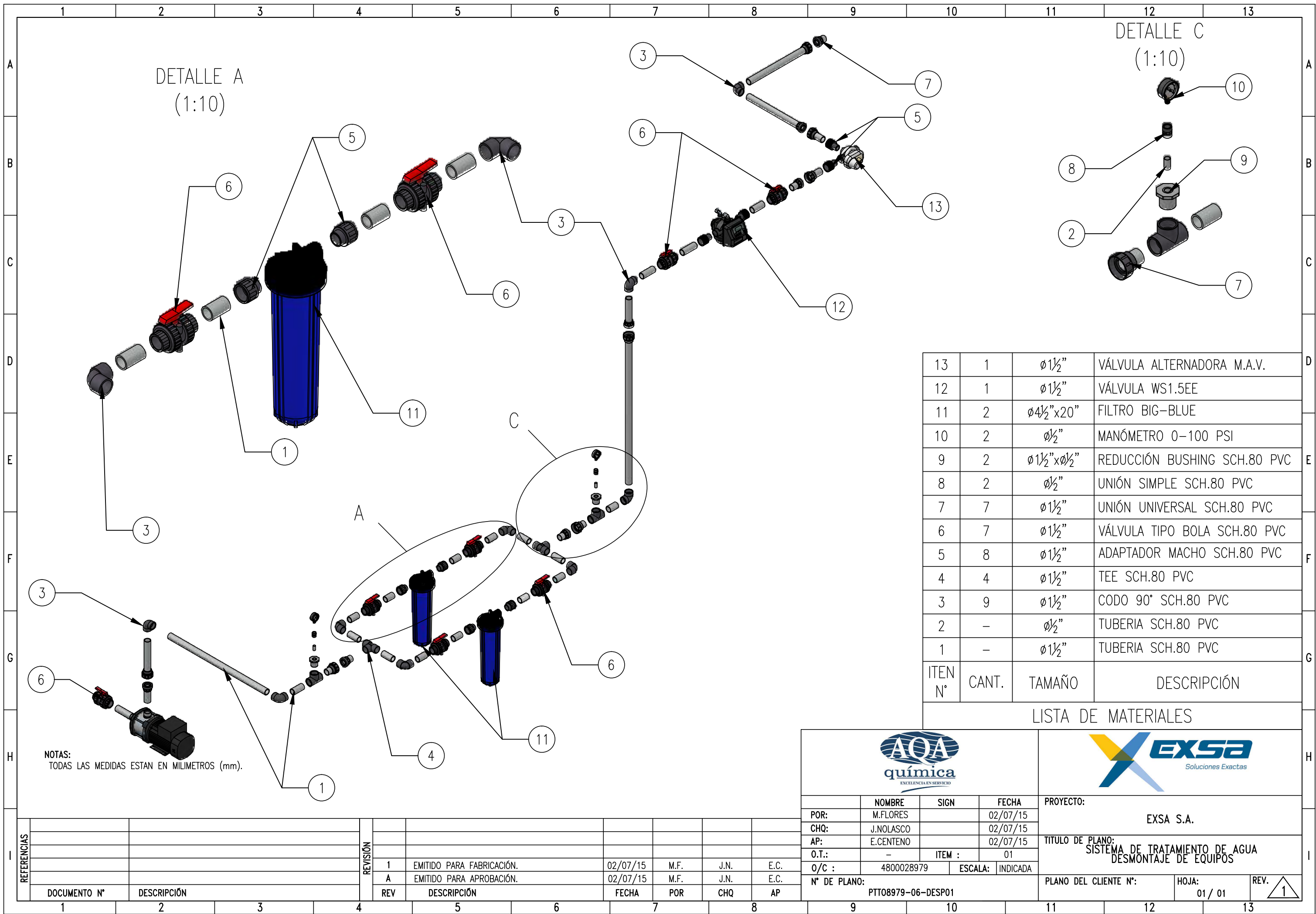


REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1	EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
			A	EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.

AQA química EXCELENCIA EN SERVICIO			
POR:	NOMBRE	SIGN	FECHA
CHQ:	M.FLORES		02/07/15
AP:	J.NOLASCO		02/07/15
O.T.:	-	ITEM :	01
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.
N° DE PLANO: PTT08979-06-PREFILO1			

EXSA Soluciones Exactas	
PROYECTO:	EXSA S.A.
TITULO DE PLANO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA: 02 / 02
REV. 1	

* AQA QUIMICA S.A., Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



NOTAS:
 TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS (mm).

ITEN N°	CANT.	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
13	1	ø1½"	VÁLVULA ALTERNADORA M.A.V.
12	1	ø1½"	VÁLVULA WS1.5EE
11	2	ø4½"x20"	FILTRO BIG-BLUE
10	2	ø½"	MANÓMETRO 0-100 PSI
9	2	ø1½"xø½"	REDUCCIÓN BUSHING SCH.80 PVC
8	2	ø½"	UNIÓN SIMPLE SCH.80 PVC
7	7	ø1½"	UNIÓN UNIVERSAL SCH.80 PVC
6	7	ø1½"	VÁLVULA TIPO BOLA SCH.80 PVC
5	8	ø1½"	ADAPTADOR MACHO SCH.80 PVC
4	4	ø1½"	TEE SCH.80 PVC
3	9	ø1½"	CODO 90° SCH.80 PVC
2	-	ø½"	TUBERIA SCH.80 PVC
1	-	ø1½"	TUBERIA SCH.80 PVC

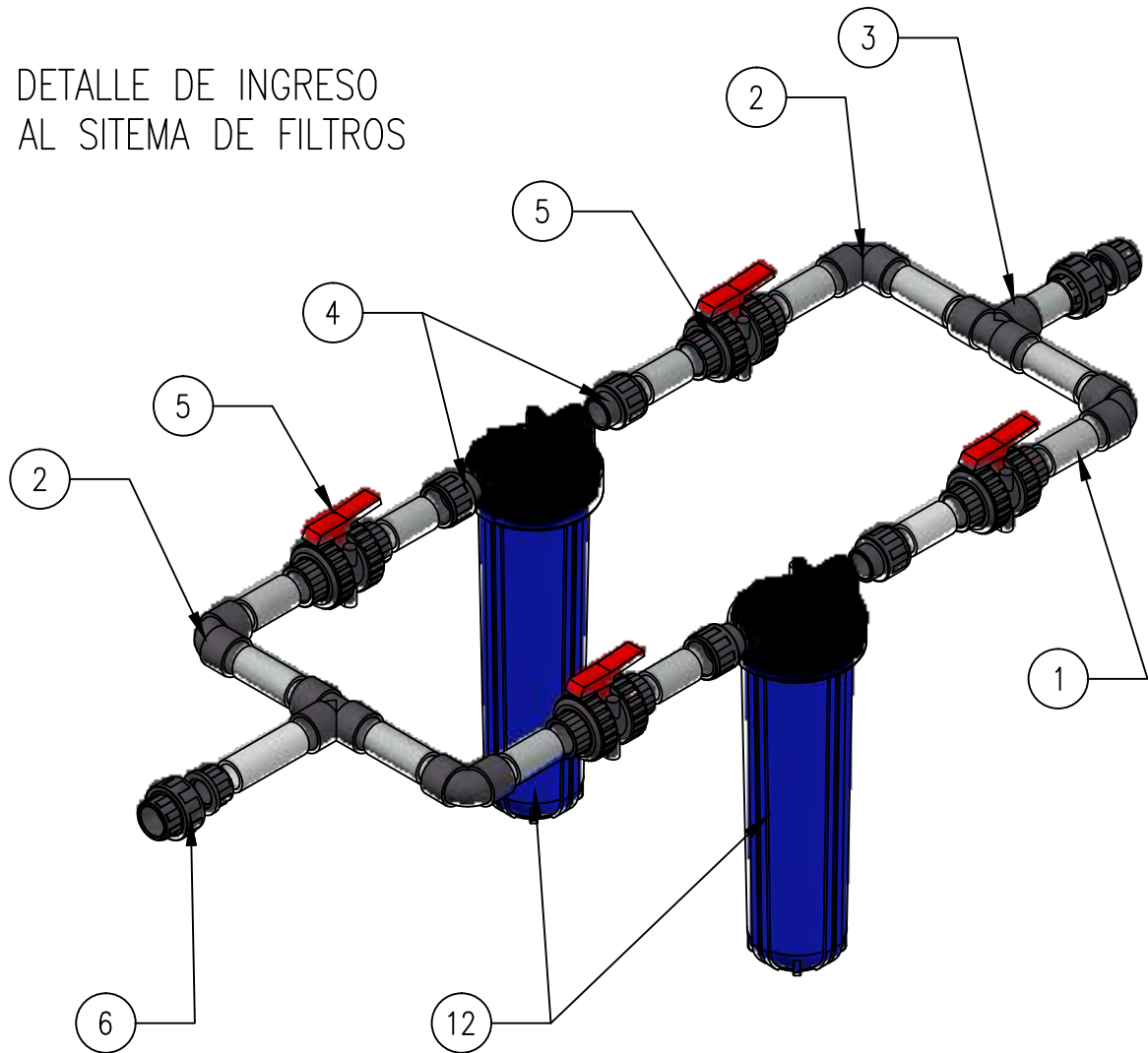
LISTA DE MATERIALES

POR: M.FLORES CHQ: J.NOLASCO AP: E.CENTENO O.T.: - O/C : 4800028979				SIGN ITEM : 01 ESCALA: INDICADA		PROYECTO: EXSA S.A.	
N° DE PLANO: PTT08979-06-DESP01				TITULO DE PLANO: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DESMONTAJE DE EQUIPOS			
PLANO DEL CLIENTE N°:		HOJA: 01 / 01		REV. 1			

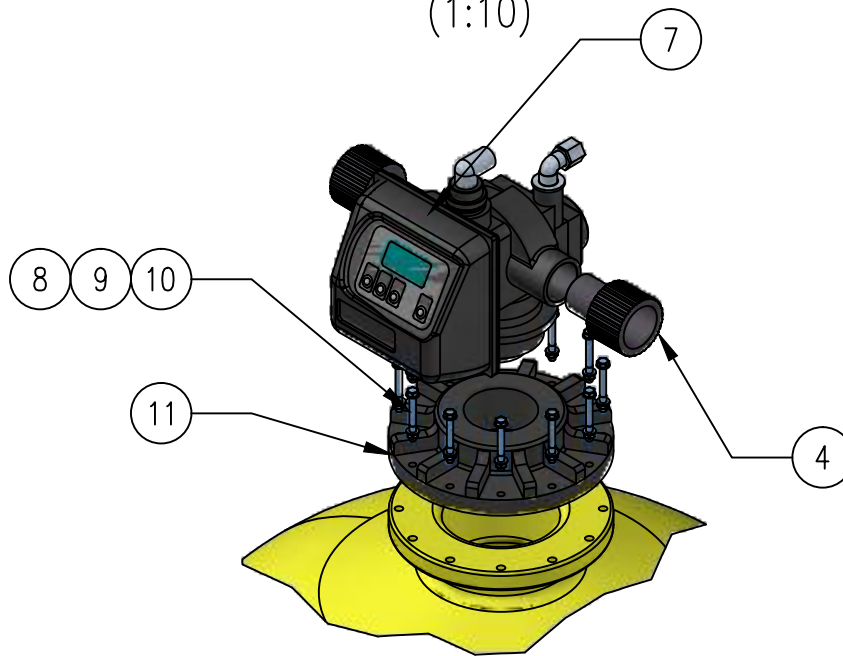
REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1		EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
			A		EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.

* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420

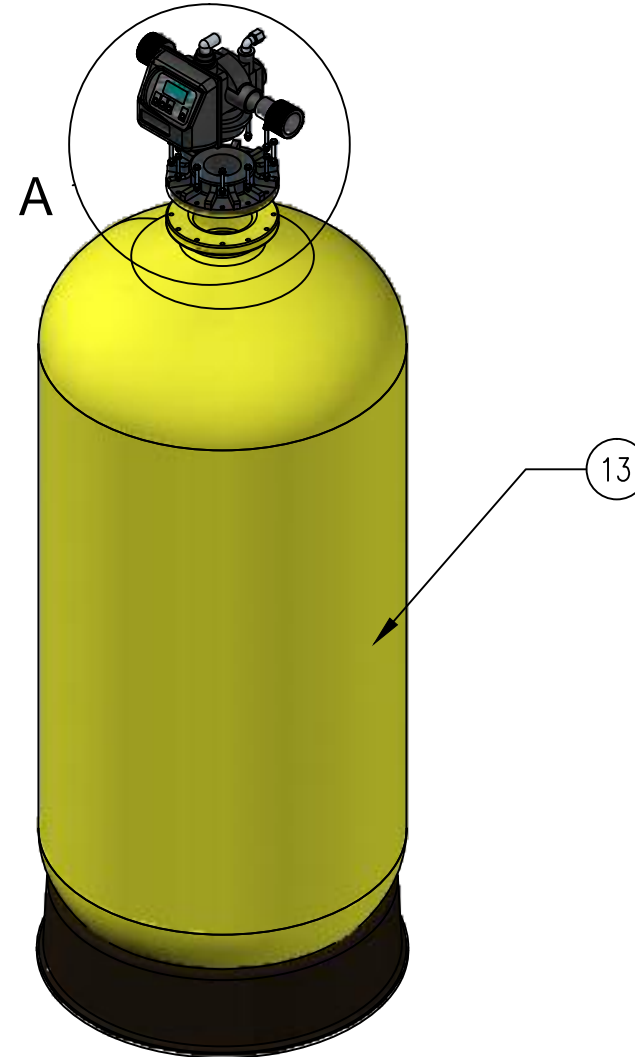
DETALLE DE INGRESO AL SISTEMA DE FILTROS



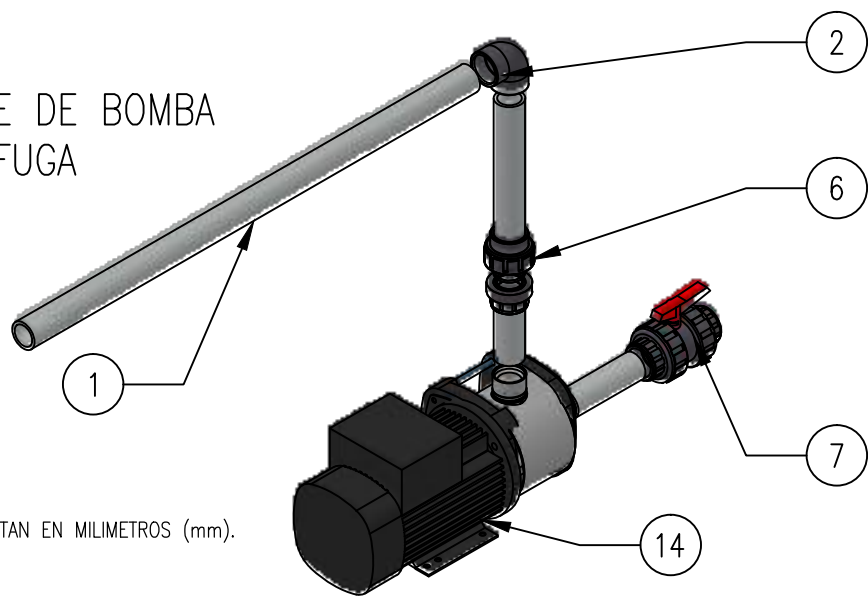
DETALLE A (1:10)



DETALLE DE INSTALACIÓN DE TANQUE



DETALLE DE BOMBA CENTRIFUGA



NOTAS:
TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS (mm).

ITEM N°	CANT.	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	ITEM N°	CANT.	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
7	1	-	VÁLVULA AUTOMÁTICA WS1.5EE	14	1	-	BOMBA CENTRIFUGA CM34
6	7	ø1½"	UNIÓN UNIVERSAL SCH.80 PVC	13	1	ø30"x72"	TANQUE DE FIBRA DE VIDRIO
5	7	ø1½"	VÁLVULA TIPO BOLA SCH.80 PVC	12	2	ø4½"x20"	FILTRO BIG-BLUE
4	8	ø1½"	ADAPTADOR MACHO SCH. 80 PVC	11	1	6"	FLAGE 6"x4"-8 UN ADAPTER
3	4	ø1½"	TEE SCH. 80 PVC	10	12	M7	TUERCA HEXAGONAL
2	9	ø1½"	CODO 90° SCH.80 PVC	9	24	M7	ARANDELA PLANA M7
1	-	ø1½"	TUBERIA SCH.80 PVC	8	12	M7	TORNILLO CAB. HEX. M7x60mm

LISTA DE MATERIALES

LISTA DE MATERIALES

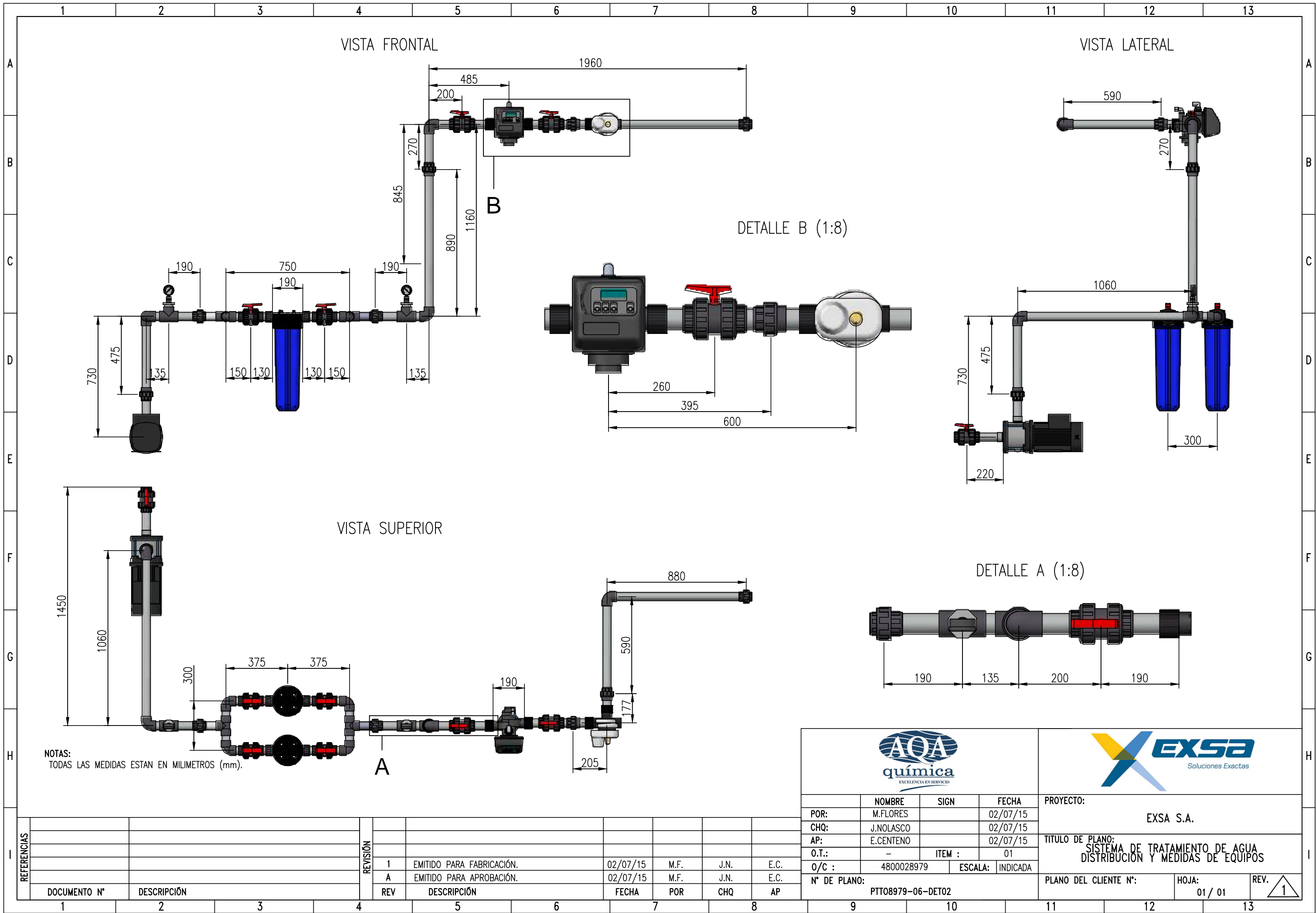
REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1		EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
			A		EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.



NOMBRE	SIGN	FECHA
POR: M.FLORES		02/07/15
CHQ: J.NOLASCO		02/07/15
AP: E.CENTENO		02/07/15
O.T.: -	ITEM : 01	
O/C : 4800028979	ESCALA: N.A.	
N° DE PLANO: PTT08979-06-DET01		

PROYECTO:	EXSA S.A.		
TÍTULO DE PLANO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DETALLE DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS		
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA:	REV.	
	02 / 02	1	

