



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**Tesis previa a la obtención del título de:**

**INGENIEROS ELECTROMECÁNICOS, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO  
DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA EL CALDERO DE  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL CAMPUS ARTURO RUIZ MORA, 2011**

**Estudiantes:**

**CARLOS ERNESTO MACHUCA MENDOZA.  
DANIEL ROGELIO SEGURA GUEVARA.**

**Director de tesis:**

Ing. Msc. Javier Díaz.

Santo Domingo - Ecuador  
Agosto, 2012

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA EL CALDERO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL CAMPUS ARTURO RUIZ MORA, 2011.**

Ing. Javier Díaz  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

**APROBADO**

Ing. Marcelo Estrella  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Víctor Armijos  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Holger Jami  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo.....de.....del 2012

**Autores: CARLOS ERNESTO MACHUCA MENDOZA  
DANIEL ROGELIO SEGURA GUEVARA**

**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLOGICA EQUINOCCIAL.**

**Título de Tesis: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA EL CALDERO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL CAMPUS ARTURO RUIZ MORA, 2011**

**Fecha: AGOSTO, 2012**

El contenido del presente trabajo, esta bajo la responsabilidad de los autores.

---

**Machuca Mendoza Carlos Ernesto  
C.I. 1722036627**

---

**Segura Guevara Daniel Rogelio  
C.I. 1723237994**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo.....de.....del 2012.

Ing. Marcelo Estrella  
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Estimado Ingeniero

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por los señores:**CARLOS ERNESTO MACHUCA MENDOZA Y DANIEL ROGELIO SEGURA GUEVARA**, cuyo tema es: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA PARA EL CALDERO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL CAMPUS ARTURO RUIZ MORA, 2011”**, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes

Atentamente,

---

Ing. Javier Díaz  
**DIRECTOR DE TESIS**

# ***DEDICATORIA***

*A nuestras familias*

## ***AGRADECIMIENTO***

*A la Universidad Tecnológica Equinoccial.*

*Al Ing. Javier Díaz. MSc.*

*Al Ing. Holger Jami.*

*Al Ing. Víctor Armijos*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

Portada.....	I
Hoja de sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal .....	II
Hoja de responsabilidad de los autores .....	III
Informe de aprobación del director de tesis.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento .....	VI
Índice general de contenido .....	VII
Índice de figuras.....	XIV
Índice de tablas.....	XVII
Resumen ejecutivo .....	XIX
Summary ejecutivo .....	XXI

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Diagnóstico .....	1
1.1.2. Pronóstico.....	2
1.1.3. Control del proceso.....	3
1.1.4. Formulación .....	4
1.1.5. Sistematización.....	4
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo General .....	5

1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Justificación.....	6
1.3.1. Teórica .....	6
1.3.2. Metodológica.....	6
1.3.3. Práctica.....	7

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

2.1. Generalidades del agua .....	8
2.1.1. Impurezas del agua .....	10
2.2. Factores de la calidad del agua.....	11
2.2.1. pH .....	11
2.2.2. Color .....	12
2.2.3. Turbidez .....	13
2.2.4. Alcalinidad .....	13
2.2.5. Conductividad y resistividad.....	14
2.2.6. Dureza total .....	14
2.2.7. Sílice .....	15
2.2.8. Hierro .....	16
2.2.9. Cloruro .....	16
2.2.10. Sólidos disueltos.....	17
2.2.11. Sólidos en suspensión .....	17
2.3. Filtración .....	18
2.3.1. Sistemas de filtración.....	19



2.3.2. Variables del proceso de filtración .....	19
2.3.3. Lavado de filtros.....	20
2.3.3.1. Retrolavado con agua a contracorriente.....	20
2.3.3.2. Retrolavado con agua, combinada con lavado superficial .....	20
2.3.3.3. Retrolavado con agua y aire sucesivamente.....	21
2.3.3.4. Retrolavado con agua y aire con agua simultáneamente .....	21
2.3.4. Selección del medio filtrante.....	22
2.3.5. Tipos de filtros.....	22
2.3.5.1. Filtros de grava .....	22
2.3.5.2. Filtros de arena multicama o lecho profundo .....	23
2.3.5.3. Filtros a presión .....	24
2.3.5.4. Filtros de diatomea.....	25
2.3.5.5. Filtros de carbón activado .....	25
2.4. Tratamiento para el ablandamiento del agua .....	26
2.4.1. Intercambio Iónico.....	26
2.4.2. Materiales de intercambio .....	28
2.4.2.1. Zeolitas.....	28
2.4.3. Intercambio y regeneración.....	29
2.4.4. Tipos de resinas de intercambio iónico usadas para el tratamiento de aguas .....	32
2.5. Desmineralización .....	33
2.5.1. Diseño de los equipos de desmineralización.....	34
2.6. Automatización de procesos .....	35
2.6.1. Automatas programables.....	36
2.6.2. Partes de un autómata programable .....	37

2.6.3. Programación.....	38
2.6.3.1. Lenguaje a contactos o Ladder (LD) .....	39
2.6.3.2. Lenguaje por Lista de Instrucciones (IL) .....	39
2.6.3.3. Grafcet (SFC) .....	40
2.6.3.4. Plano de Funciones (FBD) .....	41
2.6.4. Interfaz humano-máquina .....	42
2.6.5. Paneles Operadores (OP) .....	42
2.6.5.1. Programación de paneles de operador .....	44
2.6.6. Sistemas SCADA .....	45
2.6.7. Instrumentación industrial.....	45
2.6.7.1. Sensores.....	46
2.6.7.2. Medidores de caudal .....	46
2.6.7.3. Medidores de las propiedades del agua.....	47

### CAPÍTULO III

#### DISEÑO DEL SISTEMA DESMINERALIZADOR DE AGUA

3.1. Introducción .....	50
3.1.1. Características de algunos tipos de tratamientos .....	51
3.1.2. Datos técnicos del caldero.....	52
3.1.3. Análisis químico del agua de aporte.....	53
3.1.4. Análisis de puntos críticos .....	54
3.2. Diseño del Filtro Desmineralizador.....	55
3.2.1. Selección de la resina de Intercambio Iónico .....	55
3.2.2. Resina de intercambio catiónico fuertemente ácida .....	61

3.2.3. Dimensionamiento de la resina .....	64
3.2.4. Capacidad base con regeneración en co-flujo de la resina C100 .....	68
3.2.5. Disposición del filtro ablandador .....	73
3.3. Diseño del Filtro Rápido .....	74
3.3.1. Ventajas de la Media FiltranteTurbidex™ .....	75
3.3.2. Propiedades físicas de la resina Turbidex™ .....	75
3.3.3. Beneficios de la Media FiltranteTurbidex™ .....	75
3.3.4. Dimensionamiento de la Media FiltranteTurbidex™ .....	76
3.3.5. Disposición de la Media Filtrante Turbidex™ .....	77
3.4. Diseño mecánico del tanque del desmineralizador .....	78
3.4.1. Selección del material de construcción del casco del tanque.....	78
3.4.2. Cálculo del espesor requerido de la capa del casco de Polietileno.....	79
3.4.3. Cálculo de la longitud óptima del casco de Polietileno .....	83
3.4.4. Diseño de tapas del casco.....	84
3.4.5. Diseño del espesor requerido de la capa en fibra de vidrio del casco .....	90
3.4.6. Selección del tanque de salmuera .....	92
3.5. Diseño mecánico del tanque de filtro rápido.....	93
3.5.1. Selección del material de construcción del casco del tanque.....	94
3.6. Diseño de la estructura de soporte.....	94
3.7. Cálculo de la potencia de la bomba .....	102
3.7.1. Determinación de las alturas estáticas de succión y descarga.....	102
3.7.2. Pérdidas de succión.....	103
3.7.3. Pérdidas por accesorios.....	103
3.7.3.1. Pérdidas por fricción en las tuberías .....	106

3.7.4. Pérdidas de trabajo.....	109
3.7.5. Selección de la bomba de agua.....	110
3.8. Cálculo del mezclador .....	111
3.8.1. Cálculo de la potencia del mezclador .....	112
3.9. Automatización y diseño eléctrico del sistema .....	115
3.9.1. Variable principal a controlar.....	115
3.9.2. Descripción de la automatización del sistema.....	118

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN122

4.1. Procesos en la construcción del desmineralizador .....	122
4.1.1. Obtención de materiales y equipos .....	122
4.1.2. Construcción estructural .....	122
4.1.3. Montaje de los filtros .....	126
4.1.4. Montaje del tanque de regeneración .....	132
4.1.5. Montaje Hidráulico .....	135
4.1.6. Construcción y montaje eléctrico .....	137
4.1.7. Montaje de la Automatización .....	142
4.1.8. Pruebas en vacío del sistema .....	145
4.2. Costos Totales .....	146
4.3. Viabilidad económica del diseño .....	151
4.3.1. Gasto extra de combustible por año.....	152
4.3.2. Gastos extras en mantenimiento .....	155
4.4. Resultados del análisis de la viabilidad económica del diseño .....	155

## CAPÍTULO V

### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1. Configuración y funcionamiento del equipo desmineralizador de agua .....	156
5.1.1. Servicio .....	157
5.1.2. Retrolavado .....	157
5.1.3. Regeneración.....	157
5.1.4. Enjuague.....	158
5.1.5. Rellenado .....	158
5.2. Modos de operación.....	158
5.3. Programación del sistema .....	159
5.3.1. Inicio .....	162
5.3.2. Supervisión.....	163
5.3.3. Menú .....	164
5.3.4. Filtro Rápido .....	165
5.3.5. Ablandador .....	165
5.3.6. Programación.....	166
5.3.7. Alarma.....	167
5.3.8. Fotos.....	168
5.4. Fallos y posibles soluciones .....	169
5.4.1. El sistema no opera.....	169
5.4.2. El sistema no está entregando agua .....	169
5.5. Mantenimiento .....	170
5.5.1. Mantenimiento semanal .....	170
5.5.2. Mantenimiento anual .....	170

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1. Simulación del funcionamiento.....	171
6.2. Funcionamiento en el modo automático .....	171
6.3. Funcionamiento en modo by-pass .....	173
6.4. Análisis del agua .....	173
6.5. Vida útil del sistema .....	173

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones .....	175
7.2. Recomendaciones .....	177

BIBLIOGRAFÍA.....	177
-------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Impurezas presentes en el agua.....	10
Figura 2.2: Escala del pH.....	12
Figura 2.3; a: Filtración.; b: Retrolavado.....	23
Figura 2.4; a: Filtración.; b: Retrolavado.....	24
Figura 2.5: Instalación del ablandador.....	32
Figura 2.6: Automatización de sistemas de control.....	36
Figura 2.7: Lenguaje Ladder.....	39
Figura 2.8: Lenguaje por lista de instrucciones.....	40
Figura 2.9: Lenguaje Grafcet.....	41
Figura 2.10: Plano de funciones.....	41

Figura 2.11: Touch panel programable de Wonderware.....	44
Figura 2.12: Kit de análisis reactivo.....	48
Figura 2.13: pH-metro de bolsillo.....	48
Figura 2.14: Medidor de in-out doblado panel industrial ps-202.....	49
Figura 3.1; a: Estructura del estireno.; b: Representación simplificada del estireno.....	56
Figura 3.2: Fracción de una cadena de poliestireno.....	57
Figura 3.3; a: Divinilbenceno (DVB). ; b: Poliestireno reticulado.....	57
Figura 3.4; a: Estructura del gel.; b: Forma física del gel.....	58
Figura 3.5; a: Estructura macroporosa del gel.; b: Forma física del gel.....	59
Figura 3.6: Sulfonación.....	62
Figura 3.7: Capacidad en co-flujo resina C100.....	68
Figura 3.8: Influencia de la dureza en la resina C100.....	69
Figura 3.9: Caudal de servicio de la resina C100.....	70
Figura 3.10: Influencia del sodio en la resina C100.....	71
Figura 3.11: Concentración de sodio en la resina C100.....	71
Figura 3.12: Comparación de TURBIDEX™ contra métodos tradicionales.....	76
Figura 3.13: Forma y parámetros de una tapa torisférica.....	86
Figura 3.14: Análisis de pórticos.....	97
Figura 3.15: Sección del tubo cuadrado.....	101
Figura 3.16: Algunos impulsores típicos: (a) de paleta; (b) propela marina; (c) propela marina dentada; (d) de ancla; (e) de paletas contrarrotatorias; (f) de compuerta; (g) turbina recta; (h) turbina inclinada; e (i) turbina curva.....	111
Figura 3.17: Correlación de potencia para diferentes impulsores.....	114
Figura 3.18: Disposición del sistema automático.....	118
Figura 4.1: Tubos cuadrados estructurales.....	123
Figura 4.2: Marcos principales soldados.....	123
Figura 4.3: Ruedas soldadas y estructura soldada.....	124
Figura 4.4: Plancha de aluminio corrugado y colocación de la misma.....	124
Figura 4.5: Base colocada y estructura libre de asperezas.....	125
Figura 4.6: Masillado y acabado final de la estructura.....	125
Figura 4.7: Tanque de PRFV y medios filtrantes.....	126

Figura 4.8: Medición de ductos y distribuidores o difusores inferiores.....	126
Figura 4.9: Cavidad en el fondo del tanque y colocación del ducto.....	127
Figura 4.10: Obstrucción de la entrada superior del ducto.....	127
Figura 4.11: Saco de grava gris y lavado de la misma.....	128
Figura 4.12: Grava gris limpia.....	128
Figura 4.13: Llenado de la grava en los tanques.....	129
Figura 4.14: Saco con un pie <sup>3</sup> de Turbidex (zeolita).....	129
Figura 4.15: Llenado de Turbidex al tanque filtro rápido.....	130
Figura 4.16: Llenado y vista del Turbidex en el filtro rápido.....	130
Figura 4.17: Saco con un pie <sup>3</sup> de purolite (resina de intercambio iónico).....	131
Figura 4.18: Llenado de Purolite al tanque ablandador.....	131
Figura 4.19: Vista del Purolite en el ablandador.....	132
Figura 4.20: Montaje de una tapa de acrílico.....	132
Figura 4.21: Colocación del motor del agitador al tanque de salmuera.....	133
Figura 4.22: Eje agitador recubierto en fibra de vidrio.....	133
Figura 4.23: Tubo protector, válvula check de pie, ducto de succión con acople rápido mas válvula.....	134
Figura 4.24“Bushing”, sistema de succión, vista del interior del tanque armado...	134
Figura 4.25: Roscado de tuberías, manguera de succión y montaje del desagüe...	135
Figura 4.26: Presostato analógico y caudalímetro.....	136
Figura 4.27: Instalación de la bomba, llave apertura rápida y llave de muestreo.....	136
Figura 4.28: Armado total del by-pass.....	137
Figura 4.29: Árbol de válvulas filtro rápido y ablandador.....	138
Figura 4.30: Manufactura de la tarjeta del ablandador.....	134
Figura 4.31: Manufactura de la tarjeta del filtro rápido.....	139
Figura 4.32: Tarjetas de interface listas.....	140
Figura 4.33: Instalación de las tarjetas en los cabezales y los mismos a los tanques.....	140
Figura 4.34: Vista del filtro rápido y ablandador con sus cabezales listos.....	141
Figura 4.35: Vista del tablero montado.....	141
Figura 4.36: PLC, fuente y vista del tablero armado.....	142
Figura 4.37: Conexionado de comunicación HMI DOP-B07E415/PLC TWIDO	



20DRT.....	142
Figura 4.38: Construcción del cable de comunicación.....	143
Figura 4.39: Puerto de conexión COM2 del HMI.....	143
Figura 4.40: Caja acrílica y brazo móvil para el HMI.....	144
Figura 4.41: Sistema armado completamente.....	144
Figura 4.42: Parámetros de comunicación necesarios (Screen Editor).....	145
Figura 4.43: Reducción de la eficiencia de la transferencia de calor vs espesor de la incrustación.....	152
Figura 4.44: Incrustación potencial de la caldera.....	153
Figura 5.1: Esquema del sistema desmineralizador de agua.....	156
Figura 5.2: Esquema del sistema de válvulas.....	159
Figura 5.3: Diagrama de flujo de los procesos del sistema.....	160
Figura 5.4: Diagrama de flujo de pantallas (HMI).....	161
Figura 5.5: Pantalla de inicio HMI.....	162
Figura 5.6: Pantalla de supervisión HMI.....	163
Figura 5.7: Pantalla de menú HMI.....	164
Figura 5.8: Pantalla Filtro Rápido HMI.....	165
Figura 5.9: Pantalla Ablandador HMI.....	166
Figura 5.10: Pantalla de programación HMI.....	167
Figura 5.11: Pantalla de alarma HMI.....	168
Figura 5.12: Pantalla de fotos HMI.....	168

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de la dureza del agua.....	15
Tabla 3.1: Datos técnicos del caldero.....	53
Tabla 3.2: Datos técnicos del agua.....	53
Tabla 3.3: Límites de contenido de elementos en agua de alimentación.....	54
Tabla 3.4: Tipos de resinas catiónicas de ácido fuerte.....	53
Tabla 3.5: Propiedades de la resina C100.....	64
Tabla 3.6: Turbidex <sup>TM</sup> vs medias convencionales.....	74

Tabla 3.7: Beneficios de Turbidex™ .....	75
Tabla 3.8: Información de cargas Turbidex™ .....	77
Tabla 3.9: Ecuaciones para recipientes a presión.....	80
Tabla 3.10: Valores de e acorde al tipo de soldadura y grado de examen radiográfico.....	81
Tabla 3.11: Propiedades mecánicas del PE.....	82
Tabla 3.12: Tipo de tapas, usos y descripciones.....	85
Tabla 3.13: Características mecánicas de las resinas termoestables.....	90
Tabla 3.14: Masas de los equipos.....	95
Tabla 3.15: Accesorios del sistema.....	103
Tabla 3.16: Listado de señales del diseño de automatización.....	119
Tabla 4.1: Gasto extra de combustible por espesor de incrustaciones.....	154
Tabla 6.1: Tiempos de las etapas de mantenimiento filtro rápido.....	172
Tabla 6.2: Tiempos de las etapas de mantenimiento ablandador.....	172
Tabla 6.3: Resultados de la prueba de impurezas del agua.....	173

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Análisis químicos de dureza realizados al agua de aporte del caldero de la Universidad Tecnológica Equinoccial campus Santo Domingo arrojaron como resultado un nivel de dureza de 98 ppm valor que esta fuera del rango permitido de un nivel tolerable para un caldero, por tal motivo el objetivo de este trabajo es el de diseñar, construir y montar un sistema de desmineralización de agua que permite tener un agua de aporte dentro de 0,3 ppm de dureza valor aceptable para el agua de aporte para un caldero.