* AQA QUIMICA S.A., Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420

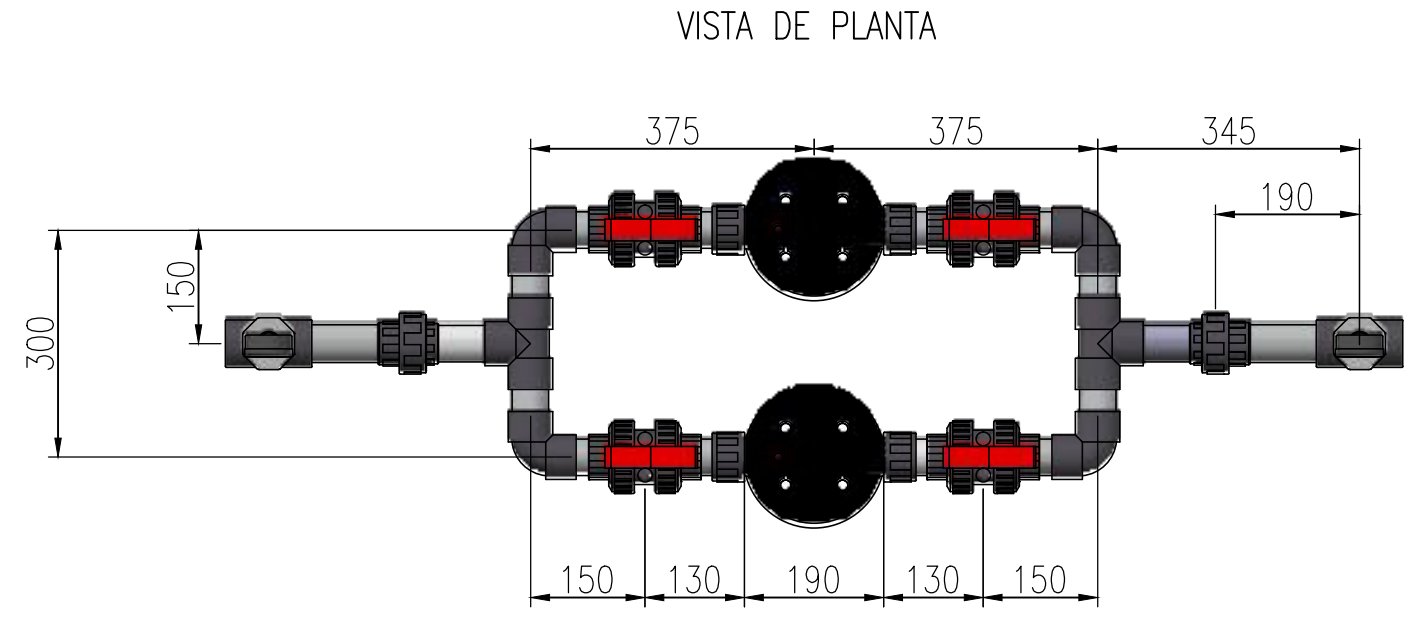
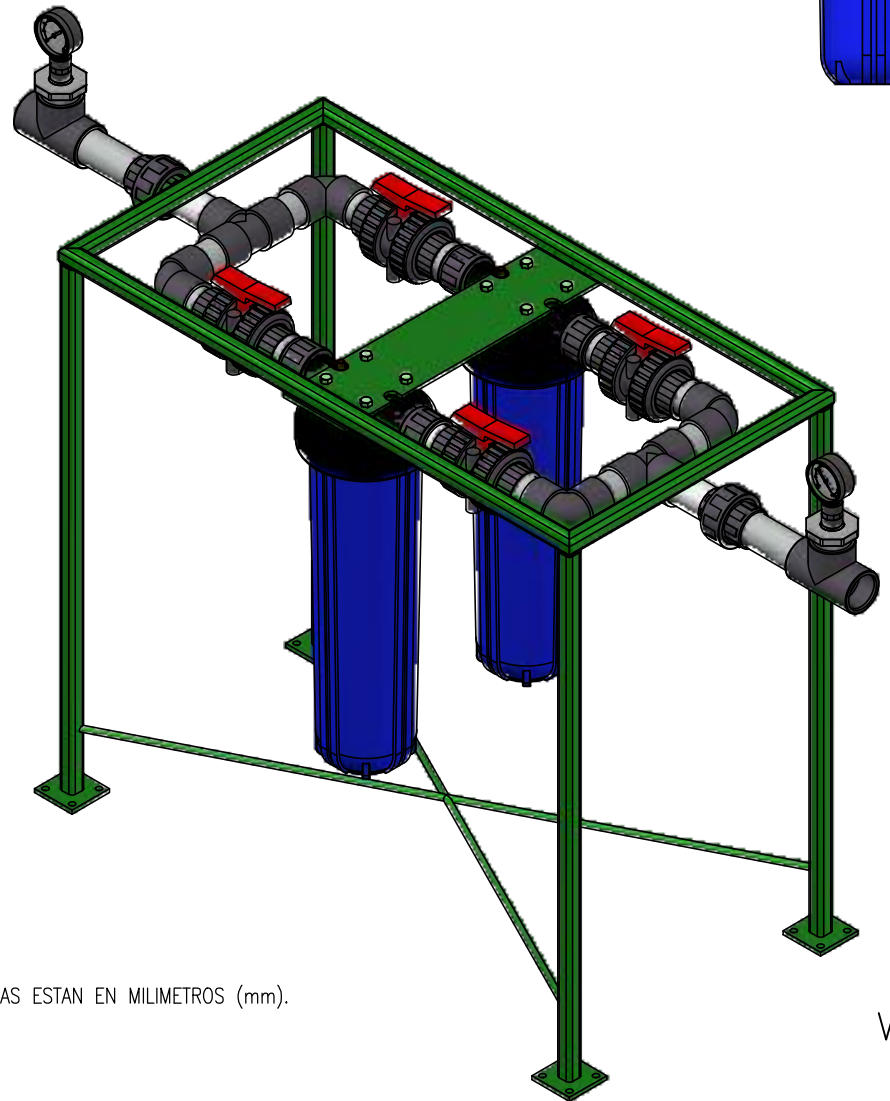
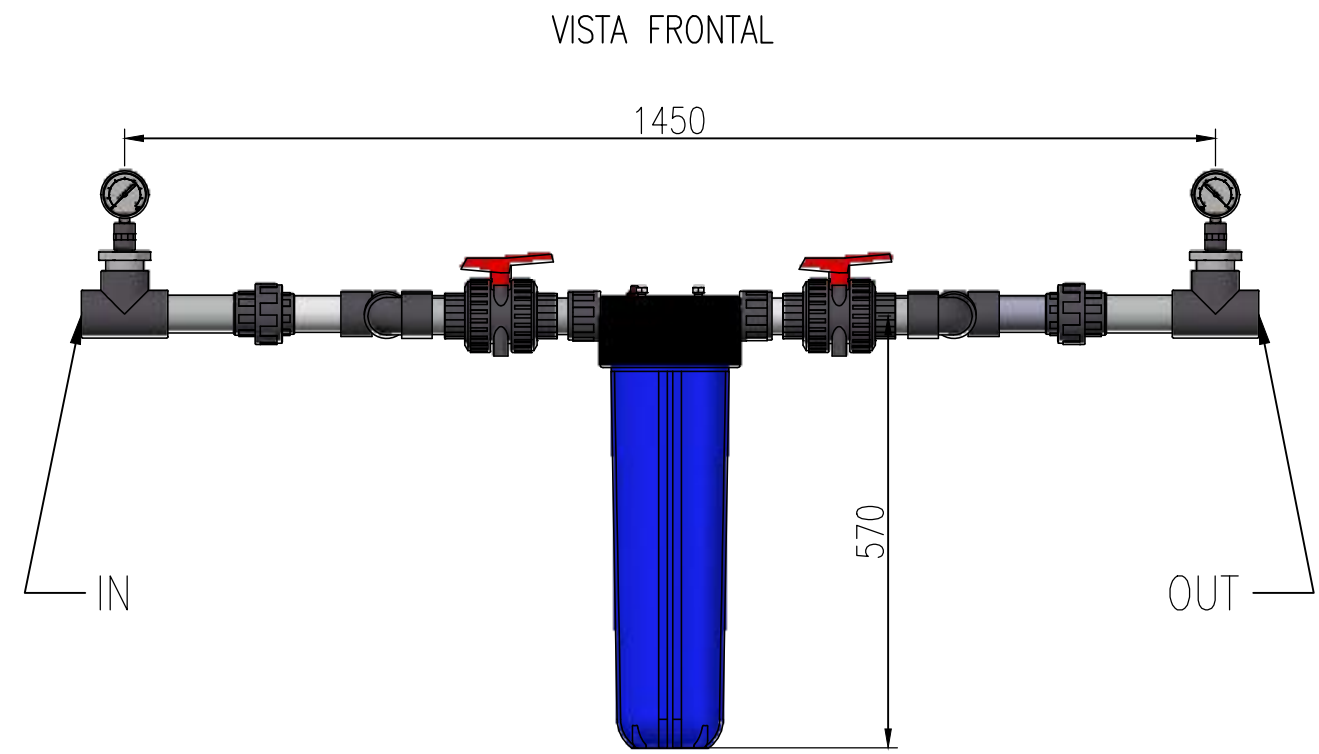
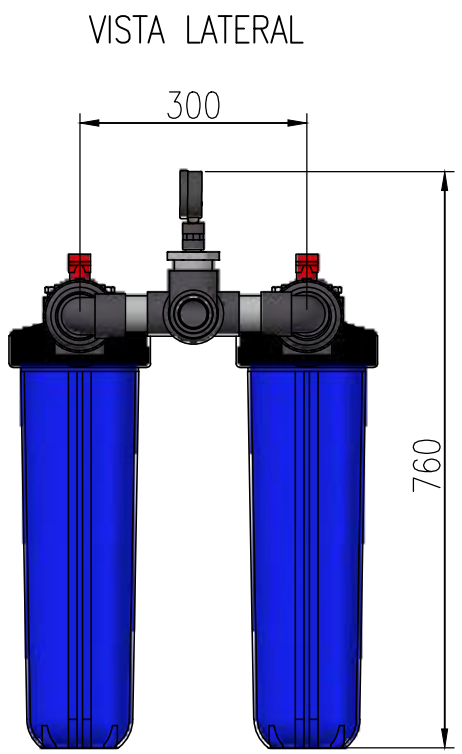
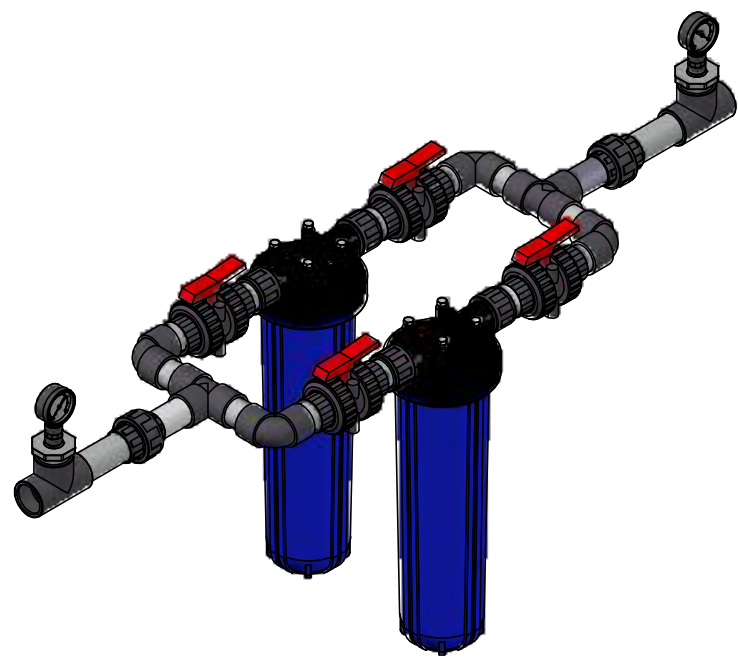


REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1		EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
			A		EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.

POR:	NOMBRE	SIGN	FECHA
CHQ:	M.FLORES		02/07/15
AP:	J.NOLASCO		02/07/15
O.T.:	E.CENTENO	ITEM :	01
O/C :	-	ESCALA:	INDICADA
N° DE PLANO:	4800028979		
	PTT08979-06-DET02		

PROYECTO:	EXSA S.A.
TITULO DE PLANO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DISTRIBUCIÓN Y MEDIDAS DE EQUIPOS
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA: 01 / 01
REV.	1

* AQA QUIMICA S.A., Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



NOTAS:
 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS (mm).

VISTA ISOMETRICA

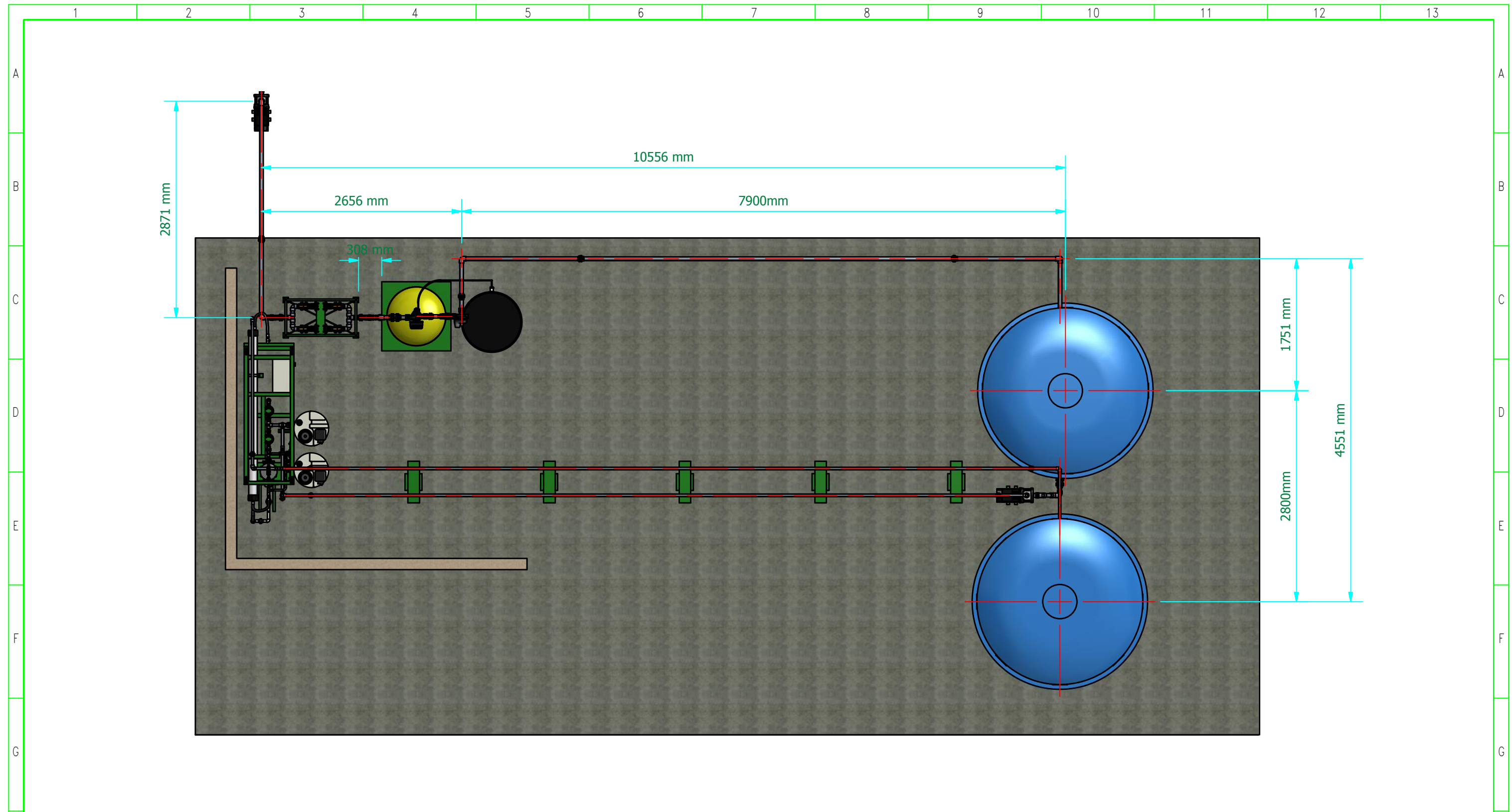


	NOMBRE	SIGN	FECHA
POR:	M.FLORES		02/07/15
CHQ:	J.NOLASCO		02/07/15
AP:	E.CENTENO		02/07/15
O.T.:	-	ITEM :	01
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.
N° DE PLANO:	PTT08979-06-DET03		

PROYECTO:	EXSA S.A.		
TITULO DE PLANO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PORTAFILTROS BIG BLUE 4.5"X20"		
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA:	REV.	
	01 / 01	1	

REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1	EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.
			A	EMITIDO PARA APROBACIÓN.	02/07/15	M.F.	J.N.	E.C.

* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



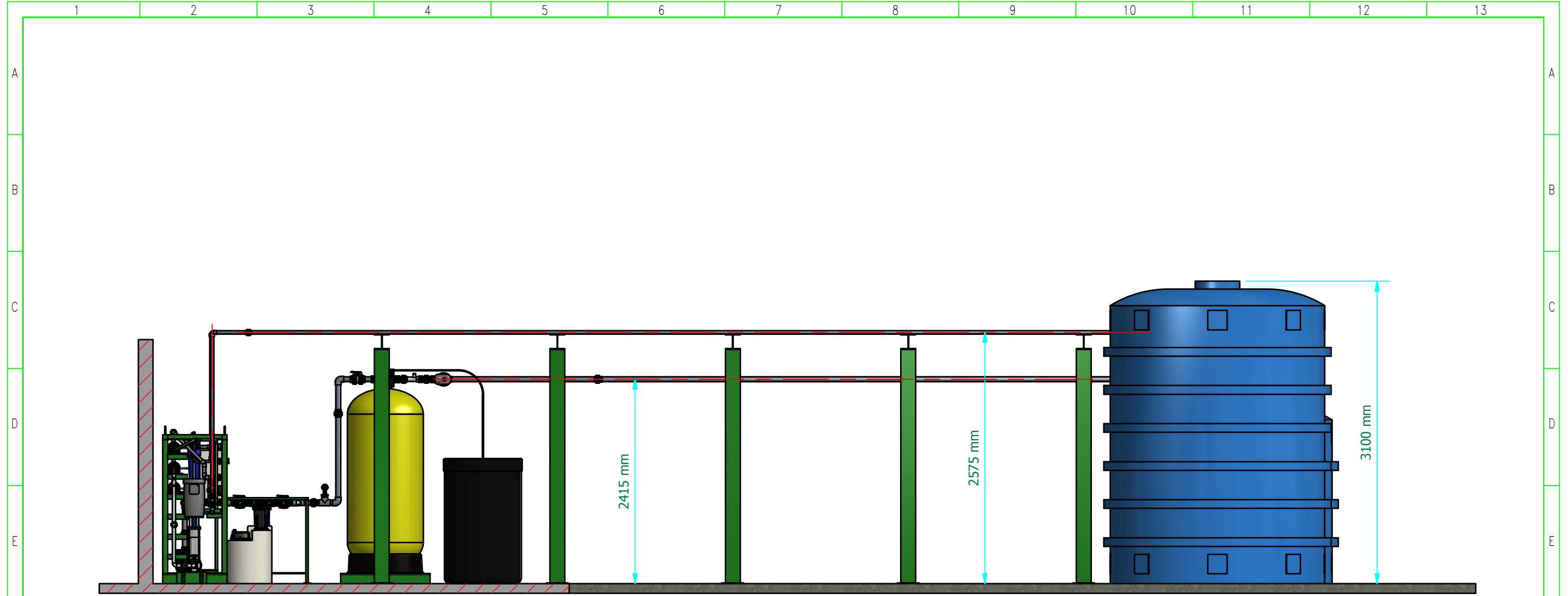
DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
A	EMITIDO PARA APROBACION	16/07/15	A.O.	E.C.	E.C.

POR:	NOMBRE	SIGN.	FECHA
CHQ:	A.OTERO		16/07/15
AP:	E.CENTENO		16/07/15
O.T.:		ITEM :	01
O/C :		ESCALA:	1:7.5
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-PG01			

PROYECTO: EXSA S.A.	
TITULO DE PLANO: SALIDA DE FILTROS BIG BLUE	
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA: 1 OF 3
REV.	A

* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



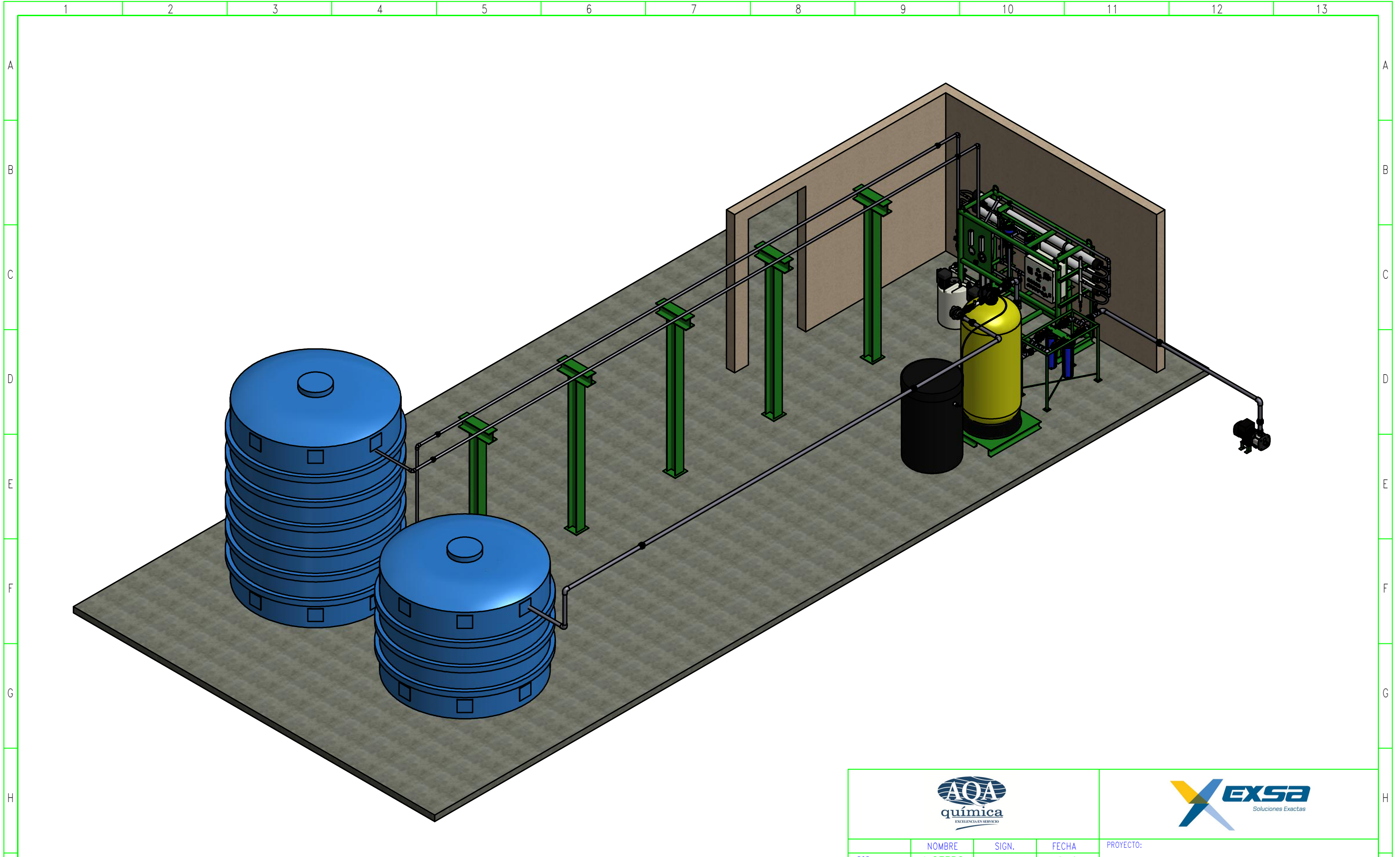
VISTA FRONTAL
 ESC: S/E

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
A			A.O.	E.C.	E.C.