Todas las funciones del sistema desmineralizador de agua están totalmente automatizadas mediante el uso de un PLC TWIDO además para que el sistema sea más amigable con el usuario posee una interfaz hombre maquina por medio de una Touch-Panel DELTA.

A continuación se presentará una breve descripción de cada uno de los capítulos que constituyen el presente trabajo de tesis.

En el capítulo I se presentan el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación así como también la idea a defender y la justificación de la investigación.

En el capítulo II se hace referencia a los fundamentos teóricos y constitución de un desmineralizador de agua de aporte a calderos como también de los equipos de control del mismo.

En el capítulo III se muestran los diseños, Mecánico, Hidráulico y Eléctrico, teniendo como punto de partida el análisis químico del agua de aporte actual al caldero.

En el capítulo IV esta detallado la construcción y montaje del sistema desmineralizador en su totalidad.

En el capítulo V se presenta el manual de operación y mantenimiento que es necesario para la correcta manipulación del sistema y su óptimo funcionamiento.

En el capítulo VI se muestran los resultados de las pruebas químicas de dureza del agua realizadas antes y después de montar el sistema las cuales demostraron que el sistema elimino la dureza hasta en niveles inferiores a 0,3 ppm.

En el capítulo VII se presentan las conclusiones y recomendaciones debidas de todo el proceso del trabajo desarrollado.

## SUMMARY EJECUTIVE

Chemical analysis of water hardness contribution made to the cauldron of the Universidad Tecnologica Equinoccial campus Santo Domingo gave as result a hardness level of 98 ppm value is outside the allowable range of a tolerable level for a cauldron, for this reason the objective of this work is to design, build and install a water demineralization system that allows a water supply within 0.3 ppm of hardness value acceptable for the water supply to a boiler.

All functions of the system water demineralizer are fully automated using a PLC TWIDO also to make the system more user friendly man machine has an interface by means of a touch-panel DELTA.

Below is presented a brief description of each of the chapters within this thesis.

Chapter I presents the problem statement, research objectives as well as to defend the idea and the justification of the research.

In Chapter II refers to the theoretical foundations and constitution of a demineralizer feed water to boilers as well as equipment control.

Chapter III shows the design, Mechanical, Hydraulic and Electrical, taking as a starting point chemical analysis of the current makeup water to the pot.

In Chapter IV the detailed construction and installation of demineralization system as a whole.

Chapter V presents the operation and maintenance manual is necessary for the proper handling and optimal system operation.

Chapter VI shows the results of chemical tests performed on water hardness before and after mounting the system which showed the system to remove hardness levels below 0.3 ppm.

Chapter VII presents the conclusions and recommendations arising from the process of work performed.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

##### 1.1.1. Diagnóstico

El caldero es el corazón de los sistemas de generación de vapor sea cual sea la aplicación dada al mismo, por dicha razón es de vital importancia preservar su integridad, mantener su eficiencia y alargar su vida útil.

El agua, principal elemento de consumo de las calderas, en estado puro es difícil de encontrar por medios naturales y dependiendo de la fuente de donde provenga contiene en menor o mayor grado de una cierta cantidad de impurezas, estas impurezas o componentes de diferente clase en especial las sales minerales, provocan uno de los principales y más comunes problemas de estos equipos, las “incrustaciones”.

Este fenómeno es uno de los principales problemas que le acontecería al nuevo caldero de la Universidad, que no cuenta aún con un sistema de purificación de agua de aporte.

La Universidad Tecnológica Equinoccial, Campus Santo Domingo cuenta con un caldero de vapor, recientemente construido por una tesis anterior, como un complemento más del futuro Laboratorio de Mecánica de Fluidos para llevar a cabo procedimientos prácticos del estudiantado, una máquina completamente nueva y segura, sin embargo por lo antes mencionado es importante la implementación de un desmineralizador de agua de aporte también llamado “Ablandador”, no solo para alargar la vida útil del sistema sino también para que los estudiantes puedan observar el funcionamiento total en óptimas condiciones de un Sistema de Generación de Vapor.

El agua, fuente de vida y principal elemento de consumo de las calderas, posee un sin número de elementos en los medios naturales, ríos, lagos, afluentes subterráneos, etc., actualmente para prácticas y/o demostraciones se alimenta al caldero de la Universidad mediante el suministro de agua potable, pero es bien sabido que a pesar de los procesos llevados a cabo por la empresa de agua potable por llevar al líquido vital a niveles aptos de consumo humano, el agua sigue poseyendo gran cantidad de elementos perjudiciales para un caldero.

Las “incrustaciones” son el principal factor que destruye la vida funcional de un caldero y se deben a la existencia de sales minerales en el agua que deterioran internamente al caldero, además está la reducción de la eficiencia en la transferencia de calor, aumenta el consumo de combustible, las tuberías se debilitan mecánicamente, sufren deformaciones y provoca fallas, etc.

Los síntomas y efectos que las incrustaciones causan en calderos sin un ablandador son evidentes a simple vista, las tuberías se deterioran, el consumo de combustible en los mismos aumenta considerablemente, inclusive el mantenimiento correctivo debe hacerse cada vez más frecuente.

Al contrario una caldera libre de incrustaciones y corrosión proporciona un rendimiento eficiente, lo cual se refleja en ahorros económicos y mejor aún brinda seguridad

### **1.1.2. Pronóstico**

Sí las autoridades encargadas de vigilar por el bienestar de los equipos que prestan servicio al estudiantado en los laboratorios y que generosamente han sido donadas a la institución por los mismos estudiantes, dejaran pasar por alto este inconveniente, con el tiempo, lo más probable es que la vida útil de este costoso equipo disminuya considerablemente.



A más de tener que invertir tal vez considerables sumas de dinero en reparaciones, paros por mantenimiento, gastos extras en combustible, e incluso arriesgar la seguridad de los mismos estudiantes cuando estén realizando labores con el caldero, ya que es sabido que han ocurrido muchos accidentes por explosiones de las tuberías de calderos y se estaría hablando ya de vidas humanas en riesgo constante.

### **1.1.3. Control del proceso**

Existe una sola solución al problema de incrustaciones en el caldero y es contar con agua de aporte con menos concentración de sales minerales (mayoritariamente sales de calcio y magnesio).

Sin embargo existen varias posibilidades de ejecución de la solución. Que la empresa de agua potable entregase agua idónea es técnicamente imposible por obvias razones así que las dos opciones viables serían:

↳ *Montar una planta de tratamiento de agua completa:* La planta se montaría en las instalaciones de la Universidad, con esta planta se estaría dando dos beneficios, uno sería el agua de aporte al caldero y el otro la obtención de agua limpia al grado alimenticio, adecuada para procesos agroindustriales que se llevan a cabo dentro de los laboratorios.

Esta sería una solución idónea, pero los costos de inversión son bastante elevados, demasiados para afrontarlos por parte de los presentes estudiantes en este plan de titulación.

↳ *Instalar un desmineralizador de agua de aporte:* Se diseñaría el ablandador de agua solo para las necesidades del caldero e instalaría en el cuarto de operaciones del mismo.

Esta implementación tendría costos un poco más accesibles y tiempo de terminación completa más rápido, por lo tanto esta solución es la más viable.

#### 1.1.4. Formulación

¿Cuál es el sistema adecuado de desmineralización aplicable a las condiciones de uso actuales del agua de aporte al caldero de la UTE, con el que se logre una prolongación de su vida útil?

#### 1.1.5. Sistematización

- ↪ ¿En qué condiciones se encuentra actualmente el agua de aporte al caldero?
- ↪ ¿Qué técnica de desmineralización es la adecuada para las condiciones del ablandador a implementarse?
- ↪ ¿Se estaría solucionando el problema de incrustaciones definitivamente mediante el ablandador de agua?
- ↪ ¿Existe un resultado satisfactorio en cuanto al análisis costo-beneficio?
- ↪ ¿En qué porcentaje se optimizaría el sistema de generación de vapor, alargaría la vida útil, aumentaría la eficiencia, reduciría el tiempo, costos de operación y mantenimiento del caldero por medio de la instalación del sistema de desmineralización de agua?
- ↪ ¿La automatización completa o semis-automatización del sistema de ablandamiento de agua mediante un autómatas u otro sistema es inminentemente necesaria?
- ↪ ¿Quiénes se verían beneficiados realmente con la implementación del sistema?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar, construir y montar un sistema automático de desmineralización de agua para el caldero de la Universidad Tecnológica Equinoccial Campus Santo Domingo 2011.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ↪ Analizar la actual situación del sistema de circulación de agua al caldero y un análisis químico del líquido, con la finalidad de obtener datos y definir que procedimientos adoptar.
- ↪ Investigar y tabular los valores de las características óptimas del agua de aporte a las calderas.
- ↪ Diseñar un sistema de tratamiento de agua para acoplarlo a las actuales condiciones en que se encuentra el caldero.
- ↪ Proponer posibles adecuaciones u otros procedimientos que beneficien al sistema de aporte de agua al caldero que tengan como finalidad reducir costos y alargar su vida útil.
- ↪ Realizar el análisis del agua de aporte a la caldera y sus beneficios o consecuencias.
- ↪ Dimensionar equipos y materiales necesarios para la construcción y montaje del sistema diseñado.

- ↳ Realizar pruebas de dureza al aguade aporte al caldero con el sistema en marcha, obtener y tabular resultados concluyentes.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Teórica**

El caldero es el corazón de los sistemas de generación de vapor, y el agua, principal elemento de consumo del mismo, por su mismo ciclo y a medida que fluye por sobre la superficie de la tierra o se filtra a través de las capas de ésta va atrapando o disolviendo impurezas del suelo o minerales, que afectarían con el tiempo el óptimo funcionamiento de este equipo si el líquido no tuviera un tratamiento.

El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes. El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad (idoneidad) del agua contenida en la caldera.

El aseguramiento de la idoneidad del agua de alimentación o de aporte de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

El estudio de diferentes formas y técnicas de desmineralización y su aplicación han venido en desarrollo constante conforme se realizan pruebas y estudios a la par del

#### **1.3.2. Metodológica**

Como se sabe los principales responsables de las incrustaciones son las sales de calcio y magnesio presentes en el agua de aporte a calderos, conocidas muy bien ya que su

porcentaje presente en el agua define los niveles de “dureza del agua” o grado hidrotimétrico del agua, siendo agua muy dura la que contenga mayor grado de presencia de estas sales.

Por dicha razón se ha venido hablando del nombre de los equipos de “ablandamiento de agua” que se encargan de reducir a niveles adecuados la concentración de dichas sales en el agua de aporte a calderos. Pero estos equipos que comercialmente se venden en su mayoría no poseen un sistema integral de control automático por dicha razón se pretende emplear los conocimientos en control automático y aplicarlos en el sistema mediante un HMI con el cual se da un uso fácil, más eficiente y controlado al sistema completo.

El sistema de adquisición de datos permitirá controlar variables del sistema y supervisión constante del mismo. Todo lo antes expuesto brinda una aplicación nueva a la automatización en un campo no muy explotado aún.

### **1.3.3. Práctica**

Por todo lo antes expuesto, de allí la importancia y justificación del estudio, diseño e implementación de un sistema integral de desmineralización de agua para el caldero de la UTE Campus Arturo Ruiz Mora, no solo por cubrir la necesidad del estudiantado de formarse y desarrollar un tema de tesis para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, sino más bien por el hecho de asegurar un funcionamiento seguro y eficiente del caldero para el desenvolvimiento de prácticas de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Queda claro que con la puesta en marcha de este proyecto se gana mucho en conocimiento y en resolver un grave problema que genera varios inconvenientes, así también se conserva este valioso activo fijo que beneficia y más aún pertenece a los estudiantes de nuestra institución.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Generalidades del agua

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de hidrogeno y uno de oxigeno que unidos entre sí forman una molécula de agua, (H<sub>2</sub>O), la unidad mínima en que ésta se puede encontrar como líquido incoloro, casi inodoro e insípido, esencial para la vida animal y vegetal y el mas empleado como solvente.

La forma en que estas moléculas se unen entre sí determinará la forma en que encontramos el agua en nuestro entorno; como líquidos, en lluvias, ríos, océanos, etc., como sólidos en témpanos y nieves o como gas en las nubes. El agua es un líquido incoloro, casi inodoro e insípido.

Gran parte del agua de nuestro planeta, alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves eternas, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos.

Su punto de congelamiento es de 0 Celsius (32 °F) su punto de ebullición es de 100 Celsius (212 °F), su gravedad específica es de 1.000. La mayoría de las moléculas de agua tiene un peso molecular de 18.

Sin embargo, puesto que el hidrógeno y el oxigeno tienen cada uno 3 isótopos se sabe que el agua se presenta en condiciones normales o naturales ambientales, en uno de sus

tres estados; sólido, líquido y gaseoso, que las temperaturas de transformación de un estado en otro han sido tomadas como puntos estables o fijos.

De acuerdo al lugar donde se encuentre el agua se puede clasificar en:

↪ *Superficiales, de ríos, lagos, mares, arroyos, lagunas*, contienen gran cantidad de impurezas como bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio; sulfatos y cloruros, sólidos en suspensión y gases. Además se puede considerar la siguiente clasificación:

- Agua dulce. Si contiene < 1000 ppm de sales.
- Agua salada: si contiene > 1000 ppm de sales, en especial NaCl.

↪ *Subterráneas, de manantiales*, se caracteriza por un contenido considerable de carbonatos y sulfatos (aguas duras); aguas generalmente libres de sólidos en suspensión e impurezas de tipo orgánico. Las aguas saturadas con NaCl.

↪ *Aguas de lluvia o deshielo*, se caracteriza por poseer pocas impurezas; no contienen sales solubles (Ca y Mg), pero si gases disueltos (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>). Inclusive las aguas lluvia o deshielo contiene una cierta cantidad de impurezas que provienen de su contacto con la atmósfera.

El proceso de contaminación se agrava cuando dichas aguas fluyen por la superficie de la tierra para formar ríos, lagos, arroyos canales y mares. En esta oportunidad el agua disuelve sales de la tierra y admite en suspensión sólidos finamente divididos y microorganismos.

En el mayor número de los casos, las aguas naturales producen problemas en sus aplicaciones industriales, formando depósitos e incrustaciones que interfieren con la

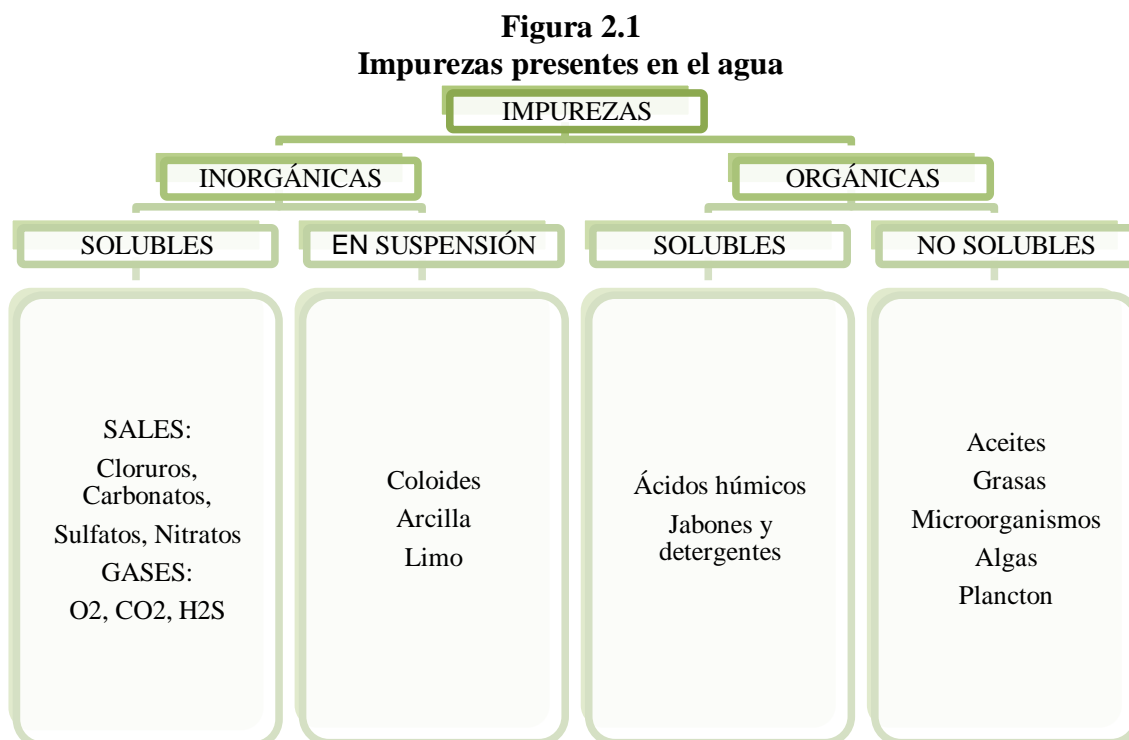
transferencia de calor y ocasionan taponamientos, causando la corrosión de los metales y la degradación de la madera u otros materiales de construcción.

Por eso la necesidad de realizar un tratamiento de las aguas naturales para eliminar riesgos de incrustaciones, depósitos o corrosión. Los tratamientos deben ser realizados a un costo justificativo y acorde a las necesidades.

### 2.1.1. Impurezas del agua

Las aguas naturales utilizadas en los diferentes procesos industriales pueden ocasionar tres tipos de problemas: incrustaciones, corrosión y proliferación bacteriológica, lo que indudablemente afecta el desarrollo normal de las actividades industriales.

Las impurezas presentes en el agua pueden simplificarse en la siguiente figura:



**Fuente:** Investigación de Campo

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011



## **2.2. Factores de la calidad del agua**

La calidad del agua se determina por la cantidad de sólidos suspendidos, la cantidad y el tipo de sales disueltas, el número y el tipo de bacterias presentes y su tendencia corrosiva o incrustante.

Para garantizar el control de la calidad del agua debe realizarse pruebas periódicas y sistemáticas en diferentes puntos del sistema. El análisis del agua cuantifica la cantidad de impurezas disueltas en ella y determina ciertas propiedades físicas y químicas.

A continuación se mencionan los principales factores de la calidad del agua:

### **2.2.1. pH**

El carácter ácido o básico del agua está dado por la concentración de los iones hidrógeno  $H^+$  presentes. Se lo determina mediante los métodos: potenciométricos (pHmetro) y colorimétrico (con indicadores).

La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5.5-8.6 grados, en una escala de 14 grados, para la cual un pH de 7 en el agua refleja neutralidad. Y para un pH de 7 para arriba representa alcalinidad y lo contrario indica acidez.

La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación del abastecimiento de agua por algún desecho de tipo industrial. Los valores recomendados dependerán del uso que se dé al agua.

Para consumo humano se mantendrá en 6,5-8,5.

**Figura 2.2**  
**Escala del pH**



Fuente: [http://www.epa.gov/acidrain/education/site\\_students\\_spanish/phscale.html](http://www.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html)

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 2.2.2. Color

El color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color natural en el agua existe debido al efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. En general el agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales como el color amarillento debido a los ácidos húmicos.

La presencia de hierro puede darle un color rojizo y la del manganeso un color negro. Normalmente el color se mide en laboratorio por comparación de un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto,  $\text{Cl}_2\text{Co}$  y Cloroplatinato de potasio,  $\text{Cl}_6\text{PtK}_2$  y se expresa en

una escala de Unidades de Pt-Co (unidad Hazen) o Pt, las aguas superficiales pueden alcanzar, varios centenares de ppm de Pt.

### **2.2.3. Turbidez**

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos etc.

Actualmente la turbidez se mide con un nefelómetro expresando los resultados Unidad de Turbidez nefelométrica, UTN. Los valores de turbidez pueden variara extensamente desde valores de cero en aguas subterráneas hasta 60000 ppm, en aguas turbias de río. En general, la turbidez y sedimento son indeseables en las aplicaciones industriales.

### **2.2.4. Alcalinidad**

La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. Es también añadir carbón al agua. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En química del agua la alcalinidad se expresa en ppm o en mg/L de carbonato equivalente del calcio.

La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido. La determinación de la alcalinidad no tiene importancia directa desde el punto de vistan sanitario, pero es importante considerarla cuando se relaciona a los proceso de coagulación y corrección del poder corrosivo del agua.

### **2.2.5. Conductividad y resistividad**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad y por lo general es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad.

El aparato utilizado es el conductímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia al paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular comparada con la de una solución de ClK a la misma temperatura y referida a 20°C. La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas, se expresa en megaohms-cm., la conductividad se expresa en el valor recíproco, normalmente como micro-siemens por cm. Para el agua ultrapura los valores respectivos son de 18.24 megaohms-cm y 0.05483 $\mu$ s/cm a 25 °C.

### **2.2.6. Dureza total**

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales alcalinas.

Se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (miligramos) por cada litro de agua; que puede ser expresado en concentraciones de CaCO<sub>3</sub>. Se lo determina moderadamente por complexometría, es decir, realizando una titulación con un producto como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Mediante la utilización de indicadores y valores de pH apropiados se cuantifica la dureza debida al calcio y la dureza total. La diferencia representa la dureza

del magnesio. La dureza del agua indica su tendencia a formar incrustaciones. En general se considera:

**Tabla 2.1**  
**Clasificación de la dureza del agua**

Dureza como ppm de CaCO <sub>3</sub>	Características
Menor de 60	Agua blanda
Entre 61 y 120	Agua medianamente dura
Entre 121 y 180	Agua dura
Mayor de 180	Agua muy dura

**Fuente:** Organización Mundial de la Salud (OMS).

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/ 2011

Los principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

↪ Cationes: Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Sr<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>

↪ Aniones: HCO<sup>-3</sup>, SO<sup>=4</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sup>-3</sup>, SiO<sup>=3</sup>

En la mayoría de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

Dureza total = dureza por Ca + dureza por Mg.

### 2.2.7. Sílice

Es indeseable la presencia de sílice en el agua de alimentación de calderas ya que este tipo de impurezas ocasionan incrustaciones duras y arrastre. La concentración de sílice en el agua de alimentación de un caldero de baja presión debe ser < 150 ppm. La sílice puede, por sí sola o combinada fundamentalmente con el magnesio, formar incrustaciones muy duras.

En un caldero de baja presión la concentración máxima recomendable es de 150 o 200 ppm de sílice por lo que el valor de 175 ppm debe observarse con atención. La sílice puede además ser acarreada fácilmente por el vapor, sobre todo a altas presiones, y producir depósitos en las aletas de turbinas.

### **2.2.8. Hierro**

El contenido de sales de hierro es importante ya que es el causante del color en el agua. Se determina por métodos gravimétricos o colorimétrico.

El hierro y el manganeso pueden producir las llamadas aguas rojas o negras, debido a la precipitación de los hidróxidos correspondientes por efecto de la oxidación de las sales solubles que originalmente contenía el agua.

La presencia de hierro en el agua también refleja la corrosión del metal de los equipos del metal de los equipos, tuberías, tanques, etc. con los cuales está en contacto dicha agua. Concentraciones de hierro entre 0,5 y 1,00 ppm pueden ser aceptables dependiendo de las condiciones anteriormente citadas.

### **2.2.9. Cloruro**

El cloro se utiliza muy ampliamente en aguas y drenajes, como agente oxidante y como desinfectante. Como agente oxidante se le emplea para el control de sabor olor y para la eliminación de color en el tratamiento de aguas municipales (oxidación de compuestos orgánicos); se utiliza para la oxidación de Fe (II) y Mn (II) en los suministros de aguas freáticas; en el tratamiento de aguas industriales se emplea para la oxidación.

El cloro se utiliza muy ampliamente en aguas y drenajes, como agente oxidante y como desinfectante. La determinación de este parámetro es importante cuando se tiene un

conocimiento en el agua de un abastecimiento, ya que cuando el agua aparece contaminada estos tienden a estar en exceso.

#### **2.2.10. Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en la superficial. Los sólidos disueltos comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de sólidos disueltos en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras.

#### **2.2.11. Sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión son partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua.

Todos los sólidos en suspensión se pueden eliminar del agua mediante un proceso de filtrado; sin embargo, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor que el agua, estas partículas se pueden eliminar también por sedimentación, si la turbulencia del agua es mínima.

Los sólidos en suspensión pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los materiales orgánicos tienen origen animal o vegetal. Las sustancias orgánicas siempre contienen

carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias inorgánicas tienen, por otro lado, origen mineral y no suelen contener carbono.

### 2.3. Filtración

Es sabido que los recursos hídricos, tanto subterráneos como cuerpos superficiales, presentan contaminantes que no permiten su uso directo para consumo humano. La turbiedad, el hierro, el manganeso, el arsénico, el cadmio, el flúor, los sulfatos, el amonio, los nitritos y nitratos son los principales contaminantes o parámetros que deben corregirse con la filtración. En las plantas de desmineralización la filtración remueve el material suspendido (turbiedad) compuesto de flóculos, suelos, metales.

El filtro es un aparato que sirve para separar las partículas sólidas de un medio fluido por intercepción y retención de las partículas sobre una superficie o en el seno de una masa porosa a través de las cuales se hace circular el fluido. En el diseño óptimo de un filtro debe considerarse:

- ↪ Tamaño del medio y la altura del lecho.
- ↪ Velocidad de filtración.
- ↪ Presión disponible.
- ↪ El modo de filtrar.

La operación de la filtración supone dos etapas: filtración y lavado o regeneración. El filtro rápido por gravedad es el más usado en tratamiento de aguas; el final de la etapa de filtración se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente aumentan; cuando la pérdida de carga es alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada o cuando la filtración es por un determinado lapso de tiempo. Presentándose una de las condiciones anteriores se procede a lavar para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y recuperar su capacidad como tal. El método de retrolavado es invertir el flujo a través del filtro.



### 2.3.1. Sistemas de filtración

La clasificación de los sistemas de filtrado es de acuerdo a la dirección del flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

- ↪ *Dirección del flujo:* Puede ser hacia ascendente o descendente.
- ↪ *Tipo de lecho filtrante:* un solo medio arena o antracita, un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granata o ilmenita.
- ↪ *Fuerza impulsora:* Esta es utilizada para vencer la resistencia y la fricción ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión.

### 2.3.2. Variables del proceso de filtración

Son las tres variables que hay que tomar en cuenta en proceso de filtración:

- ↪ *Características del agua a filtrar:* Las características principales son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, así como la consistencia de los flóculos. Las partículas se encuentran en dos intervalos de tamaño distintos:
  - ↪ pequeñas (1 y 15 micras de diámetro circular)
  - ↪ grandes (50 y 150 micras).
- ↪ *Características del medio filtrante:* El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración.

Si el tamaño es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocado por el lecho filtrante.

↳ *Velocidad de filtración:* Las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y a arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro.

### **2.3.3. Lavado de filtros**

El lavado de filtros consiste en hacer pasar agua en sentido contrario al funcionamiento del filtro a través del lecho filtrante, a una velocidad tal que los granos del medio filtrante se muevan a través del flujo y se frotan unos contra otros para limpiarse de los depósitos formados sobre ellos.

Si solamente hay una unidad, se debe disponer de un tanque de almacenamiento de agua filtrante. Para lavar los filtros cuando la pérdida de carga es excesiva o la calidad es deteriorada, se hace a atravesar una corriente de agua y aire en contracorriente.

#### **2.3.3.1. Retrolavado con agua a contracorriente**

El lavado con agua requiere de una dosificación muy exacta de agua para provocar la fluidización (expansión) del medio filtrante. El coeficiente de expansión depende sobre todo del tamaño y el peso específico de los granos, y la viscosidad del agua. La desventaja es que se utiliza un elevado consumo de agua y que produce una concentración granulométrica, esto es desfavorable en una filtración descendente.

#### **2.3.3.2. Retrolavado con agua, combinada con lavado superficial**

Este sistema cuenta con tuberías perforadas para distribuir el agua del lavado a presión considerable uniformemente por toda el área del filtro, colocadas cerca de la superficie

del medio filtrante con la función de romper la capa superficial del material granular y ayudar al desprendimiento de las partículas adheridas a los granos y facilitando el transporte de las mismas provocadas por el agua de retrolavado. Este proceso tiene dos fases: la primera es el lavado superficial y el retrolavado.

#### **2.3.3.3. Retrolavado con agua y aire sucesivamente**

Este lavado se aplica cuando la naturaleza del material filtrante no permite el lavado combinado de agua y aire con agua simultáneamente, por riesgos de pérdida de material filtrante en el proceso de lavado.

Generalmente estos son los filtros de arena con granulometría más fina o de material de baja densidad como antracita, carbón activado.

El lavado se lleva en dos fases; en la primera se aplica aire, para desprender las partículas adheridas al medio filtrante; en la segunda se aplica solo agua, sin aire, con alta intensidad, provocando la expansión del lecho filtrante y asegurar transporte y evacuar las pérdidas desprendidas en la primera fase.

Cuando los materiales suspendidos son muy pesados y difícilmente removibles, se aplican lavados en pulsaciones o varios lavados de aire y agua.

#### **2.3.3.4. Retrolavado con agua y aire con agua simultáneamente**

Este lavado permite la mejor eficiencia del proceso, el aire comprimido que se introduce al principio del proceso de lavado, rompe la capa superficial del medio filtrante y no permite la creación de bolas de lodos, de esta manera el filtro tiene una mayor capacidad de retención de material suspendido.

Las fases del lavado son tres: en la primera es solo aire y sin expansión de la capa filtrante, la segunda es aire con agua simultáneamente y la tercera es agua pura.

#### **2.3.4. Selección del medio filtrante**

La selección del medio filtrante es determinada por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

El medio ideal debe poseer un material durable, capaz de retener un efluente satisfactorio; debe ser de un material durable, capaz de retener la máxima cantidad de sólidos y ofrecer facilidad para limpiar con una cantidad mínima de agua de lavado.

#### **2.3.5. Tipos de filtros**

##### **2.3.5.1. Filtros de grava**

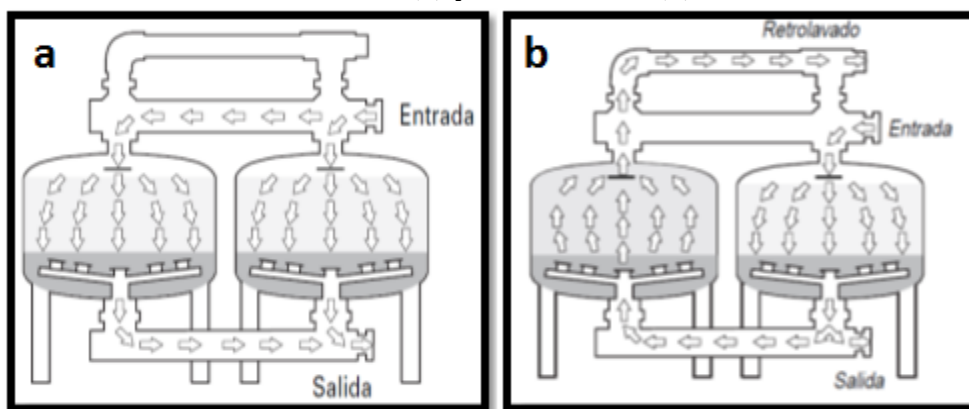
Los filtros de arena o grava consisten en tanques generalmente metálicos o de plástico reforzado, capaces de resistir las presiones estáticas y dinámicas, están llenos de arena o grava tamizada de un determinado tamaño.

El filtrado se realiza cuando el agua atraviesa la arena reteniendo las impurezas que acompañan el agua. Las propiedades del medio, causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo de grava o arena, siendo de esta manera retenido entre el material filtrante.

Para una filtración más eficiente, es conveniente agregarle sustancias químicas al agua a tratar; que causen la coagulación de las partículas, ya que es más probable que el

coágulo sea retenido en el lecho del filtro que una sola partícula en estado coloidal. Los filtros de grava son muy efectivos para retener sustancias orgánicas, pues pueden filtrar a través de todo el espesor de arena, acumulando grandes cantidades de contaminantes antes de que sea necesaria su limpieza.

**Figura 2.3**  
**Filtración (a) y Retrolavado (b)**



Fuente: [http://www.emv.cl/riego\\_local.html](http://www.emv.cl/riego_local.html).

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/ 2011

### 2.3.5.2. Filtros de arena multicapa o lecho profundo

A diferencia de los filtros convencionales que se tapan fácilmente o tienen una alta caída de presión casi desde el comienzo del ciclo de filtración, los filtros multicapa llevan por lo menos cinco capas de mineral filtrante (arena sílica o de mar) de diferente densidad y granulometría que van reteniendo las partículas de mayor tamaño en las capas superiores y las más pequeñas son detenidas en las siguientes capas.

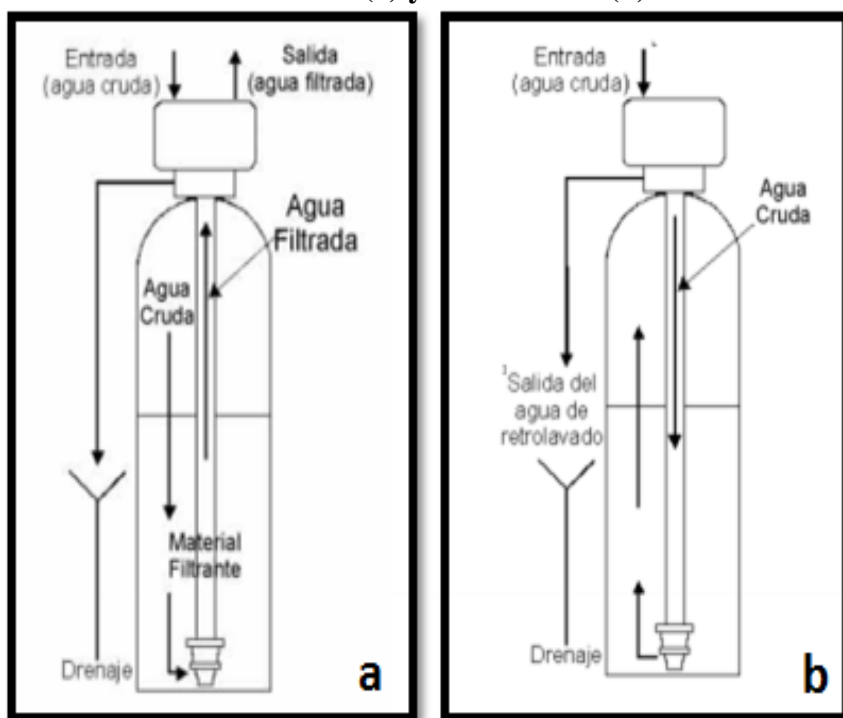
Grados de filtración:

- ↗ De excelente calidad entre 10 y 15  $\mu$
- ↗ De alta calidad entre 15 y 20  $\mu$
- ↗ De calidad normal entre 20 y 30  $\mu$

El agua sin filtrar entra a la válvula y fluye en dirección de arriba hacia abajo por el interior del tanque a través del material filtrante para después subir, ya filtrada, por el tubo central y salir del equipo (ver figura 2.4).