 <small>EXCELENCIA EN SERVICIO</small>	 <small>Soluciones Exactas</small>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>SIGN.</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>POR: A.OTERO</td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>CHQ: E.CENTENO</td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>AP: E.CENTENO</td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>O.T.: </td> <td>ITEM : 01</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>O/C : </td> <td>ESCALA: </td> <td> </td> </tr> </table>	NOMBRE	SIGN.	FECHA	POR: A.OTERO			CHQ: E.CENTENO			AP: E.CENTENO			O.T.:	ITEM : 01		O/C :	ESCALA:		PROYECTO: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">EXSA S.A.</div>
NOMBRE	SIGN.	FECHA																	
POR: A.OTERO																			
CHQ: E.CENTENO																			
AP: E.CENTENO																			
O.T.:	ITEM : 01																		
O/C :	ESCALA:																		
N° DE PLANO: <div style="text-align: center; font-weight: bold;">PTT08979-06-RO-PG01</div>	TITULO DE PLANO: PLANO DEL CLIENTE N°: HOJA: 2 OF 3 REV. A																		

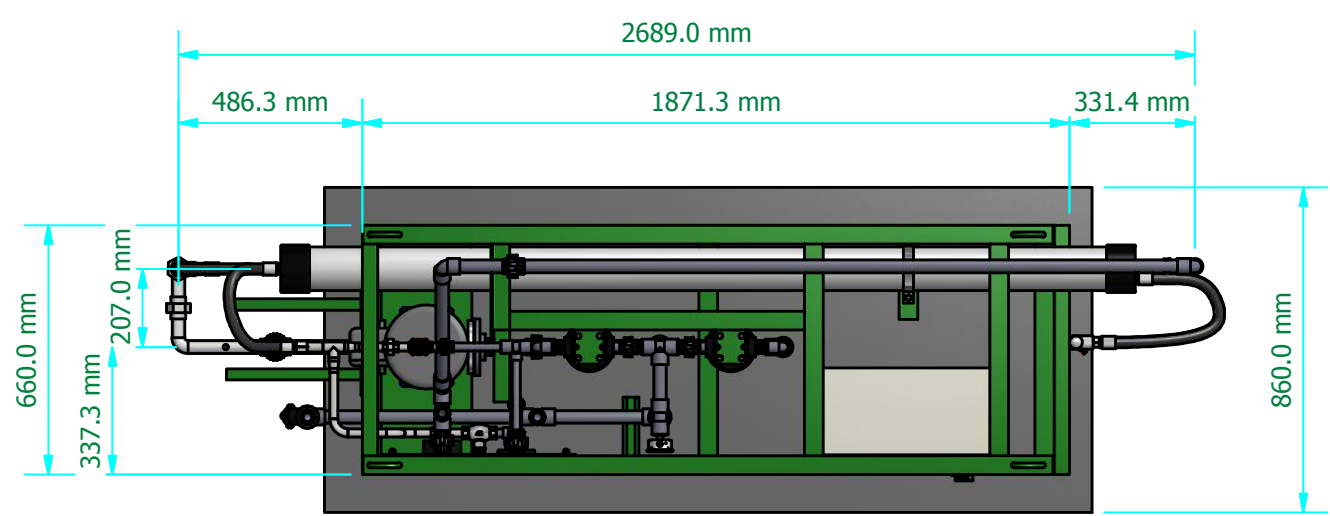
* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



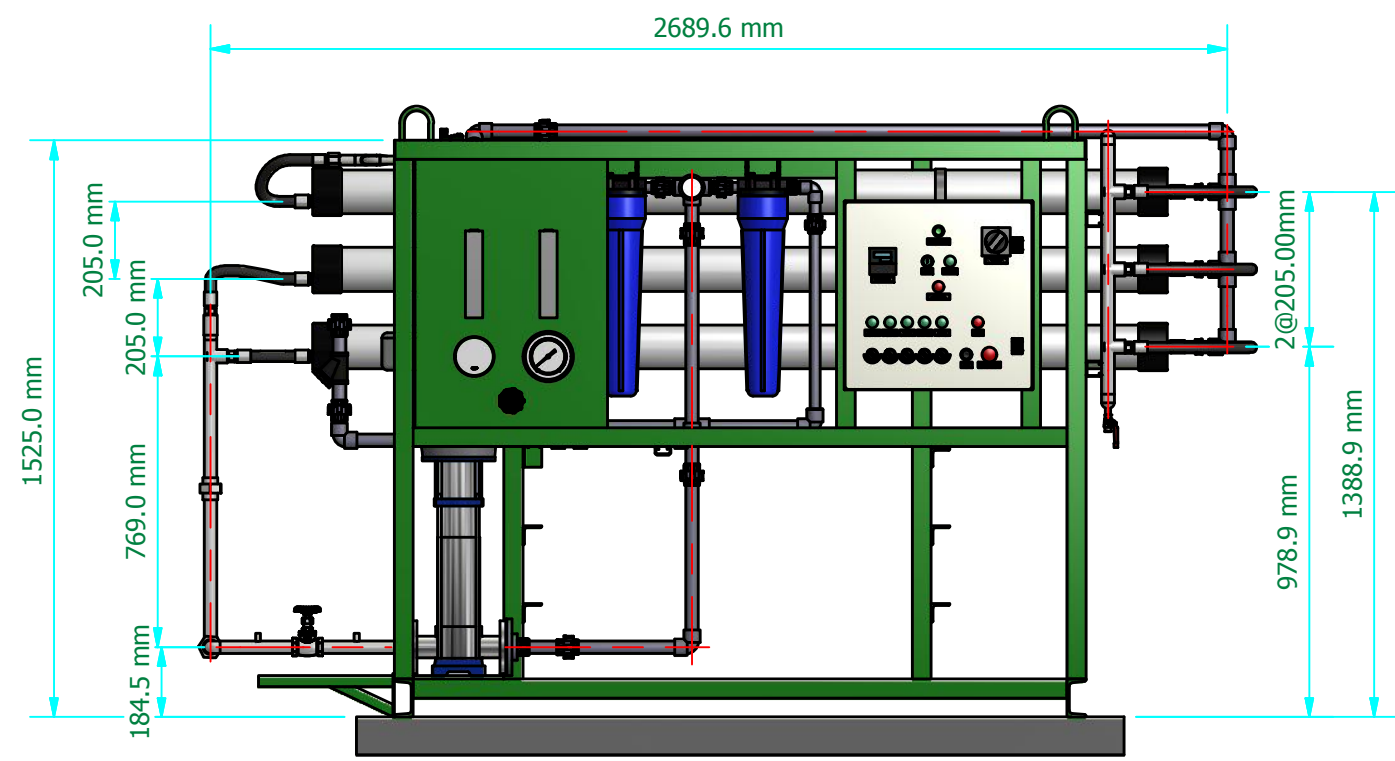
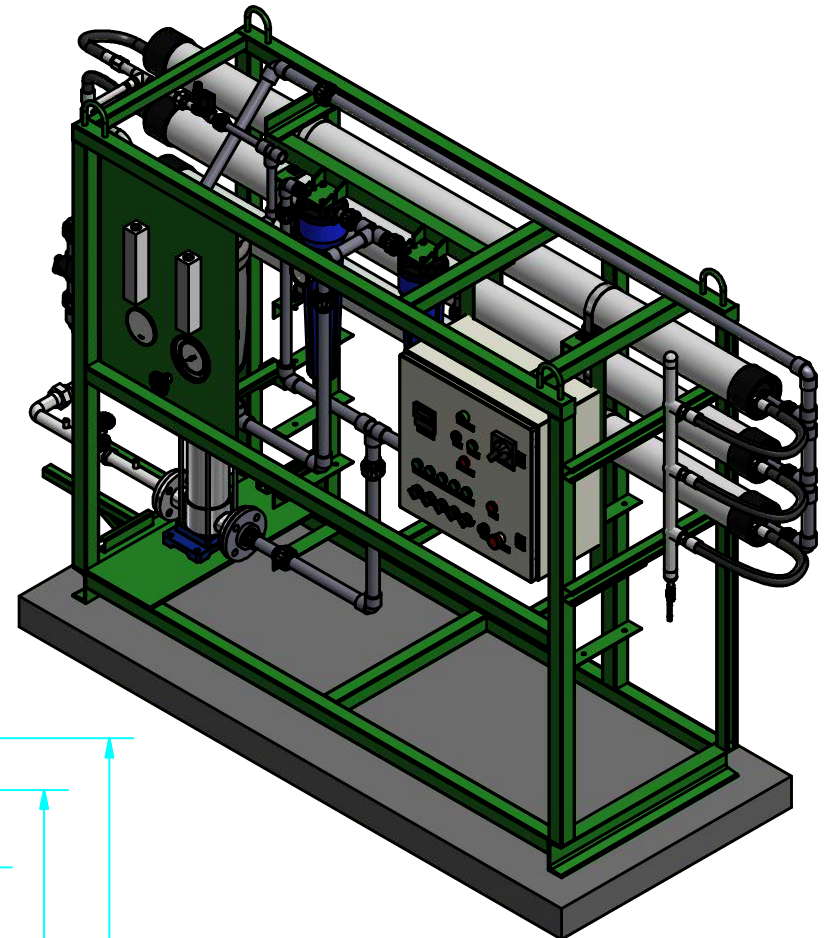
DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
		A	06/08/15	A.O.	E.C.	E.C.
		REV				

<table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>SIGN.</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>POR: A.OTERO</td> <td></td> <td>06/08/15</td> </tr> <tr> <td>CHQ: E.CENTENO</td> <td></td> <td>06/08/15</td> </tr> <tr> <td>AP: E.CENTENO</td> <td></td> <td>06/08/15</td> </tr> <tr> <td>O.T.:</td> <td>ITEM :</td> <td>01</td> </tr> <tr> <td>O/C :</td> <td>ESCALA:</td> <td>1:50</td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	SIGN.	FECHA	POR: A.OTERO		06/08/15	CHQ: E.CENTENO		06/08/15	AP: E.CENTENO		06/08/15	O.T.:	ITEM :	01	O/C :	ESCALA:	1:50	PROYECTO: EXSA S.A.		
NOMBRE	SIGN.	FECHA																					
POR: A.OTERO		06/08/15																					
CHQ: E.CENTENO		06/08/15																					
AP: E.CENTENO		06/08/15																					
O.T.:	ITEM :	01																					
O/C :	ESCALA:	1:50																					
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-PG01			TITULO DE PLANO: VISTA ISOMETRICA DE PLANTA PARA TRATAMIENTO DE AGUA																				
PLANO DEL CLIENTE N°:		HOJA: 3 OF 3	REV.																				