El lavado es generalmente a contracorriente. El cambio del material filtrante es cada tres años. Al pasar el agua por este proceso el agua no debe tener sustancias a la vista del ojo humano.

**Figura 2.4**  
**Filtración (a) y Retrolavado (b)**



Fuente: [http://www.emv.cl/riego\\_local.html](http://www.emv.cl/riego_local.html).

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 2.3.5.3. Filtros a presión

En los filtros a presión el agua entra y sale del filtro a una presión muy superior a la atmósfera 0.4 al 0.6 MPA, y la fuerza impulsora es la presión de bomba. Este tipo de filtros consta de un tanque metálico herméticamente cerrado, que contiene un medio granular. La acción de filtros a presión es idéntica a los de gravedad, se emplean

generalmente en los sitios donde el espacio es limitado, tal como en fábricas, industriales. Se aplican en la filtración de aguas floculadas, sin sedimentación previa y también sin coagulación.

Dependiendo de la posición del tanque de acero se distinguen dos tipos de filtro a presión horizontal y vertical, el lavado se realiza solo con agua o con agua y aire. La desventaja es que la arena puede incrustarse y formar bolas de lodo.

#### **2.3.5.4. Filtros de diatomea**

Estos filtros son ampliamente usados en la industria cuando se necesita de un efluente muy limpio sin el uso de reactivos y están basados en el principio de filtrar agua a través de tubos o placas porosas, en lugar de lechos de arena, antracita u otros materiales.

El material se prepara en suspensión acuosa y se aplica previamente sobre el elemento de soporte, fabricado de materiales anticorrosivos.

#### **2.3.5.5. Filtros de carbón activado**

Carbón activo es un tipo de carbón amorfo que se produce al calentar madera u otro material orgánico en ausencia de aire.

Su estructura es microporosa y ésta característica lo hace absorber moléculas orgánicas tanto gaseosas como las disueltas en los líquidos. Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activo son:

- ↳ La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, donde la porosidad y la distribución del tamaño de poros tienen un papel importante. Así los microporos ( $<2\mu\text{m}$ ) le confiere una elevada

superficie y capacidad de retención, mientras los mesoporos (2-50  $\eta\text{m}$ ) y microporos ( $>50\mu\text{m}$ ) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño (colorantes o coloides).

↪ Baja selectividad de retención.

La selección de una adecuada retención en columnas de carbón activo requiere de un análisis de diversos factores, además de los económicos y ambientales como:

- ↪ Calidad y caudales del agua a tratar.
- ↪ Vida útil de la planta.
- ↪ Posibles cambios en los usos finales de las aguas tratadas.
- ↪ Ciclos de regeneración del carbón activo.
- ↪ Destrucción o recuperación de los contaminantes retenidos en las columnas de carbón activo.

## **2.4. Tratamiento para el ablandamiento del agua**

El método más comúnmente usado para suavizar el agua es a base de filtros de zeolita. Consiste en un tanque o deposito cerrado, del tamaño de un tanque de gas doméstico, lleno de zeolita o resinas catiónicas.

### **2.4.1. Intercambio Iónico**

El intercambio iónico es un fenómeno muy frecuente en la naturaleza. Las arcillas, coloide y humus vegetales del suelo, tienen la propiedad de intercambiar, algunos de sus cationes transportados por las corrientes de agua (calcio y magnesio); así la nutrición de la litósfera en lo relativo a sales minerales, depende de las propiedades químicas del



suelo especialmente de sus cationes intercambiables y de la capacidad de intercambio del mismo.

En los suministros de agua natural contienen sales disueltas, las cuales se disocian en el agua para formar partículas con carga, conocidas como iones. Estos iones están presentes por lo general en concentraciones relativamente bajas, y permiten que el agua conduzca electricidad. Algunas veces se conocen como electrolitos. Los iones comunes que se encuentran en la mayoría de las aguas incluyen los cationes de carga positiva; calcio y magnesio cationes que generan dureza, los cuales hacen que el agua sea “dura” (sodio y potasio). Los aniones de carga negativa incluyen alcalinidad, sulfato, cloruro, y silicio.

El intercambio iónico es una reacción química reversible de un ion de una dilución es intercambiador por un ion similarmente cargado, adheridos a una partícula sólida inmóvil. Esos iones sólidos intercambiables son obtenidos naturalmente o producidos sintéticamente.

Este método se usa principalmente para eliminar la dureza del agua. Este método de tratamiento consiste en la remoción de los iones indeseables que existan en el agua, transfiriéndolos a un material sólido llamado intercambiador. Cuando este llega a su capacidad máxima se requiere un retrolavado, regeneración, enjuagado y servicio.

Los intercambiadores de iones suelen ser del tipo columna con flujo descendente. El agua entra por la parte superior de la columna sometida a una cierta presión, circula en el sentido descendente a través del lecho de resina, y se extrae por la parte inferior.

Cuando se agota la capacidad de la resina, la columna se somete a un ciclo de lavado a contracorriente para eliminar los sólidos atrapados y proceder a la posterior regeneración.

La resina de intercambio catiónico se regenera con un ácido fuerte, como el ácido sulfúrico o el hidroclicóric. El regenerador de resinas aniónicas más comúnmente empleado es el hidróxido de sodio.

Las elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el agua que entra en las unidades de proceso pueden taponar los lechos de intercambio iónico, provocando grandes pérdidas de carga y rendimientos ineficaces.

#### **2.4.2. Materiales de intercambio**

La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenceno (DVB). El estireno y el DVB, ambos líquidos en un principio, se colocan en un reactor químico con más o menos la misma cantidad. Así mismo está presente un agitador para mantener todo disperso. Estas resinas son polímeros insolubles a los que se le añaden grupos básicos mediante reacciones químicas.

La mayoría de los materiales para el intercambio se basan en resinas sintéticas (poliestirenocopolimerizado con DVB), ya que cuando se usaban los cambiadores naturales su capacidad de cambio era débil. En el tratamiento de intercambio iónico no se producen lodos, sin embargo al regenerarlas se genera un desecho concentrado del contaminante original.

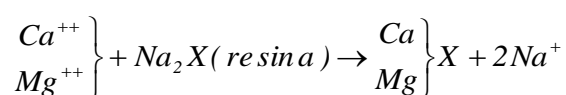
##### **2.4.2.1. Zeolitas**

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms.

Su estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible. Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con  $\text{SiO}_4$  en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

- ↪ Alto grado de hidratación.
- ↪ Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- ↪ La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- ↪ Las propiedades de intercambio del catión.
- ↪ Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- ↪ Por sus propiedades catalíticas.

Las zeolitas pueden ser sintéticas y naturales (ceniza volcánica, arcilla, feldespato, sílice biogénico y formas de cuarzo). Cuando se usan para el ablandamiento del agua, las zeolitas naturales intercambian sus iones de sodio por los iones de calcio y magnesio en el agua, lo que permite la eliminación total de la dureza. Esto es, si se representa una zeolita por  $\text{Na}_2\text{X}$ .

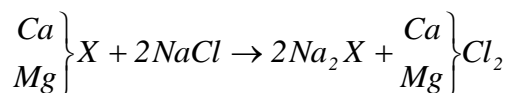


El agua así obtenida tiene un alto contenido de sodio, que no es probable que cause problema, a no ser que el agua fuera originalmente muy dura.

### 2.4.3. Intercambio y regeneración

Cuando se han intercambiado todos los iones de sodio en la estructura, ya no hay remoción de dureza.

La regeneración se logra con el uso de una solución de sal que suministre una alta concentración de iones de sodio para invertir la reacción de intercambio.



Con lo que se libera la dureza como una corriente concentrada de cloruro. Una zeolita de ciclo de sodio natural tendrá una capacidad de intercambio de 200 equivalentes gramo/m<sup>3</sup> con un requerimiento de material regenerante de 5 equivalentes/equivalente intercambiado.

Las etapas del proceso de permutación iónica son:

- 1) *Intercambio o ablandamiento.*
- 2) *Retrolavado a contracorriente:* se realiza provocando la expansión del lecho para dejar sueltas las partículas de resinas y asegurar su limpieza. Las velocidades de paso del agua de lavado son de 6 a 8 m/hr para las resinas aniónicas y de 10 a 18 m/hr para las catiónicas. La duración es de 10 a 15 min.
- 3) *La regeneración:* se hace con una sustancia que permita recuperar el ion perdido de la resina. Configuraciones para el intercambio iónico en base a la calidad del agua de alimentación.

- ↔ Doble columna: (catión – anión).
- ↔ Triple columna: (catión – anión – catión).
- ↔ Cuatro columnas: (catión – anión – catión – anión).
- ↔ Mixta: (catión – anión).

- 4) *Enjuague*: La finalidad es eliminar los compuestos originados posiblemente por regenerador.

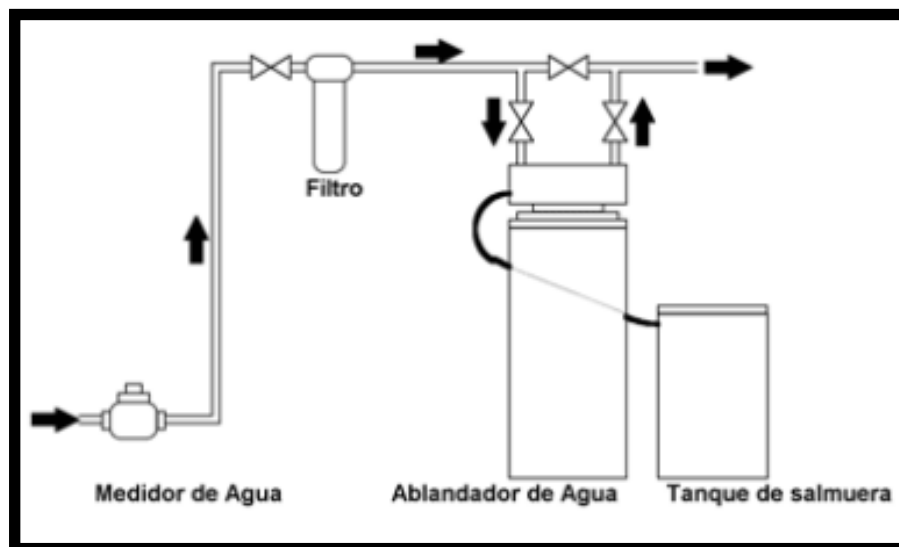
Los ablandadores modernos tienen un método de "regeneración" de la resina con una solución de salmuera (agua salada). La salmuera encharca la resina por tiempo suficiente para permitir la sustitución por el sodio del calcio y magnesio fijados en el lecho de resina.

El calcio y magnesio son lavados y removidos, dejando el lecho de resina regenerado y listo para ser nuevamente utilizado. Los ciclos de regeneración son establecidos en el momento de la instalación y son basados en la demanda de agua, la calidad del agua de alimentación y el caudal máximo de servicio necesario para atender al usuario.

Los ablandadores realizan de igual manera el intercambio y el retrolavado, posteriormente.

- 3) *Aspiración de la salmuera*: la solución de salmuera es aspirada del tanque de almacenamiento de la salmuera y entra en el lecho de resina.
- 5) *Enjuague lento*: el enjuague de salmuera es lentamente forzado a través del lecho de resina, permitiendo que el sodio elimine los iones de calcio y magnesio para fuera del lecho de resina.
- 6) *Enjuague rápido*: es forzado el pasaje rápido de agua bruta a través del lecho de resina para retirar la salmuera residual y los iones de calcio y magnesio.
- 7) *Completar el tanque de salmuera*: el tanque de salmuera es completado con agua para quedar preparado para el próximo ciclo de regeneración.

**Figura 2.5**  
**Instalación del ablandador**



Fuente: [http://www.emv.cl/riego\\_local.html](http://www.emv.cl/riego_local.html).

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

#### 2.4.4. Tipos de resinas de intercambio iónico usadas para el tratamiento de aguas

La mayoría de las resinas empleadas hoy en día son sintéticas, basadas en un copolímero de estireno-divinilbenceno, tratado apropiadamente para añadirles los grupos funcionales. La sulfonación da lugar a resinas catiónicas y la afinación a resinas aniónicas.

- ↳ *Resinas catiónicas de ácido fuerte:* Derivan su funcionalidad de los grupos ácidos sulfónicos. Estos intercambiadores funcionan a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales, y su regeneración es más frecuente. Esta es la resina que se escoge para las aplicaciones de suavizado en ciclo sódico, regenerando con ClNa, al 10% empleando 100 a 300 g de ClNa por litro, y como primera unidad en un desmineralizador de dos lechos, o como componente catiónico de un lecho mixto. Estas tienen selectividad para cationes trivalentes, intermedia divalentes e inferior los monovalentes. La velocidad del I.O (intercambio iónico) es rápida y de poca fuga iónica. Son muy estables y pueden durar hasta más de 20 años.

- ↪ *Resinas catiónicas de ácido débil:* Contienen grupos carboxílicos como sitios de intercambio. Captan el calcio y magnesio de la alcalinidad bicarbonatada, liberando ácido carbónico que se puede eliminar de manera simple y barata por desgasificación mediante aeración no operan a pH inferior a 7, necesitando una acción tamponante. Su capacidad es el doble que la catiónica fuerte, aunque su fuga de calcio es baja, es alta la de sodio. Incluso se puede emplear en su regeneración el exceso de ácido usado en la regeneración de la catiónica fuerte. También son más resistentes a oxidantes como el cloro. Las resinas catiónicas débiles están sujetas a una menor capacidad por un aumento en la velocidad de flujo, temperaturas bajas, y una proporción entre la dureza y la alcalinidad menor de 1.0.
- ↪ *Resinas aniónicas de base fuerte:* Son capaces de eliminar todos los aniones de ácidos débiles o fuertes operando a cualquier pH. Su selectividad para los aniones divalentes es superior a los monovalentes. Son menos estables que las homólogas catiónicas, su duración bastante inferior y resisten temperaturas límite inferior. Absorben irreversiblemente los ácidos húmicos de descomposición vegetal, perdiendo capacidad. Para su protección se puede usar una columna previa de resina aniónica débil o de carbón activo.
- ↪ *Resinas aniónicas de base débil:* Eliminan los aniones de los ácidos fuertes,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{4-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , pero no los de los ácidos débiles,  $\text{CO}_3^{3-}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{SiO}_3\text{H}^-$ , y no funciona a pH superior a 6. Su capacidad es el doble de las aniónicas fuertes y resisten el ensuciamiento orgánico. Su hinchamiento es del orden del 20% en la forma  $\text{OH}^-$ .

## 2.5. Desmineralización

La desmineralización es un proceso mediante el cual se eliminan sólidos disueltos en el agua en base a resinas de intercambio Iónico. La cantidad de sólidos disueltos en el

agua se puede medir en base a conductividad eléctrica o resistencia que es inversamente proporcional, para aguas que tienen muy pocos sólidos disueltos es más eficiente medir la resistividad, no hay agua que tenga “cero” absoluto, lo más cercano a cero expresado en resistividad es 18.3 millones de ohms. Las etapas para elegir el sistema de desmineralización son las siguientes:

- ↪ Determinar la calidad y volumen diario del agua requerida.
- ↪ Analizar la calidad de los suministros de agua disponible.
- ↪ Seleccionar el tipo de pretratamiento necesario.
- ↪ Decidir el sistema de desmineralización y el tipo de resina. Especificar la duración del ciclo, el tiempo de regeneración y la disponibilidad de almacenamiento de agua tratada.
- ↪ Determinar en función de las capacidades de intercambio, velocidades de paso, nivel de regenerante y parámetros físicos, los volúmenes de resina y demás características del sistema.

La operación de intercambio Iónico debe ir precedido del pretratamiento adecuado. Se debe eliminar la materia en suspensión y la materia coloidal que puede ensuciar las resinas, reduciendo la cinética de difusión de los iones y colmatarlas creando caminos preferenciales con disminución de la eficiencia.

### **2.5.1. Diseño de los equipos de desmineralización**

El diseño de los recipientes de intercambio iónico responde al requisito de operar con lecho profundo de resinas introducidas en columnas, dando un flujo de agua estacionaria y tranquilo.

El material de construcción debe ser resistente a la corrosión. En el ablandamiento es suficiente que sea resistente a la solución salina, pero en la desmineralización se emplean generalmente agentes muy corrosivos.



La altura de los lechos de resina se sitúa entre 70 y 150 cm a mayores alturas representarían pérdidas de eficiencia hidráulica.

La cámara de expansión para el lavado y la dilución de las resinas se suele formar de un 50 a un 75% de la altura del lecho para las catiónicas y de un 100% para las aniónicas menos densas.

## **2.6. Automatización de procesos**

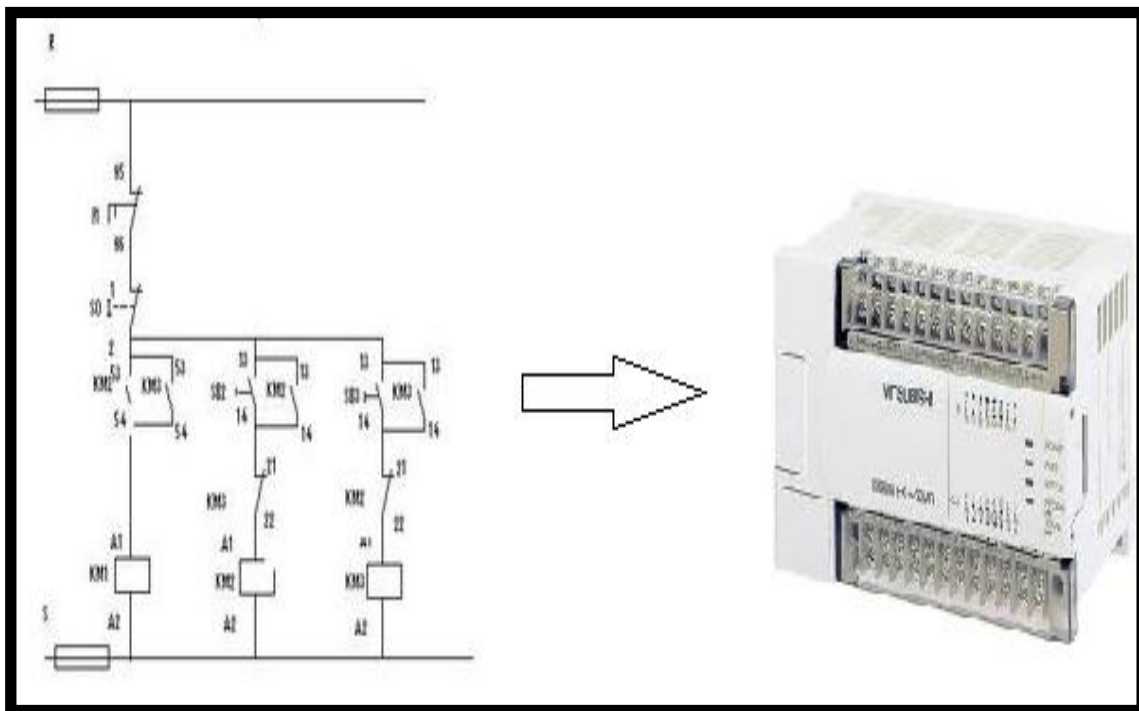
La automatización o ingeniería de control es el uso de elementos sistemáticos (como control numérico (NC), controladores lógicos programables (PLC) y otros sistemas de control industrial) relacionados con otras aplicaciones de la tecnología de la información (como son tecnologías de ayuda por computador [CAD, CAM, CAX]), para el control industrial de maquinaria y procesos, reduciendo la necesidad de intervención humana.

En el ámbito de la industrialización, la automatización está un paso por delante de la mecanización.

Mientras que la mecanización provee operadores humanos con maquinaria para ayudar a exigencias musculares de trabajo, la automatización reduce considerablemente la necesidad para exigencias humanas sensoriales y mentales. Los procesos y los sistemas también pueden ser automatizados.

La ingeniería de control se preocupó desde sus orígenes de la automatización y del control automático de sistemas complejos, sin intervención humana directa, pero sí de manera indirecta ya que todo sistema de control necesita de un programador además de un operador encargado de manipular el sistema.

**Figura 2.6**  
**Automatización de sistemas de control**



**Fuente:** <http://www.pacontrol.com/PLC.html>.

**Elaborador por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 2.6.1. Autómatas programables

Hasta no hace mucho tiempo el control de procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés. A mediados de los años 60, General Motors, preocupada por los elevados costos de los sistemas de control a base de relés, de lógica cableada, comenzó a trabajar con digital en el desarrollo.

Hacia la primera mitad de los años 70 los autómatas programables incorporan la tecnología de los microcontroladores. La década de los años 80 se caracteriza por la incorporación de los microprocesadores.

Entonces los autómatas programables pueden definirse como equipos electrónicos programables en lenguaje no informático, diseñados para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales.

Como se mencionó las primeras aplicaciones de los autómatas programables se dieron en la industria automotriz para sustituir los complejos equipos basados en relés. Sin embargo, la disminución de tamaño y el menor costo han permitido que los autómatas sean utilizados en todos los sectores de la industria.

### 2.6.2. Partes de un autómata programable

La estructura básica de cualquier autómata es la siguiente:

- ↳ *Fuente de alimentación:* Es la encargada de convertir la tensión de la red, 220v CA, a baja tensión de CC, normalmente 24 v. Siendo esta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.
  
- ↳ *CPU:* La Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Se encarga de recibir las órdenes, del operario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas. Posteriormente las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso.
  
- ↳ *Módulo de entrada:* A este módulo se unen eléctricamente los captadores (interruptores, finales de carrera, pulsadores, etc.). La información recibida en él, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo la programación residente.
  
- ↳ *Módulo de salida:* El módulo de salidas del autómata es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños, etc.). Según el tipo de proceso a controlar por el autómata, podemos utilizar diferentes módulos de salidas. Existen tres tipos bien diferenciados: a relés, a TRIACs o a transistores.

↪ *Terminal de programación:* El terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.

Como consolas de programación pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el autómata, tipo calculadora o bien un ordenador personal, PC, que soporte un software especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

↪ *Periféricos:* Los periféricos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómata, pero sin embargo facilitan la labor del operario. Los más utilizados son:

- Grabadoras.
- Impresoras.
- Cartuchos de memoria EEPROM.
- Visualizadores, paneles de operación (OP) y HMI's (Interfaces Humano-Máquina)

Respecto a su disposición externa, los autómatas pueden contener varias de estas secciones en un mismo módulo o cada una de ellas separadas por diferentes módulos. Así se pueden distinguir autómatas compactos y modulares.

### **2.6.3. Programación**

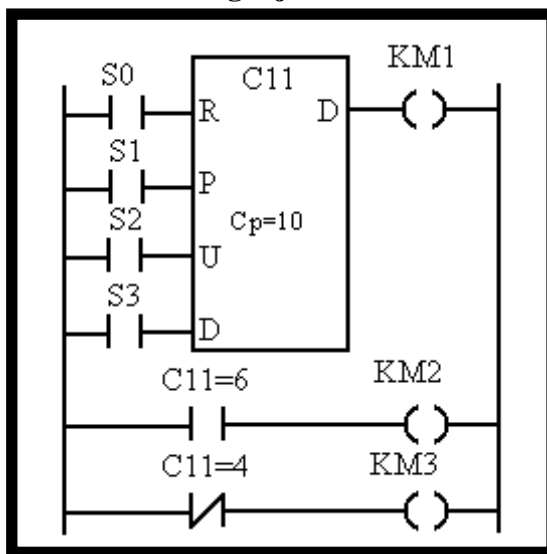
Cuando surgieron los autómatas programables, lo hicieron con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra construidos con contactores y relés. Por lo tanto, la comunicación hombre-máquina debería ser similar a la utilizada hasta ese momento.

El lenguaje usado, debería ser interpretado, con facilidad, por los mismos técnicos electricistas que anteriormente estaban en contacto con la instalación. Estos lenguajes han evolucionado en los últimos tiempos, de tal forma que algunos de ellos ya no tienen nada que ver con el típico plano eléctrico a relés. Los lenguajes más significativos son:

### 2.6.3.1. Lenguaje a contactos o Ladder (LD)

Es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos. Muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente de esta forma.

**Figura 2.7**  
**Lenguaje Ladder**



**Fuente:** [http://www.merapoder.blogspot.com/2008\\_10\\_01\\_archive.html](http://www.merapoder.blogspot.com/2008_10_01_archive.html).  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 2.6.3.2. Lenguaje por Lista de Instrucciones (IL)

En los autómatas de gama baja, es el único modo de programación. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación

en un circuito eléctrico a contactos. También decir, que este tipo de lenguaje es, en algunos los casos, la forma más rápida de programación e incluso la más potente.

**Figura 2.8**  
**Lenguaje por lista de instrucciones**

```

000: L IO.1
001: S MO.0
002: S QO.0
003: L MO.1
004: R MO.0
005: R QO.0
006: TR1
*S: MO.0
*STP:
*IW: KW10
*EQ: QO.1
007: TR2
*S: MO.0
*STP:
*IW: KW20
*EQ: QO.2
008: TR3
*S: MO.0
*STP:
*IW: KW30
*EQ: QO.3
009: TR4
*S: MO.0
*STP:
*IW: KW40

```

**Fuente:** <http://www.autoware.com/spanish/ps3.htm>

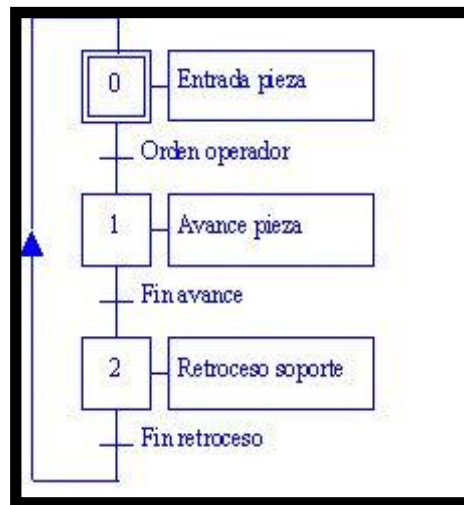
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 2.6.3.3. Grafcet (SFC)

Es el llamado Gráfico de Orden Etapa Transición. Ha sido especialmente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. Las acciones son asociadas a las etapas y las condiciones a cumplir a las transiciones. Este lenguaje resulta enormemente sencillo de interpretar por operarios sin conocimientos de automatismos eléctricos. Muchos de los autómatas que existen en el mercado permiten la programación en GRAFCET, tanto en modo gráfico o como por lista de instrucciones.

También podemos utilizarlo para resolver problemas de automatización de forma teórica y posteriormente convertirlo a plano de contactos.

**Figura 2.9**  
**Lenguaje Grafcet**



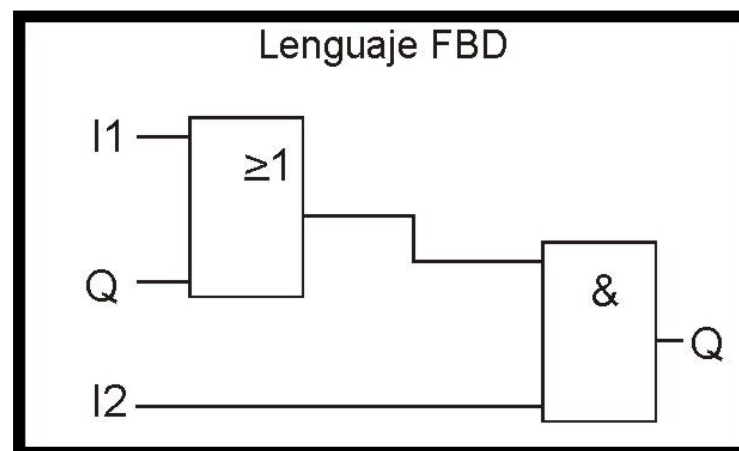
**Fuente:** <http://gepraa.blogspot.com/2008/08/grafcet-en-3-niveles.html>

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

#### 2.6.3.4. Plano de Funciones (FBD)

El plano de funciones lógicas, resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

**Figura 2.10**  
**Plano de funciones**



**Fuente:** <http://www.pacontrol.com/PLC.html>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

#### **2.6.4. Interfaz humano-máquina**

Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitorización y control de supervisión.

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLCs (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVERS (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La industria de HMI nació esencialmente de la necesidad de estandarizar la manera de monitorizar y de controlar múltiples sistemas remotos, PLCs y otros mecanismos de control. Aunque un PLC realiza automáticamente un control pre-programado sobre un proceso. Históricamente los PLC no tienen una manera estándar de presentar la información al operador. La obtención de los datos por el sistema SCADA parte desde el PLC o desde otros controladores y se realiza por medio de algún tipo de red, posteriormente esta información es combinada y formateada.

#### **2.6.5. Paneles Operadores (OP)**

En la actual industria, es necesario disponer de interfaces de comunicación entre el hombre y la máquina, siendo además imprescindible, que éstos aparatos estén a pie de máquina para así, permitir al operario controlar en todo momento el estado actual de la



máquina y además, poder emitir órdenes a la misma en función de las necesidades de cada momento.

Los elementos utilizados para ésta comunicación son los llamados paneles de operador, los cuales, según sus prestaciones los podremos dividir en varios grupos, desde los simple visualizadores de mensajes provistos de un número mínimo de pulsadores y una pequeña pantalla, pasando por los provistos de visualizador grafico (a color o B/N) con pulsadores, hasta los paneles programables táctiles (touch panel) de última generación dotados de memoria suficiente para almacenar programas de grandes dimensiones.

Estos paneles permitirán obtener todo tipo de información sobre las condiciones de trabajo de la máquina, elementos discretos (pulsadores, pilotos), valores de temperatura, velocidad, presión, gráficas, mensajes de texto, alarmas, etc.

Además, en función de dicha información, permitirán al usuario (si su nivel de acceso se lo permite), dar órdenes a la máquina, realizando modificaciones en los parámetros manejados por el PLC tales como, modificación de los valores de temporizadores y contadores, cambios de niveles de prensado, puestas en marcha y parada de motores y electroválvulas, etc.

Normalmente, el panel estará conectado al PLC, pero en la actualidad, también disponen de salidas de todo tipo como: conexión de impresoras, conexión de varios paneles en red, salidas serie y paralelo, conexión a bus de datos, ETHERNET, etc. Incluso los hay que en el mismo panel incorporan un PLC con entradas y salidas.

Las pantallas de visualización van desde DISPLAYs alfanuméricos hasta pantallas TFT táctiles, con alta resolución en color, que permiten la visualización de todo tipo de imágenes, consiguiendo presentaciones en pantalla prácticamente iguales a las obtenidas en el monitor del PC utilizando sistemas SCADA.

**Figura 2.11**  
**Touch Panel Programable de Wonderware**



**Fuente:** <http://www.pacontrol.com/PLC.html>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

#### **2.6.5.1. Programación de paneles de operador**

El software utilizado para la programación y configuración de los paneles de operador, debe de reunir las siguientes características:

- ↪ Entorno gráfico basado en Windows para facilidad de manejo de forma intuitiva.
- ↪ Completas barras de herramientas
- ↪ Amplia biblioteca de objetos parametrizados.
- ↪ Elementos preconfigurados para avisos, alarmas, recetas, etc.
- ↪ Vectores gráficos.
- ↪ Simulación de funcionamiento en el propio PC.
- ↪ Utilización del mismo software para todos los modelos de paneles (del mismo fabricante).
- ↪ Fácil conversión de un proyecto realizado en un modelo a otro modelo (distinto tamaño de pantalla).

### **2.6.6. Sistemas SCADA**

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Adquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

### **2.6.7. Instrumentación industrial**

La Instrumentación Industrial es la rama de la ciencia que trata de la medición y control en procesos industriales mediante "instrumentos", entendiéndose a estos como dispositivos o equipos que miden o manipulan las variables de un proceso, variables físicas como, presión, temperatura, caudal, etc., variables eléctricas como, voltaje corriente, frecuencia, etc. Se pueden distinguir generalmente dos tipos de instrumentos; los sensores y los actuadores. Los primeros son los destinados a medir las variables presentes en los procesos industriales, mientras que los segundos son los encargados de controlar dichas variables

### 2.6.7.1. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc.

Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

### 2.6.7.2. Medidores de caudal

Para medir caudales, existen varios tipos de dispositivos. Los más simples son los que proporcionan métodos directos para medición de caudales. Un método de este tipo consiste en determinar el volumen que pasa de fluido que pasa a través de una tubería en determinado tiempo y luego se puede conocer el caudal. Este método es útil en cuanto a la exactitud, cuando se trabaja con fluidos incompresibles en régimen estable (laminar) y se debe disponer de un periodo largo de tiempo para proporcionar una buena medición. Además tienen la ventaja de que no necesitan ser calibrados. En el mercado existen varios tipos de caudalímetros entre los más comunes tenemos:

- ↳ *Mecánico de molino:* Consisten en un molino cuyas aspas están transversales a la circulación de fluido. El flujo hace girar el molino cuyo eje mueve un contador que acumula lecturas. Un ejemplo de este uso son los contadores de agua de las viviendas o los antiguos contadores de gas natural.
  
- ↳ *Electrónicos de molino:* Sus partes mecánicas consisten en un molino con aspas transversales a la circulación de flujo, el molino tiene en un extremo un imán permanente. Cuando este imán gira genera un campo magnético variable que es

leído por un sensor de efecto de campo magnético, después el circuito electrónico lo convierte en pulsos que transmite a través de un cable.

- ↳ *Electrónicos de turbina:* Una turbina colocada de frente al flujo, encapsulada en las paredes de un tubo, rota proporcionalmente al caudal. La turbina, fabricada con un compuesto de resina y polvo de alnico, genera un campo magnético que es leído y codificado.
  