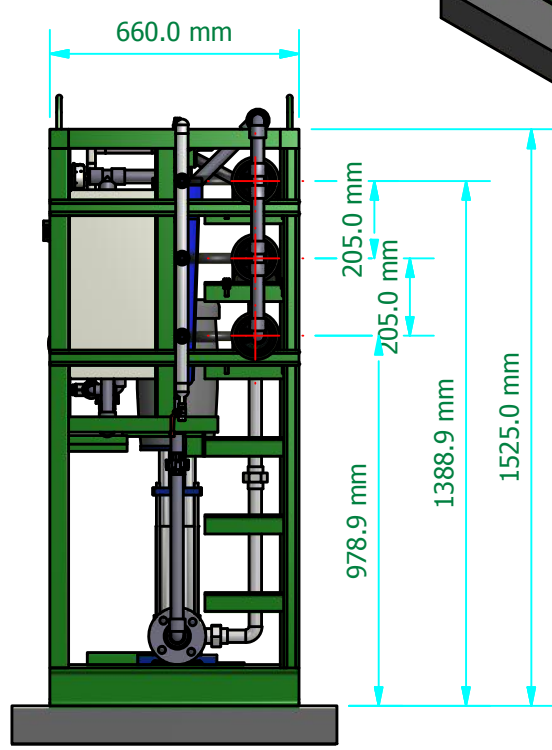
* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



VISTA SUPERIOR
ESC: 1/20



VISTA FRONTAL
ESC: 1/20



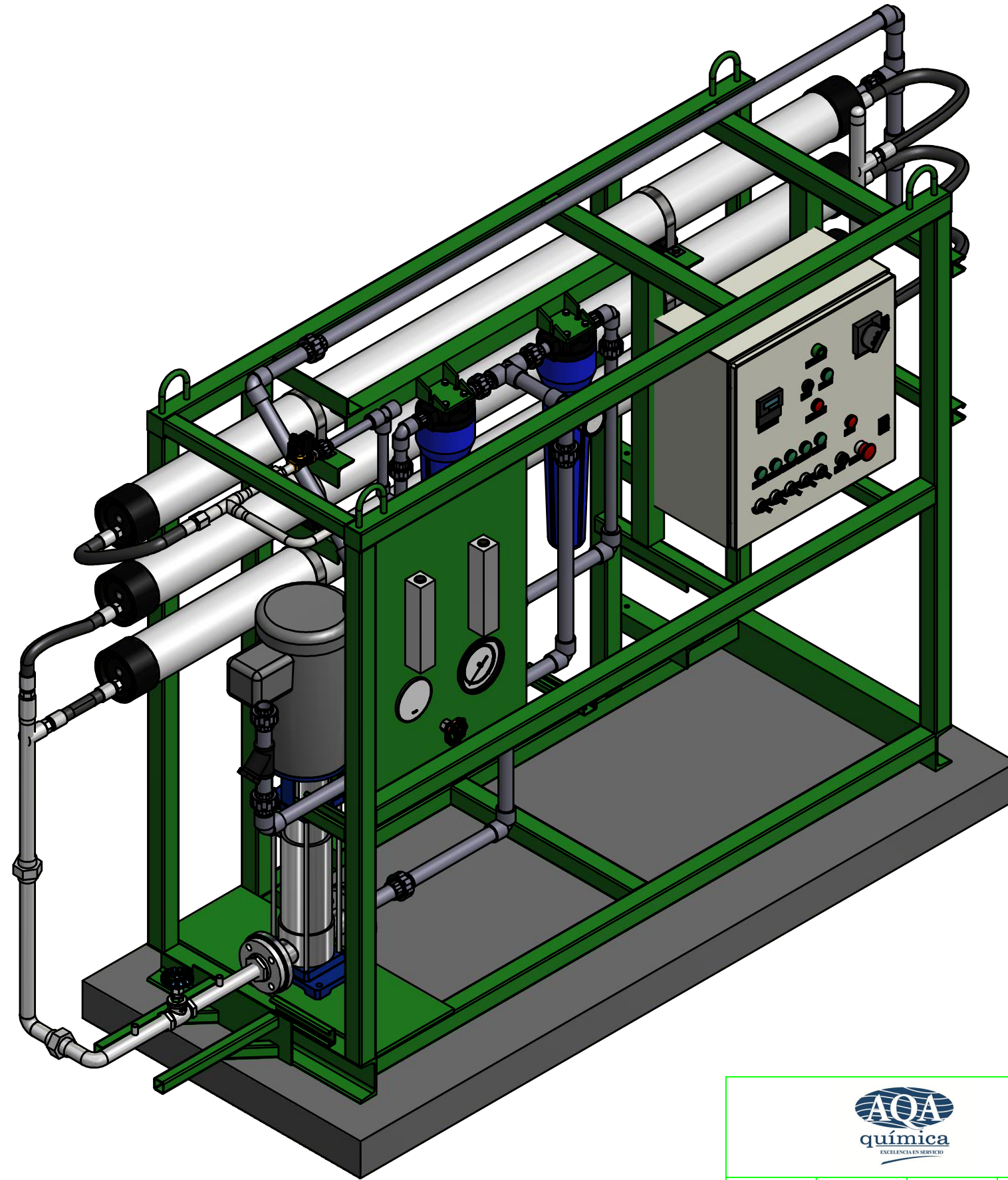
VISTA LATERAL
ESC: 1/20

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

POR:	A.OTERO	SIGN.	FECHA
CHQ:	E.CENTENO		04/07/15
AP:	E.CENTENO		04/07/15
O.T.:		ITEM :	01
O/C :	4800028979	ESCALA:	INDICADA
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-AS01			

PROYECTO:		
EXSA S.A.		
TITULO DE PLANO:		
VISTAS DE EQUIPO R.O.		
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA:	REV.
	1 OF 2	A

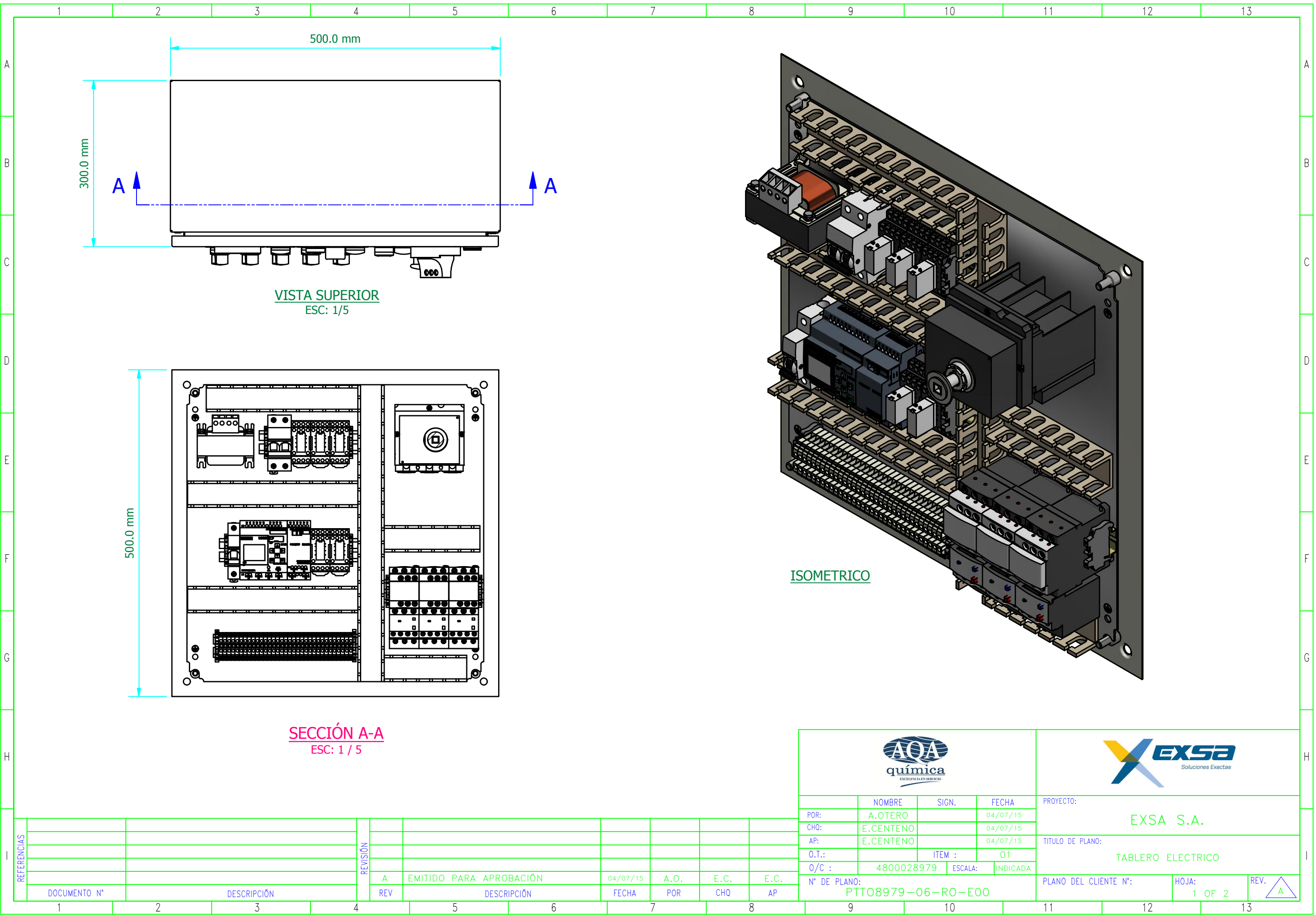
* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



							
				PROYECTO:			
POR:	NOMBRE	SIGN.	FECHA				
CHO:	A.OTERO		04/07/15				
AP:	E.CENTENO		04/07/15				
O.T.:		ITEM :	01				
O/C :		ESCALA:	1:10				
N° DE PLANO:				PLANO DEL CLIENTE N°:			
PTT08979-06-RO-AS01				HOJA:		REV.	
				2 OF 2		A	

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	FECHA	POR	CHO	AP
		A	04/07/15	upe		
		EMITIDO PARA APROBACION				