- ↳ *Diferencial de presión:* La tubería disminuye su diámetro levemente (por ejemplo, con un plato de orificio) y después regresa a su diámetro original. El fluido obligado a circular por esta reducción disminuye su presión a la salida. La diferencia de presión de antes y después es medida de manera mecánica o electrónica. A mayor diferencia de presión mayor es el caudal.
  
- ↳ *Magnéticos:* Están basados en la ley de Faraday que enuncia que el voltaje inducido a través de un conductor que se desplaza transversal a un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor. Aplicamos un campo magnético a una tubería y medimos su voltaje de extremo a extremo de la tubería. Este sistema es muy poco intrusivo pero solo funciona con líquidos que tengan algo de conductividad eléctrica. Es de muy bajo mantenimiento ya que no tiene partes móviles.

### **2.6.7.3. Medidores de las propiedades del agua**

Entre la instrumentación para medir o determinar los parámetros de calidad del agua se pueden obtener o aplicar distintos métodos según las necesidades de la aplicación entre los cuales tenemos Kits de análisis reactivos, que trabajan inyectando químicos determinados a una muestra de agua para que esta se torne de un color específico dependiendo de la presencia o no de determinado elemento, así portitulación o por colorimetría usando una escala de colores de forma visual o con sistemas electrónicos

con fotosensores es posible determinar: dureza, hierro, manganeso, alcalinidad, flúor, nitratos, nitritos, sulfatos, sodio, ozono, entre muchos otros parámetros.

**Figura 2.12**  
**Kit de análisis reactivo**



**Fuente:**[http://www.ansam.com.mx/productos/analisis\\_hidroponia.html](http://www.ansam.com.mx/productos/analisis_hidroponia.html)  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Existen también medidores portátiles tipo lapicero o tipo maletín para determinar mediante electrodos la conductividad, el pH, la alcalinidad, etc.

**Figura 2.1**  
**pH-metro de bolsillo**



**Fuente:**<http://www.pce-iberica.es/instrumento/medidor-ph-phep-4.htm>

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

De la misma manera se pueden encontrar en el mercado, medidores en línea para determinar conductividad, sólidos disueltos totales (TDS), pH, ORP, dureza, cloro, ozono, temperatura, etc., los cuales pueden venir integrados con sistemas de control para enviar señales a un PLC o controlar directamente válvulas, bombas y otros equipos.

**Figura 2.14**  
**Medidor tds in-out doble relé panel industrial ps-202**



**Fuente:** <http://www.meditordts.com>

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL SISTEMA DESMINERALIZADOR DE AGUA

#### 3.1. Introducción

El presente capítulo está referido al diseño del equipo para el tratamiento de ablandamiento o desmineralización. El ablandamiento, es un tratamiento externo del agua a ser utilizada en las calderas, e independientemente del tipo de caldero tiene como objetivo evitar la presencia de impurezas, que además producen incrustaciones que son indeseables en las calderas. La presencia de incrustaciones causa muchos problemas en las calderas, así entre los principales podemos señalar a los siguientes:

- ↪ Pérdida de eficiencia de las calderas (ver figura 4.42), debido a que en las superficies de calentamiento, las incrustaciones reducen la cantidad de calor transmitido, lo que representa un aumento de la resistencia a vencer por parte del calor.
- ↪ Mayor consumo de combustible, se ha llegado a determinar que por ejemplo 2,5 mm de incrustación ocasiona un 16% adicional de combustible gastado.<sup>1</sup>
- ↪ Recalentamiento de los tubos, con el consiguiente debilitamiento del material de los mismos.
- ↪ Recalentamiento excesivo causado por las incrustaciones puede inclusive originar explosiones en las calderas.

---

<sup>1</sup> CONAE (México) Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.



Cuando una solución de estas sales en el agua es sobresaturada, debido a un incremento en la concentración de ellas o al aumento de temperatura del agua, la precipitación de las sales ocurre y forma sedimentos que se adhieren en las superficies de calefacción, formando incrustaciones.

Un ablandador es un equipo de tratamiento de agua, el cual usa resinas de intercambio ciclo sodio, para eliminar los cationes que causan la dureza (calcio y magnesio).

Existen procedimientos para el control y prevención de las incrustaciones mediante el tratamiento con productos químicos del agua para calderas, sin embargo, el objetivo del presente capítulo será la selección de un equipo ablandador de acuerdo a la calidad del agua suministrada para el caldero existente en la Universidad.

Dicha selección se realizará tomando en cuenta nuestras necesidades de estudio, datos técnicos del caldero y principalmente la dureza del agua de aporte actual al caldero.

### **3.1.1. Características de algunos tipos de tratamientos**

El tratamiento del agua de repuesto varía según las necesidades de cada instalación en particular y se pueden utilizar varios procesos para mejorar su calidad, entre los que se incluyen:

- ↪ Ablandamiento mediante cal y bicarbonato de sodio.
- ↪ Intercambio de iones (general).
- ↪ Intercambio de iones de sodio.
- ↪ Intercambio de iones de hidrógeno.
- ↪ Deionización.
- ↪ Dealcalinización.
- ↪ Destilación.
- ↪ Ósmosis inversa.

- ↪ Electrodialisis.
- ↪ Nanofiltración

El agua de repuesto se combina con el condensado del vapor que regresa del sistema de distribución, llamado retorno de condensado, para formar el agua de alimentación a la caldera. Como se ve existen varios procesos para corregir las características indeseables del agua suministrada, entre ellas eliminar la dureza.

Algunos son simples, baratos de aplicar y requieren poca atención, en cambio otros requieren equipo costoso y productos químicos que requieren alto grado de habilidad en la operación. Así tenemos por ejemplo instalación de desaireadores, suavización por calentamiento o tratamiento químico en reactores, destilación, cambiadores de iones, tratamientos con zeolitas, osmosis inversa, resinas y purgadores son los procesos usuales.

Dependiendo de las características del agua de repuesto se usan uno o algunos de los procesos enumerados, en secuencia adecuada. La dureza del calcio puede reducirse hasta un nivel de 35 mg/l como  $\text{CaCO}_3$  mediante el ablandamiento en frío con cal-soda, y hasta menos de 25 mg/l mediante el mismo ablandamiento en caliente.

Sin embargo se puede reducir a menos de 1 mg/l mediante los métodos de intercambio catiónico.

### **3.1.2. Datos técnicos del caldero**

Entre los diversos datos técnicos que posee una caldera hay que considerar principalmente el caudal y el tiempo de funcionamiento del equipo; ya de que de estos dos factores depende el grado en que las impurezas afectaran a la caldera, en la tabla 3.1 se especifica los datos más importantes del caldero de la UTE.

**Tabla 3.1**  
**Datos técnicos del caldero**

Parámetro	Valor
Tipo	Pirotubular
Potencia	5 BHP.
Caudal	21,25 gal/h.
Horas de funcionamiento	8 h.
Presión de operación	120 PSI.
Capacidad del tanque de condensado	15 gal.
Frecuencia de llenado del tanque de condensado	0,5 h.

**Fuente:** Diseño y construcción de un caldero pirotubular de 5 BHP controlado mediante un sistema SCADA, UTE Santo Domingo 2010. Diego Ortega; Henry Valarezo.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 3.1.3. Análisis químico del agua de aporte

Al realizar un análisis químico a una muestra del agua potable a la salida de la planta existente en la Universidad (planta para eliminar sólidos suspendidos) que es utilizada como agua de aporte para el caldero, se obtuvo como resultado los datos que se muestran en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2**  
**Datos técnicos del agua**

Parámetro	Valor (ppm)	Límites (ppm)
Dureza total	98	$\leq 0.3$
pH	6,47	$\geq 7$
Sólidos totales	80	$< 300$
Sílice	78	$< 150$
Alcalinidad total	150	$< 350$
Cloro	0.0	$< 50$

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Se observa que la dureza total por  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio o calcita) de la muestra tomada es de 98 ppm (mg/l) que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es establecida en la escala de clasificación como agua moderadamente dura ver tabla 2.1.

### 3.1.4. Análisis de puntos críticos

Para poder definir el tratamiento de agua adecuado para nuestro caldero debemos analizar los puntos críticos que afectarían al mismo, comparando los datos obtenidos en el análisis del agua de aporte con los parámetros límites de la tabla 3.3 (condiciones límites de agua de aporte a calderas), dichos límites varían dependiendo de la presión de trabajo de la caldera. Para poder utilizar esta tabla el único factor que necesitamos conocer es la presión del domo de vapor de la máquina que para nuestro caso será de 120 PSI. Entonces consideremos que  $120 \text{ PSI} = 8,44 \text{ kg/cm}^2$  (presión de trabajo del caldero), con este dato podemos definir los valores límites del agua de aporte de la caldera.

**Tabla 3.3**  
**Límites de contenido de elementos en agua de alimentación**  
**Condiciones límites de agua de aporte a calderas (alimentación)**

Presión en domo vapor ( $\text{kg/cm}^2$ )	Dureza total (ppm $\text{CaCO}_3$ )	Sílice (ppm $\text{CaCO}_3$ )	Alcalinidad total (ppm $\text{CaCO}_3$ )	Total sólidos disueltos (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	pH
0-20	0,300	150	350	3500	300	neutro-básico
21-30	0,300	90	300	3000	250	neutro-básico
31-42	0,200	40	250	2500	150	básico
43-52	0,200	30	200	200	100	básico
53-63	0,100	20	150	1500	60	básico
64-70	0,050	8	100	1250	40	básico
71-105	ND	2	NS	1000	20	básico
106-40	ND	1	NS	750	10	básico

**Fuente:** (ASME, Comité de investigación)

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Comparando las tablas 3.2 y 3.3 podemos observar y confirmar que para la presión de nuestro caldero el punto crítico a tratar es la dureza del agua, sin duda alguna, ya que el resto de concentraciones están dentro del rango admisible. Un pH ácido puede ocasionar corrosión en las calderas. Se puede observar que el pH también está levemente bajo, es decir el agua de aporte posee un pH de 6,47 considerado como ácido, sin embargo no se lo considerara como punto crítico.

### **3.2. Diseño del Filtro Desmineralizador**

Con los datos recolectados y los resultados del examen químico del agua de aporte al caldero, el sistema de desmineralización idóneo para eliminar la dureza del agua de aporte es el Intercambio Iónico por las siguientes razones:

- ↪ Es el sistema con mejores prestaciones de desmineralización de  $\text{CaCO}_3$  (ver Anexo L)
- ↪ El agua a desmineralizar o ablandar es moderadamente dura (ver Anexo K-1).
- ↪ Existe en el mercado y es accesible.
- ↪ Es el sistema mayormente utilizado industrialmente para estos fines.
- ↪ Su manejo y funcionamiento no es demasiado complejo.
- ↪ No presenta mayores inconvenientes operarios y/o costos en su mantenimiento.

Recordemos que el intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales.

#### **3.2.1. Selección de la resina de Intercambio Iónico**

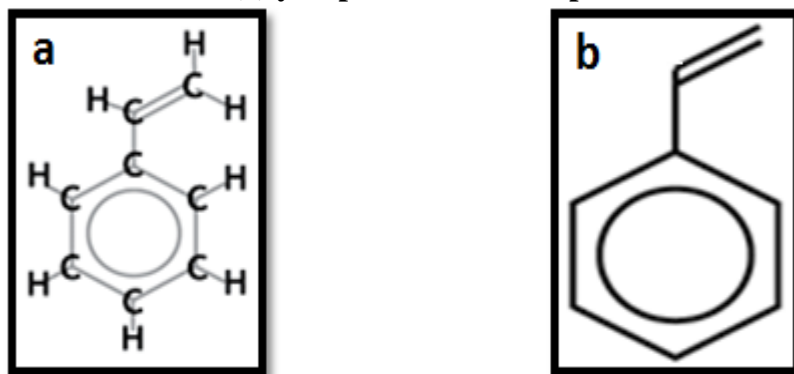
Como sabemos el mejor método de desmineralización actualmente y el que elegimos para nuestro ablandador es el Intercambio Iónico (proceso químico). Para efectuar el

mismo dependiendo de qué elementos se requiera eliminar del agua a tratar se tiene varios tipos de resinas de intercambio iónico que ofrecen distintos tipos de eliminación de minerales.

Todas estas resinas tienen algo en común su estructura, a continuación para posibilitar una mejor comprensión y por lo tanto adquirir el conocimiento necesario para elegir nuestra resina, se realiza una explicación de la estructura química de la matriz de resina de intercambio iónico y de los grupos funcionales de las mismas.

En sí las resinas de intercambio iónico son polímeros sobre la cual están unidos los grupos funcionales. Aproximadamente el 90% de todas las resinas de intercambio iónico se basan en una matriz de poliestireno. El "bloque de construcción" que se utiliza para hacer de este esqueleto de plástico es el monómero de estireno, un compuesto aromático también llamado vinilbenceno. En la figura 3.1.a y b se presentan la estructura y representación química del estireno respectivamente.

**Figura 3.1**  
**Estructura del estireno (a) y Representación simplificada del estireno (b)**

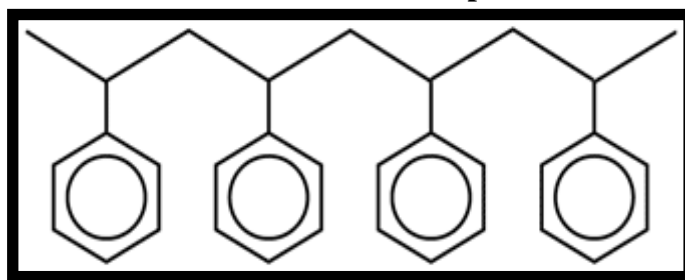


**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

El enlace doble vinilo de esta molécula permite la polimerización. La figura 3.2 muestra el estireno polimerizado, aunque sólo con cuatro grupos de estireno visibles. En realidad, millones de grupos están unidos de cadenas muy largas.

**Figura 3.2**  
**Fracción de una cadena de poliestireno**

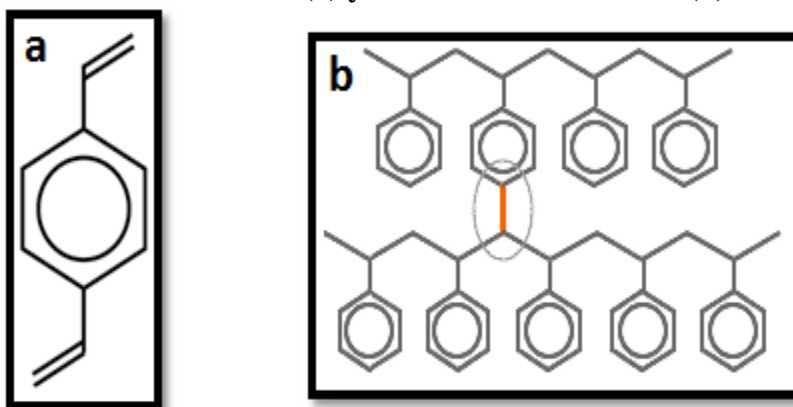


**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Las cadenas poliméricas lineales resultantes se enredan juntos, pero tienen poca fuerza física, son relativamente suaves, y después de la activación probablemente se disuelvan en agua. Para dar al polímero una mayor estabilidad estructural tridimensional, las cadenas de poliestireno se reticulan con otra molécula en el momento de la polimerización. La molécula de reticulación debe ser capaz de polimerizar en dos o tres extremos. El más común reticulador es divinilbenceno (abreviado como DVB).

**Figura 3.3**  
**Divinilbenceno (a) y Poliestireno reticulado (b)**



**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

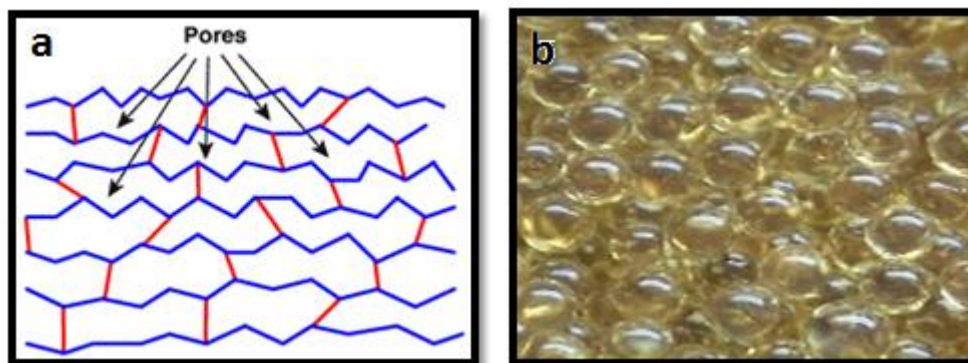
El segundo enlace de la molécula de DVB se muestra en rojo y se une a la siguiente cadena de poliestireno lineal. Más DVB se añade a la mezcla de reacción inicial, dando origen a algo más rígido, el polímero (conjunto de moléculas).

Se polimerizan más resinas de intercambio iónico de tal manera que se obtienen perlas esféricas. Esto puede ocurrir ya sea en un reactor agitado o con un proceso de inyección. En este último caso, el tamaño de las perlas es muy uniforme. En el proceso de polimerización que se ha descrito anteriormente, el agente de reticulación es más o menos uniformemente distribuido por toda la matriz. Los espacios vacíos entre las cadenas de poliestireno son llamados poros.

Ellos son muy pequeños, sin embargo el tamaño es relativamente constante: la matriz tiene una estructura pseudo-cristalina, similar al vidrio, y como resultado las perlas de resina intercambio iónico son transparentes.

En la figura 3.4.a, las cadenas de poliestireno se muestran en azul sin los detalles químicos aromáticos, y los "puentes" formados por DVB se muestran en rojo.

**Figura 3.4**  
**Estructura del gel (a) y Forma físico del gel (b)**



**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

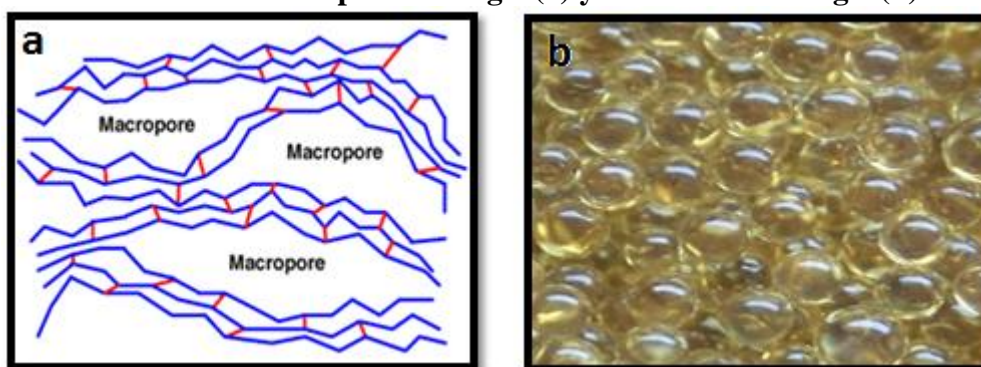
Existe un límite a la cantidad de DVB que puede ser utilizado en resinas de tipo gel; demasiado DVB crea una estructura con poros muy pequeños, y en el producto final puede ser una desventaja, ya que grandes iones no podrán entrar en las perlas de resina. Además, polímeros reticulados altamente son más difíciles de activar. Para superar este problema se crea una porosidad artificial en la matriz tridimensional. Para este efecto,



un tercer componente llamado porógeno o extendedor de fase se incorpora en la mezcla de reacción, que no reacciona con los monómeros, pero si tiene lugar en el sistema.

Una vez que la reacción de polimerización se termina, el porógeno se lava y deja huecos en la estructura del polímero. Estos son los macroporos. Las resinas macroporosas tienen una doble porosidad: los pequeños poros de la propia matriz y los macroporos grandes creadas por el extensor de fase. Las resinas finales son más opacas como se aprecia en la figura 3.5.b. Como la matriz es generalmente altamente reticulada las perlas son muy estables y porosas, por lo tanto pueden intercambiar iones grandes.

**Figura 3.5**  
**Estructura macroporosa del gel (a) y Forma física del gel (b)**



**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Finalmente se tiene el esqueleto o cuerpo de la resina, pero este polímero aún debe ser activado para convertir las perlas de plástico en resinas de intercambio iónico. Esta activación se la hace con diferentes elementos dependiendo la aplicación que se le vaya a dar a cada resina, es decir si se requiere eliminar un determinado ion se debe activar químicamente el polímero con determinado compuesto. De estas diferentes activaciones se derivan los tipos o grupos funcionales de resinas de intercambio iónico, que son:

- ↪ Resinas de intercambio catiónico fuertemente ácida (SAC)  
Strongly Acidic Cation Exchange Resins
- ↪ Resinas de intercambio catiónico débilmente ácida (WAC)

#### Weakly Acidic Cation Exchange Resins

- ↪ Resinas de intercambio aniónico fuertemente básicas (SBA)

#### Strongly Basic Anion Exchange Resins

- ↪ Resinas de intercambio aniónico débilmente básicas (AMB)

#### Weakly Basic Anion Exchange Resins

- ↪ Resinas Quelantes o Selectivas

Son dos los datos que se necesita para la selección y dimensionamiento de la resina, uno es el tipo o grupo funcional de la resina y este se determina de acuerdo a la selectividad de desmineralización lo mismo que es decir, ¿qué minerales queremos eliminar del agua?, el otro requerimiento es el volumen o peso de la resina requerida para nuestra aplicación el cual está relacionado con la capacidad de cambio del intercambiador y la dureza del agua a tratar.

Como se desea eliminar la dureza del agua, es decir se necesita eliminar o remover los iones positivos (cationes) de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ), se requiere una resina de intercambio catiónico por lo que resinas de intercambio aniónico y selectivas (quelantes) quedan fuera de nuestras alternativas.

Por lo que a continuación debemos analizar las ventajas y desventajas que poseen las resinas de intercambio catiónico de ácido débil y ácido fuerte, WAC y SAC respectivamente.

#### **Resinas ácidas fuertes:**

- ↪ Esqueleto sólido: Poliestireno entrecruzado con divinilbenceno (DVB).
- ↪ Resinas Comerciales con 2-12% DVB.
- ↪ Matriz polimérica retiene los grupos funcionales negativos (carga fija) e intercambia cationes.

- ↪ Grupo funcional más característico resinas ácido fuerte es el grupo benceno-sulfónico.
- ↪ Operan a cualquier pH.
- ↪ Son las preferidas para suavización y es la primera unidad en un desmineralizador de dos lechos.
- ↪ Necesitan una gran cantidad de regenerante.

### **Resinas ácidas débiles:**

- ↪ Esqueleto sólido: Copolímeros de DVB y Ac. Acrílico o metacrilato.
- ↪ Tienen grupos carboxílicos como los sitios de intercambio.
- ↪ Son altamente eficientes en su regeneración.
- ↪ Son sometidas a una capacidad reducida de un incremento en el flujo volumétrico, bajas temperaturas y una relación de dureza a alcalinidad por debajo de uno.
- ↪ Parcialmente ionizadas (menor capacidad de cambio).
- ↪ No se pueden utilizar a pH bajos.
- ↪ La resina de ácido débil es regenerada con el ácido de desecho de la unidad de ácido fuerte.

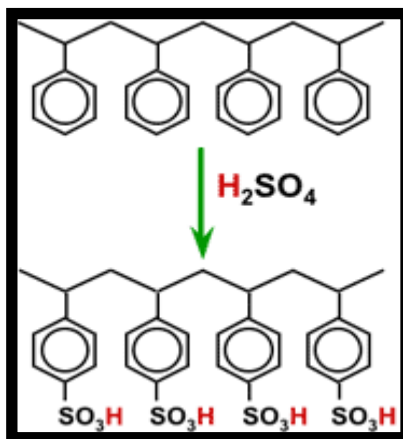
Podemos observar que la resina idónea para nuestro ablandador de agua es entonces la resina de intercambio catiónico de ácido fuerte (suministrada en forma iónica de sodio) a pesar de requerir gran cantidad de regenerante este se compensa en costo por el ciclo sodio (la sal industrial tiene disponibilidad y costo muy accesible en nuestro mercado).

### **3.2.2. Resina de intercambio catiónico fuertemente ácida**

La activación de este tipo de resina es químicamente sencillo: se trata de una reacción de sulfonación. Las perlas de poliestireno se ponen en contacto a alta temperatura con

ácido sulfúrico concentrado. El producto es un poliestirenosulfonato, que es un ácido fuerte.

**Figura 3.6**  
**Sulfonación**



**Fuente:** <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Esta reacción produce la resina en forma de hidrógeno. Si el producto es para ser utilizado como una resina de ablandamiento, se debe convertir en un paso adicional para la forma de sodio. Esto puede hacerse con carbonato de sodio, por ejemplo.

Como se lo explico anteriormente lo que se necesita para descalcificar el agua para nuestra aplicación es un proceso de intercambio iónico para lo cual requerimos de una resina catiónica de ácido fuerte. Existen un sin número de fabricantes de resinas catiónicas de ácido fuerte en el mercado que se pueden utilizar en filtros ablandadores sin embargo el fabricante y proveedor número uno a nivel mundial de resinas para intercambio iónico actualmente es sin duda PUROLITE®.

En su larga lista de productos existen las resinas tipo C (resinas catiónicas de ácido fuerte), espléndidas para ablandamiento de agua. Esta familia de resinas se encuentra dividida según grados que distinguen parámetros y/o aspectos como la granulometría, grupo funcional, rendimiento, etc., que en si ayudan a determinar la resina idónea para

cada aplicación. En la tabla 3.4 se muestran las alternativas en resinas catiónica de ácido fuerte en la forma iónica sodio.

**Tabla 3.4**  
**Tipos de resinas Catiónicas de Ácido Fuerte**

Nombre	Tipo	Forma Iónica	Capacidad, eq/l	Observaciones
<b>Purolite C-100</b>	Catiónica Fuerte	Na+	2.0	Estándar de tipo gel. Resina con elevada capacidad para ablandadores y desmineralizadores.
<b>Purolite C-150</b>	Catiónica Fuerte	Na+	1.8	Tipo Macroporoso con una excelente resistencia a la atrición y al choque osmótico. Para el tratamiento de residuos industriales. Proporciona una resistencia excelente a la oxidación.
<b>Purolite SST-60</b>	Catiónica Fuerte	Na+	1.7	Permite ablandar agua reduciendo el consumo de regenerante, obteniéndose una buena calidad de agua. Puede ser utilizada hasta con 10 ppm de Hierro disuelto

**Fuente:** Purolite.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Se selecciona la Resina C100 tipo gel (la forma ideal para utilización en filtros como lecho), por su alta capacidad de intercambio y accesibilidad en el mercado local. Sus principales propiedades se muestran en la tabla 3.5.

Purolite C100 se suministra en forma de sodio y se utiliza con regeneración en contra corriente principalmente en ablandamiento industrial pudiendo ser regenerada con ácidos minerales (ácidos clorhídrico o sulfúrico) o soluciones salinas.

Esta resina tipo gel ha sido optimizado para dar una alta capacidad de trabajo y posee buen rendimiento cinético en una amplia gama de condiciones de funcionamiento al tiempo que ofrece excelente estabilidad química y física.

### Características básicas:

- ↪ Aplicación: Ablandamiento y desmineralización
- ↪ Estructura del polímero: Gel de poliestireno reticulado con DVB.
- ↪ Apariencia: Ámbar, claras perlas esféricas.
- ↪ Grupo funcional: Ácido sulfónico.
- ↪ Forma iónica como se envía: Na +

**Tabla 3.5**  
**Propiedades de la Resina C100**

Purolite® C100	
<b>Capacidad total</b>	2,0 eq/l (43,7 Kgr/m <sup>3</sup> ) (forma Na <sup>+</sup> )
<b>Retención de humedad</b>	44 a 48% (forma Na <sup>+</sup> )
<b>Rango de tamaños de partículas</b>	300 - 1200 µm
<b>&lt;300 µm (máx.)</b>	1%
<b>Coefficiente de Uniformidad (máx.)</b>	1.7
<b>Inflamación reversible, Na<sup>+</sup> → H<sup>+</sup> (máx.)</b>	8%
<b>Peso específico</b>	1,29 (forma Na <sup>+</sup> )
<b>Peso (aprox.)</b>	800 a 840 g/l (49,9 a 52,4 kg/m <sup>3</sup> )

**Fuente:** Purolite.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Más especificaciones y características de esta resina se muestran en el Anexo A.

### 3.2.3. Dimensionamiento de la resina

Se debe considerar dos parámetros fundamentales que son la capacidad de retirar la dureza del agua y el sistema de control para realizar el proceso de regeneración. En cuanto a la capacidad del retiro de la dureza, entre las regeneraciones, esta depende dos factores fundamentales, el primero es la cantidad de agua requerida diariamente para producir el vapor en las calderas, además de la dureza del agua utilizada.

Los ablandadores con capacidades pequeñas de intercambio iónico deben regenerar más a menudo porque se saturan con iones de calcio y magnesio más rápido. Para determinar la necesidad diaria de eliminación de la dureza, se debe multiplicar la cantidad de agua requerida diariamente por la caldera (medida en galones) por la dureza del agua utilizada (medida en granos por galón).

Con estos resultados se puede seleccionar el ablandador catiónico, de acuerdo a los catálogos presentados por cualquier proveedor. Este cálculo se lo realiza en base a los siguientes datos conocidos:

↵ <b>Dureza:</b>	98 ppm.
↵ <b>Factor de conversión 1 ppm:</b>	0.058 Granos por galón.
↵ <b>Horas diarias de operación:</b>	16 horas (máximo).
↵ <b>Caudal requerido:</b>	3 GPM.

Considerando que no existe retomo de condensado, de haberlo, se debería restar el volumen de condensado de recirculación del volumen diario de consumo (ya que el condensado no debe ser tratado nuevamente), entonces: Como primer paso hay que determinar el consumo diario de agua de la caldera para eso usaremos la ecuación 3.1. El consumo de agua diario está en función del caudal y las horas diarias de funcionamiento de la caldera.

$$GPD = Q \times Ho. \text{ [gal/día]} \quad (3.1)$$

**Dónde:**

<b>GPD:</b>	Galones por día.
<b>Q:</b>	Caudal en GPH.
<b>Ho:</b>	Horas de operación diarias de la caldera.

Una vez determinado el consumo diario de agua en galones se procede a determinar los granos de dureza totales a remover por galón (GPG) este valor indica cuantos granos de dureza se encuentra presentes en cada galón de agua consumido por la caldera.

$$GPG = (CaCO_3 \times Fc) \text{ [granos por galón]} \quad (3.2)$$

**Dónde:**

- GPG:** Granos de dureza por galón.  
**CaCO<sub>3</sub>:** Dureza en ppm.  
**Fc:** Factor de conversión 0.058 en granos /ppm×galón

El valor del factor de conversión es constante el cual representa la equivalencia que existe entre la presencia de iones de calcio y magnesio en el agua y su valor expresado en granos de dureza.

Combinando las ecuaciones (3.1) y (3.2) se obtiene la ecuación 3.3 la cual establece cuantos granos de dureza en total serán necesarios eliminar diariamente.

$$GTD = GPD \times GPG \text{ [granos totales de dureza]} \quad (3.3)$$

**Dónde:**

- GTD:** Granos totales de dureza por día.  
**GPD:** Galones por día.  
**GPG:** Granos de dureza por galón.



Reemplazando valores obtenemos los granos totales de dureza por día que ingresan a la caldera.

$$\left( \frac{3 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \times 16 \text{ h} \right) \times \left( 98 \text{ ppm} \times \frac{0.058 \text{ granos}}{\text{ppm} \times \text{galón}} \right) = 16369,92 \text{ granos}$$

Debido a la natural importancia de obtener agua totalmente blanda como alimentación a la caldera, debemos considerar un margen de error en la selección del ablandador estimado en un 15 %, entonces:

$$16369,92 \times 1,15 = 18825,40 \text{ granos} \cong 19000 \text{ granos}$$

Es decir la capacidad de remoción requerida de granos totales de dureza diaria de nuestro ablandador debe ser de aproximadamente 19000 granos. Ahora la resina de intercambio catiónico Purolite C100, seleccionada con anterioridad es proporcionada en la cantidad mínima de 1 pie<sup>3</sup> (volumen mínimo estándar) por lo en el siguiente cálculo se analizará si este volumen es suficiente para nuestros requerimientos. La capacidad de intercambio de la resina Purolite C100 es de 2.0 Eq/L (ver tabla 3.4) y como: 0,0458 Equivalentes por litro (Eq/L) = 1 kilogramo de CaCO<sub>3</sub> por pie cúbico (Kg/pie<sup>3</sup>) (Ver tabla de conversión de concentraciones, Anexo B)

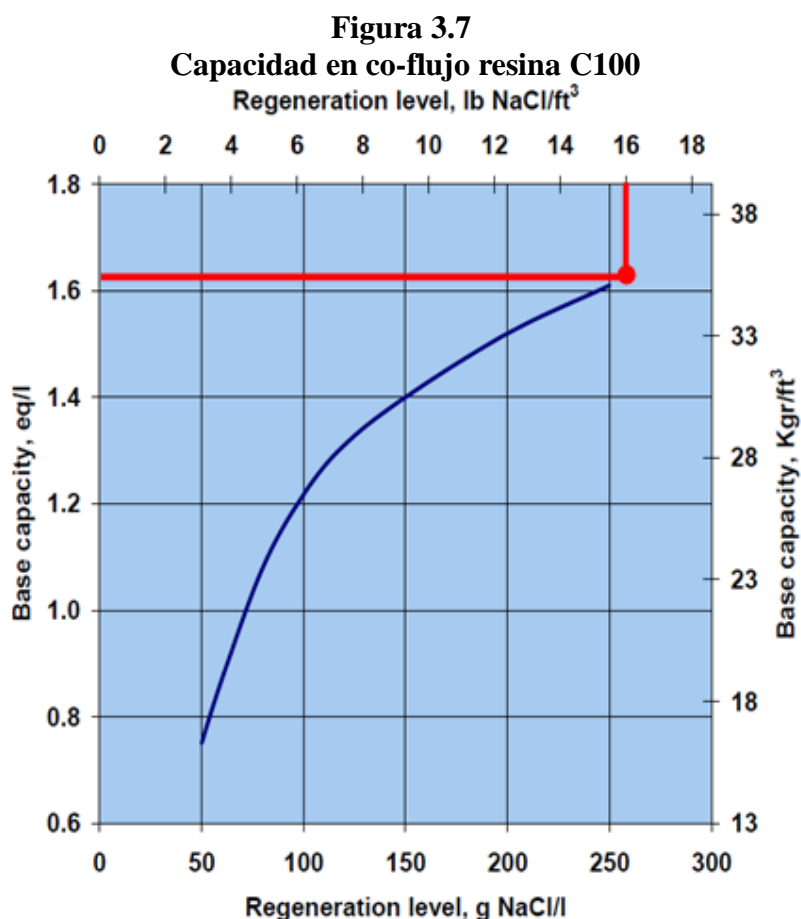
$$2,0 \text{ Eq/L} \times \frac{1000 \text{ gr/pie}^3}{0,0458 \text{ Eq/L}} = 43668,12 \text{ granos/pie}^3$$

Si cada 1 pie<sup>3</sup> de resina puede tratar 43668,12 granos de dureza idealmente y nuestra aplicación debe tratar 19000 granos por día, ese volumen de resina es más que suficiente para satisfacer nuestros requerimientos. Sin embargo se debe realizar un análisis más profundo ya que existe una diferencia entre la capacidad marcada y la capacidad útil de la resina, además el rendimiento de la resina puede variar por distintos factores entre los principales la regeneración. Para determinar la capacidad útil de la

resina y la frecuencia de la regeneración se realizara el siguiente análisis según las propiedades y factores de corrección de la resina C100.