* AQA QUIMICA S.A.. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



VISTA SUPERIOR
ESC: 1/5

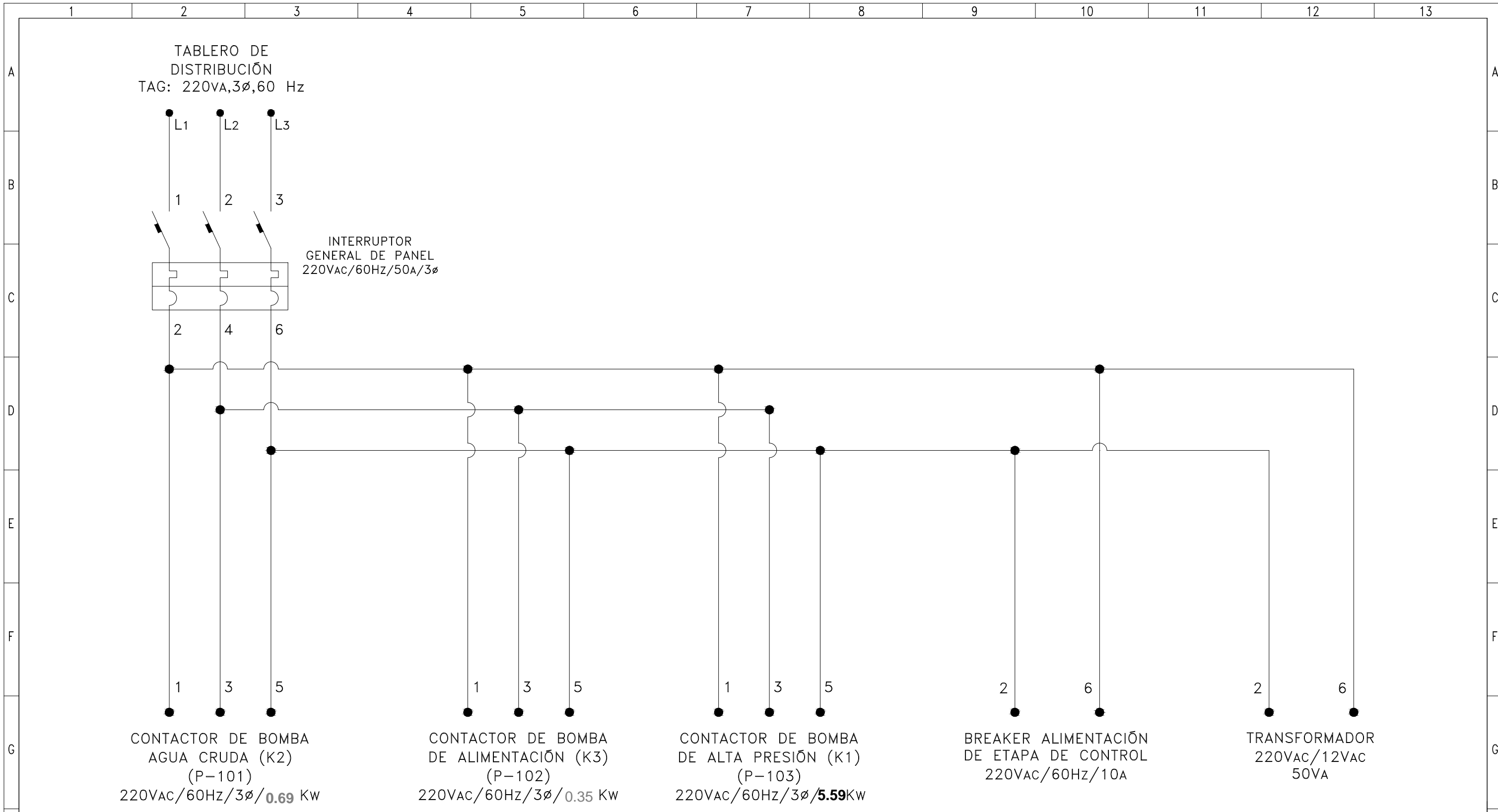
SECCIÓN A-A
ESC: 1 / 5

ISOMETRICO

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
1		A	04/07/15	A.O.	E.C.	E.C.
2		REV				
3						
4						
5						
6						
7						
8						

POR: A.OTERO CHQ: E.CENTENO AP: E.CENTENO O.T.: O/C : 4800028979				SIGN. FECHA: 04/07/15 FECHA: 04/07/15 FECHA: 04/07/15 ESCALA: INDICADA		PROYECTO: EXSA S.A. TITULO DE PLANO: TABLERO ELECTRICO	
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-E00				PLANO DEL CLIENTE N°: HOJA: 1 OF 2		REV.	

* AQA QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



ETAPA DE POTENCIA
DEL TABLERO

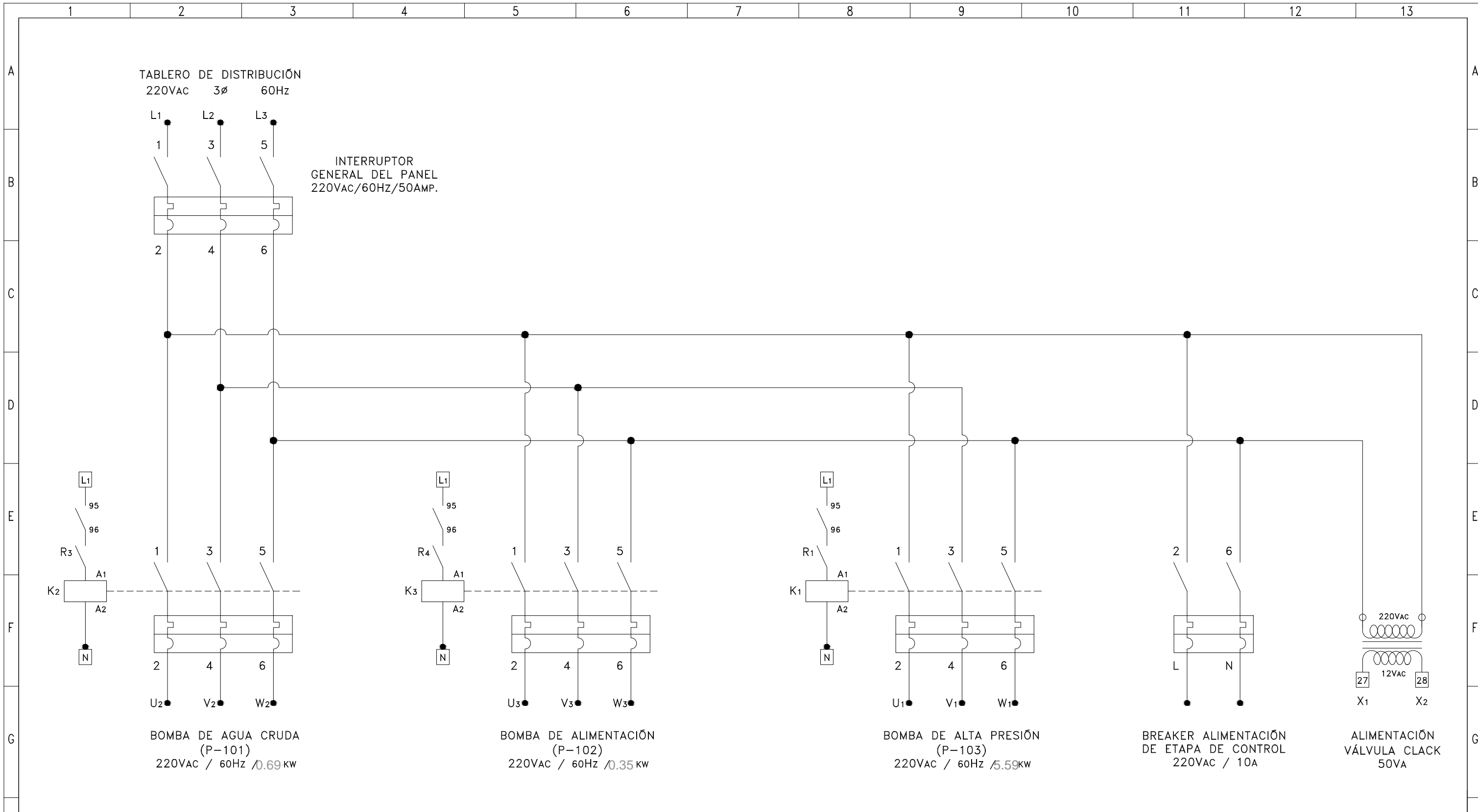


	NOMBRE	SIGN	FECHA
POR:	A.OTERO		20/06/15
CHQ:	E.CENTENO		20/06/15
AP:	E.CENTENO		20/06/15
O.T.:	-	ITEM :	01
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.
N° DE PLANO:	PTT08979-06-RO-E01		

PROYECTO:	EXSA S.A.		
TITULO DE PLANO:	ETAPA DE POTENCIA DE TABLERO		
PLANO DEL CLIENTE N°:	HOJA:	REV.	
	01 / 01	1	

REFERENCIAS	DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
			1		EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	A.O.	E.C.	E.C.
			A		EMITIDO PARA APROBACIÓN.	20/06/15	A.O.	E.C.	E.C.

* AQA QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



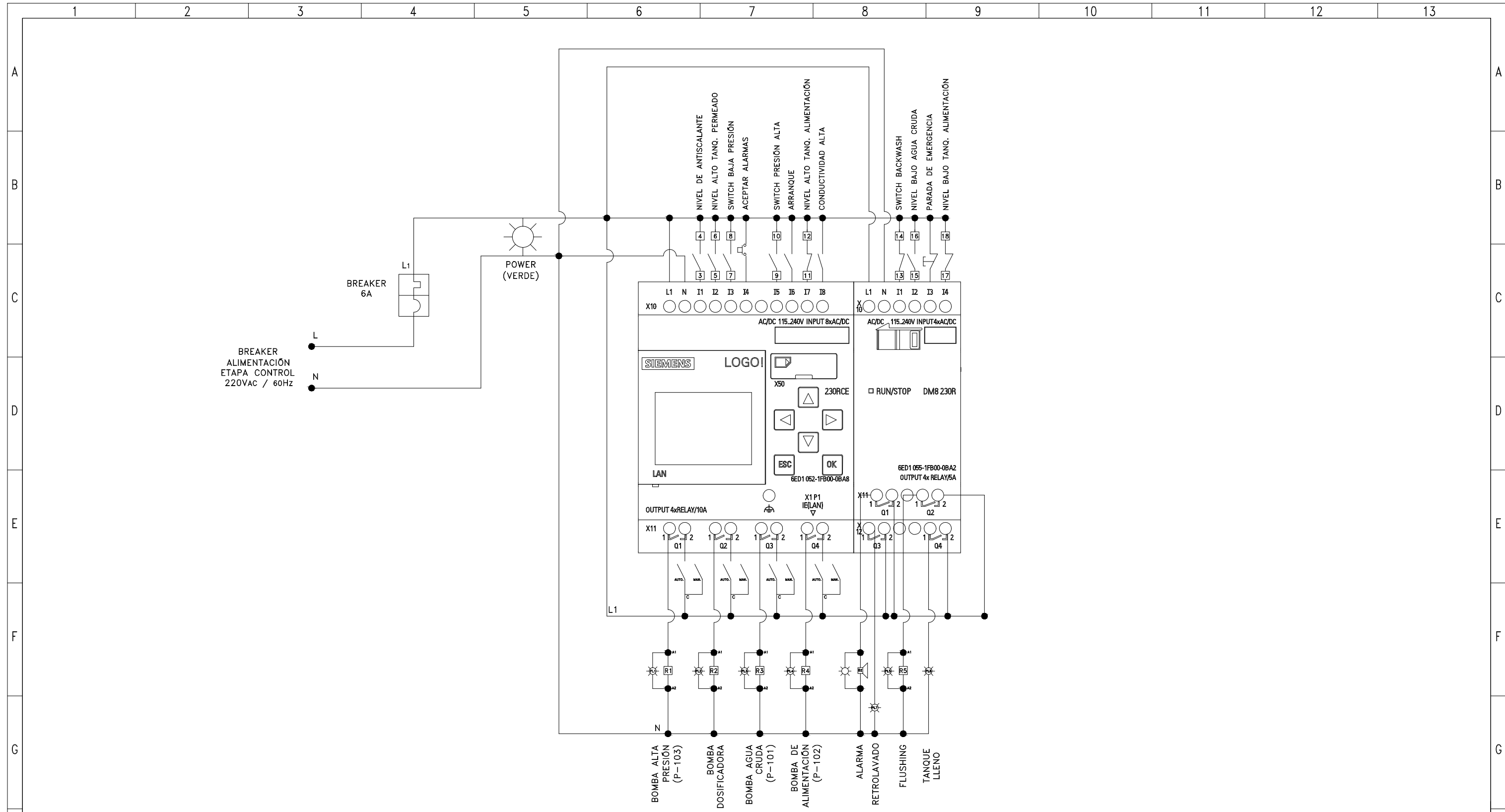
CONTACTORES DE LOS MOTORES



DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

POR:	A.OTERO	SIGN:		FECHA:	20/06/15
CHQ:	E.CENTENO			FECHA:	20/06/15
AP:	E.CENTENO			FECHA:	20/06/15
O.T.:	-	ITEM :	01		
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.		
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-E02					
CONTACTORES DE LOS MOTORES					
PROYECTO: EXSA S.A.				TÍTULO DE PLANO:	
				CONTACTORES DE LOS MOTORES	
PLANO DEL CLIENTE N°:				HOJA: 01 / 01	REV. 1

* AQA QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



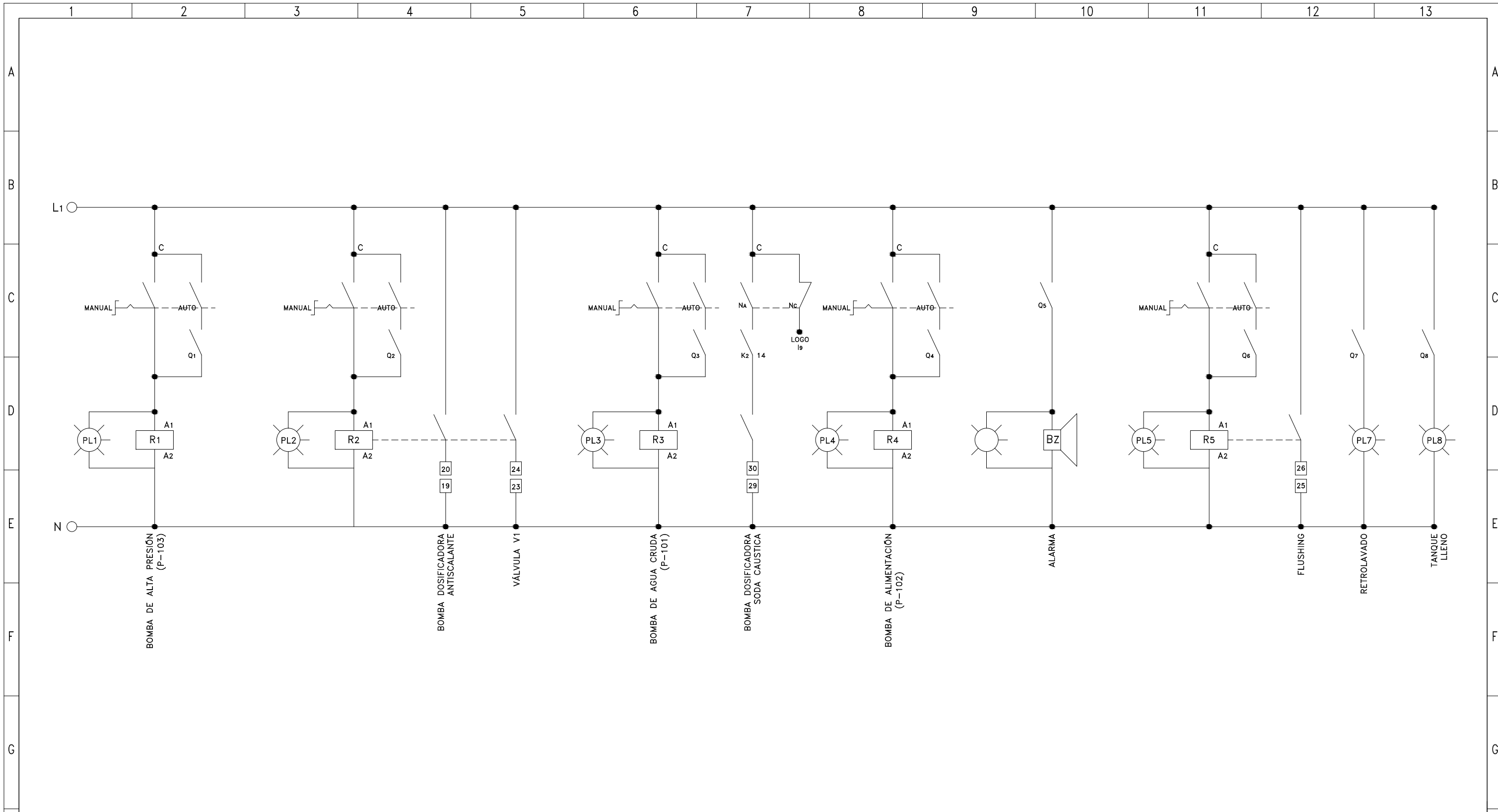
LOGO SIEMENS 230 RC



DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
		1	EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	A.O.	E.C.	E.C.
		A	EMITIDO PARA APROBACIÓN.	20/06/15	A.O.	E.C.	E.C.

POR:	NOMBRE	SIGN	FECHA	PROYECTO:	
CHQ:	A.OTERO		20/06/15	EXSA S.A.	
AP:	E.CENTENO		20/06/15	TITULO DE PLANO:	
O.T.:	-	ITEM :	01	LOGO SIEMENS 230RC	
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.	PLANO DEL CLIENTE N°:	
N° DE PLANO:	PTT08979-06-RO-E03			HOJA:	REV.
				01 / 01	1

* AQA QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



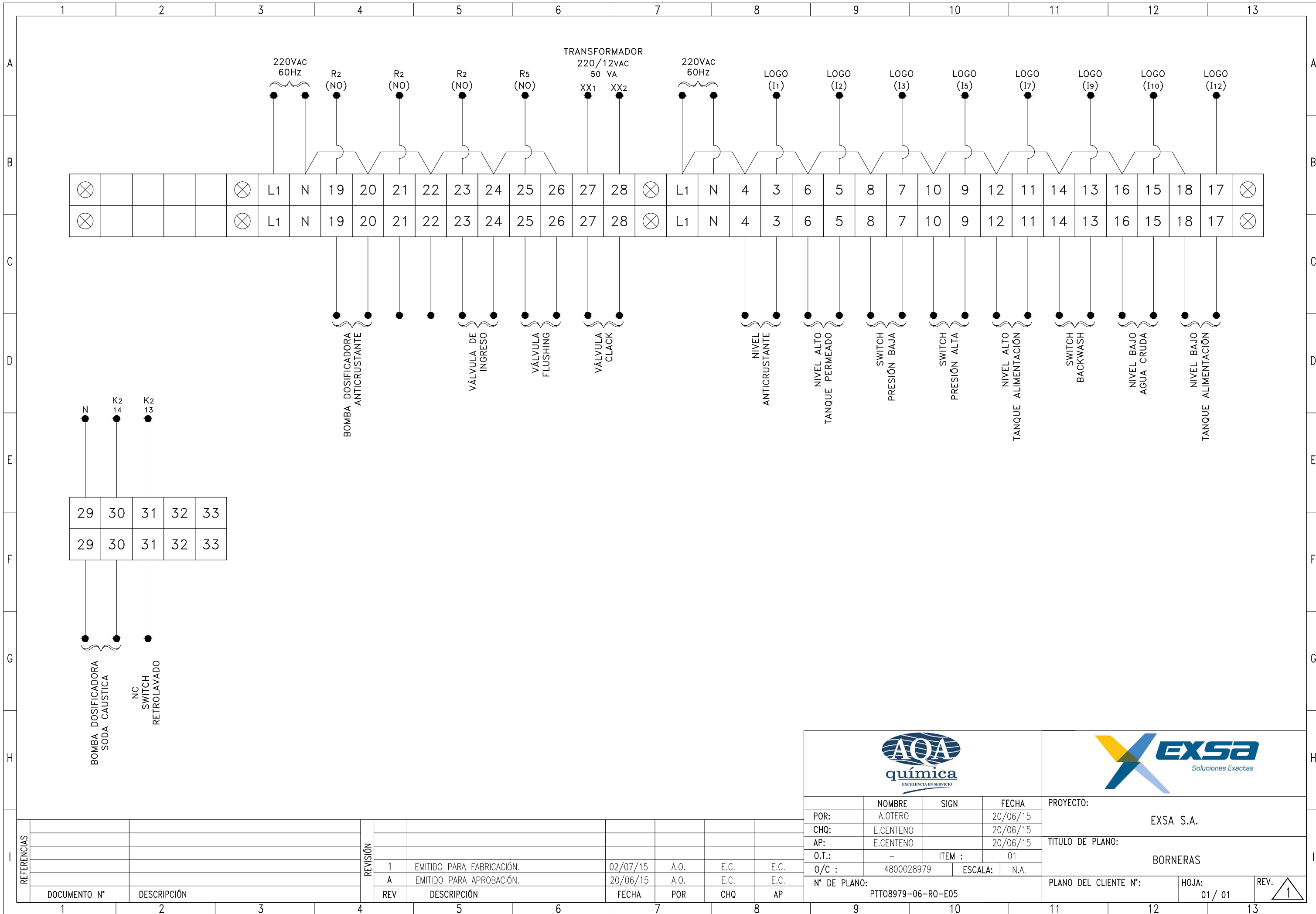
POR:	A.OTERO	SIGN	FECHA	20/06/15
CHQ:	E.CENTENO		FECHA	20/06/15
AP:	E.CENTENO		FECHA	20/06/15
O.T.:	-	ITEM :	01	
O/C :	4800028979	ESCALA:	N.A.	
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-E04				

PROYECTO:			EXSA S.A.		
TITULO DE PLANO:					

PLANO DEL CLIENTE N°:			HOJA:	REV.	
			01 / 01		1

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	CHQ	AP
		1	EMITIDO PARA FABRICACIÓN.	02/07/15	A.O.	E.C.	E.C.
		A	EMITIDO PARA APROBACIÓN.	20/06/15	A.O.	E.C.	E.C.

* AQA QUIMICA S.A. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la expresa autorización de AQA QUIMICA S.A.
 * This plane contains confidential information of property of AQA QUIMICA S.A.
 * A3 Size = 297 x 420



29	30	31	32	33
29	30	31	32	33

POR: A.OTERO CHQ: E.CENTENO AP: E.CENTENO			PROYECTO: EXSA S.A.		
O.T.: - O/C : 4800028979			TITULO DE PLANO: BORNERAS		
N° DE PLANO: PTT08979-06-RO-E05			PLANO DEL CLIENTE N°:		HOJA: 01 / 01
REVISIÓN 1 EMITIDO PARA FABRICACIÓN. 02/07/15 A.O. E.C. E.C. A EMITIDO PARA APROBACIÓN. 20/06/15 A.O. E.C. E.C.			ESCALA: N.A. REV. 1		

DOCUMENTO N°	DESCRIPCIÓN
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	