### 3.2.4. Capacidad base con regeneración en co-flujo de la resina C100

Existen dos formas de regenerar la columna de intercambio iónico en co-flujo (co-flow) o en contraflujo (counter-flow), para nuestra aplicación usaremos la regeneración en co-flujo por lo que se debe realizar el análisis con las gráficas “co-flow regeneration”. Según la hoja técnica de la resina C100 se puede proporcionar de 5 - 10 libras de sal por  $\text{pie}^3$  de resina por cada regeneración y la resina trabajara óptimamente, aunque se han empleado desde 3  $\text{lb}/\text{pie}^3$  y 16  $\text{lb}/\text{pie}^3$  dando buenos resultados.



**Fuente:** Purolite.

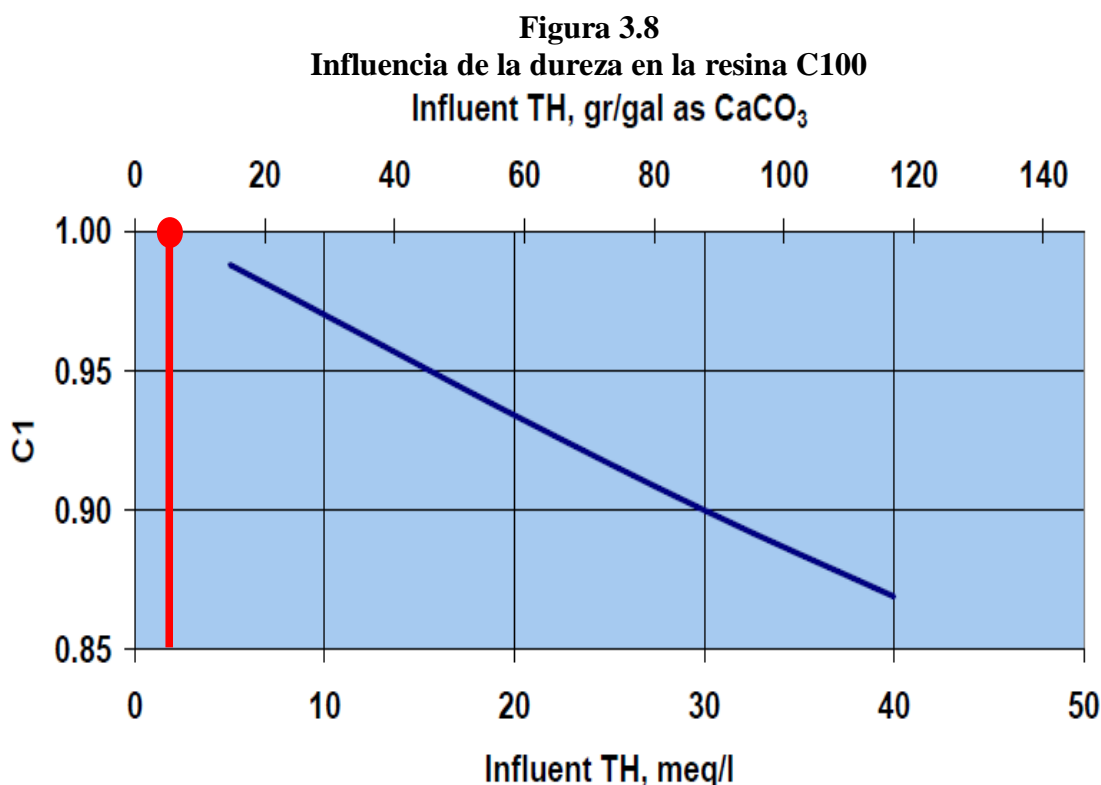
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Como se puede observar la capacidad de la resina cambia conforme la cantidad de regenerante (sal) por cada pie<sup>3</sup>, y el rango útil en verdad se encuentra entre 0,8 a 1,6 Eq/L.

Con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de la resina se utilizara 16 libras de sal por cada regeneración lo que la capacidad base de la resina se ubica en 1,6 Eq/L.

Pero aún esta capacidad puede ser cambiada por otras condiciones de operación por lo que se debe definirla por medio de 4 factores de corrección, C1, C2, C3 y C4 que a continuación se presentan.

↪ **Factor de corrección 1: Influencia de la dureza total (th)**



**Fuente:** Purolite.

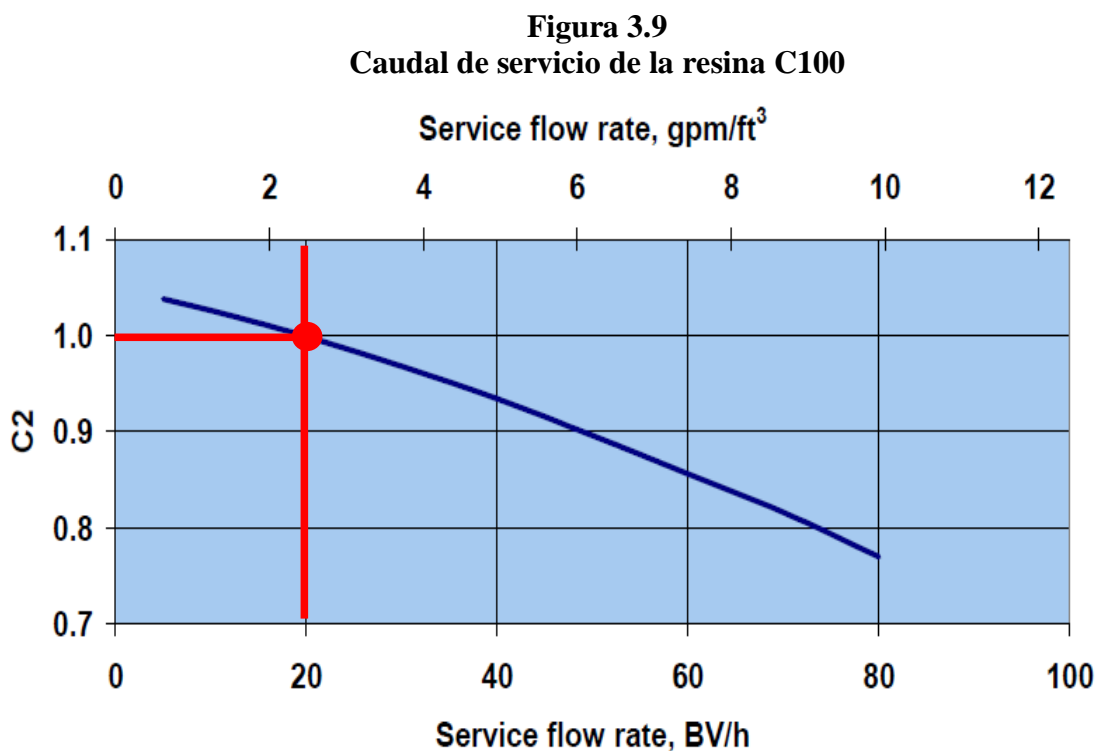
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

A dureza total del agua de aporte según el examen es de 98 ppm entonces: (Ver tabla de conversión de concentraciones, Anexo B)

$$98 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ mEq/L}}{50 \text{ ppm}} = 1,96 \text{ mEq/L}$$

Observando la figura 3.8 podemos establecer que la influencia de la dureza total o lo que es lo mismo el factor de corrección C1 para la dureza de 98 ppm es igual a 1.

↪ **Factor de corrección 2: Caudal de servicio (serviceflowrate).**

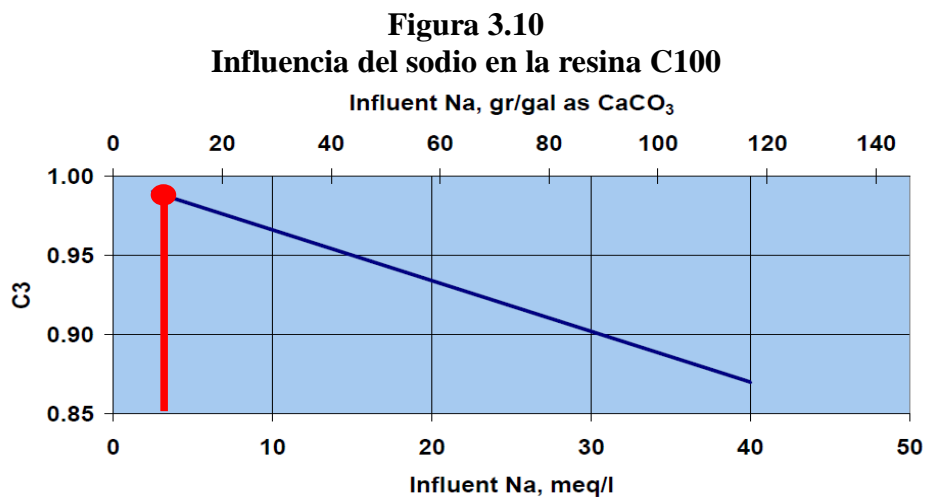


**Fuente:** Purolite.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

El caudal del sistema es de 3 gpm y el volumen de resina es de 1 pie<sup>3</sup>, entonces el valor a el factor de corrección C2 es igual a 0.99 aproximadamente (C2 = 1).

↪ **Factor de corrección 3: Influencia por presencia de sodio (Na)**

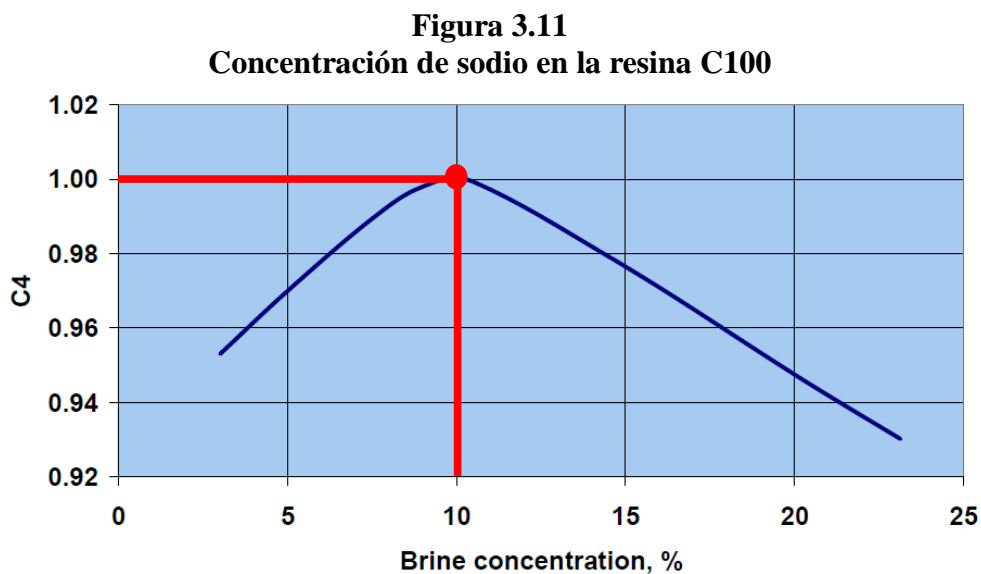


Fuente: Purolite.

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

En nuestro caso no existe influencia por el sodio por tal motivo se lo considera como cero trazando este valor en la figura 3.10 se obtiene que C<sub>3</sub> es igual a 1 (C<sub>3</sub>=1).

↪ **Factor de corrección 4: Concentración de salmuera (brineconcentration)**



Fuente: Purolite.

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Por recomendaciones técnicas de Purolite esta resina debe ser regenerada con salmuera a una concentración del 10%, porque se obtiene de esta manera su mayor rendimiento, entonces el factor de corrección número cuatro es  $C4 = 1$ . Ya definidos los cuatro factores de concentración la capacidad de intercambio iónico real útil de la resina C100 se define por:

$$Cr = C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times Cb$$

Donde C1, C2, C3, C.4 son los valores de las correcciones y Cb es la capacidad de Intercambio Base de la Resina (Eq/L).Entonces:

$$Cr = C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times Cb$$

$$Cr = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,6 \text{ Eq/L}$$

$$Cr = 1,6 \text{ Eq/L}$$

Por lo tanto la capacidad de intercambio iónico real útil (Cr) de la resina Purolite C100 es:

$$1,6 \text{ Eq/L} \times \frac{1000 \text{ gr/ pie}^3}{0,0458 \text{ Eq/L}} = 34934,49 \text{ granos/ pie}^3$$

Si cada 1  $\text{pie}^3$  de resina C100 puede tratar 34934,49 granos de dureza realmente y requerimos remover 19000 granos de dureza por día, entonces:

$$\frac{34934,49 \text{ granos/ pie}^3}{19000 \text{ granos/día}} = 1,83 \text{ día/ pie}^3 \approx 2 \text{ día/ pie}^3$$

En las condiciones de operación dadas (8 horas de funcionamiento diario) 1 pie<sup>3</sup> de resina C100 debería ser regenerada cada 2 días, con 16 libras de sal a una concentración del 10%. Sin embargo es sabido que el sistema no operara de forma continua con los datos proporcionados ya que el caldero del laboratorio es didáctico.

El sistema será entonces autónomo por lo que la frecuencia de regeneración será determinada automáticamente (ver automatización y diseño eléctrico del sistema, capítulo 3.9)

### **3.2.5. Disposición del filtro ablandador**

Como ya se dimensiono los volúmenes adecuados de la resina, a continuación se detalla la disposición de la misma en el tanque o también llamada “cama de filtración”. El flujo de salida de agua ablandada del filtro proviene del fondo del tanque hacia arriba después de haber pasado por el lecho de resina, por lo tanto se requiere de un tubo redondo en PVC de ¾” (tupo de aspiración). El mismo que ira conectado desde el cabezal (o árbol de válvulas) hasta el fondo del cilindro o tanque, ese tubo tendrá en su boca inferior un distribuidor o rejilla plástica con aberturas laterales de 0,5 mm, sin embargo las perlas de la resina podrían pasar fácilmente ya que como muestra la tabla 3.5 hay perlas de hasta menos de 300 µm (0,3 mm).

Por lo tanto se necesita de un material de granulometría mayor que sirva como una capa de sostén o contención para la resina de intercambio iónico, es decir la capa superior realiza la filtración (resina), mientras que la capa inferior provee el soporte necesario y asiste en la hidráulica inmiscuida en el ciclo de contralavado.

Para este fin se utilizará grava gris lavada (sin impurezas) de granulometría uniforme de entre 2 a 5 mm, en cantidad tal que cubra el distribuidor dejando una capa mínima de 8 a 15 cm sobre él(Ver plano 10.003).

### 3.3. Diseño del Filtro Rápido

Para asegurar el correcto funcionamiento de la resina de intercambio iónico, esta no debe ser perturbada por impurezas que pueda traer el agua a tratar la razón es simple estas impurezas pueden dañar la resina. Los sólidos disueltos, en suspensión y el cloro ataca a la resina catiónica por esta razón en general es necesario un pretratamiento de agua antes de entrar a la unidad de intercambio iónico para asegurar una larga vida útil de la resina. Los filtros rápidos se han utilizado por mucho tiempo con combinaciones de antracita, arena y grava. Sin embargo en la actualidad hay muchos otros productos con mejor capacidad de filtración, por lo que como medio filtrante para nuestro filtro rápido se utilizara la Zeolita filtrante de alto desempeño Turbidex™.

Turbidex™ es un medio filtrante (media) de zeolita granular de alta calidad. Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. La primera zeolita se describió en 1756, y actualmente se conocen unas cincuenta zeolitas naturales y más de ciento cincuenta se sintetizan para aplicaciones específicas. Se produce de un depósito mineral único y tiene una gran área superficial y porosidad. La estructura superficial de Turbidex™ la caracterizan resaltes o salientes minerales microscópicos, que permiten que las partículas penetren profundamente en el lecho. Estas propiedades hacen del mismo una media filtrante ideal.

**Tabla 3.6**  
**Turbidex™ vs Medias Convencionales**

Media Filtrante	Rango Nominal	Capacidad de Carga
Arena	20µ	1.0 X
Arena & Antracita	15 µ	1.4 X
Multimedia	12 µ	1.6 X
<b>Turbidex™</b>	<b>5 µ</b>	<b>2.8 X</b>

Fuente: Turbidex.

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2011



### 3.3.1. Ventajas de la Media Filtrante Turbidex™

Algunas de las ventajas sobre las medias tradicionales de filtración son:

- ↪ Baja caída de presión para un flujo dado.
- ↪ Alta capacidad de retención de sólidos.
- ↪ Mejor eficiencia de filtración.

### 3.3.2. Propiedades físicas de la resina Turbidex™

- ↪ Color: Ligeramente blanco
- ↪ Densidad por volumen: 55 lbs. /ft<sup>3</sup>
- ↪ Peso específico: 2.2 gm/cm<sup>3</sup>
- ↪ Coeficiente de uniformidad: 1.9

### 3.3.3. Beneficios de la Media Filtrante Turbidex™

**Tabla 3.7**  
**Beneficios de Turbidex™**

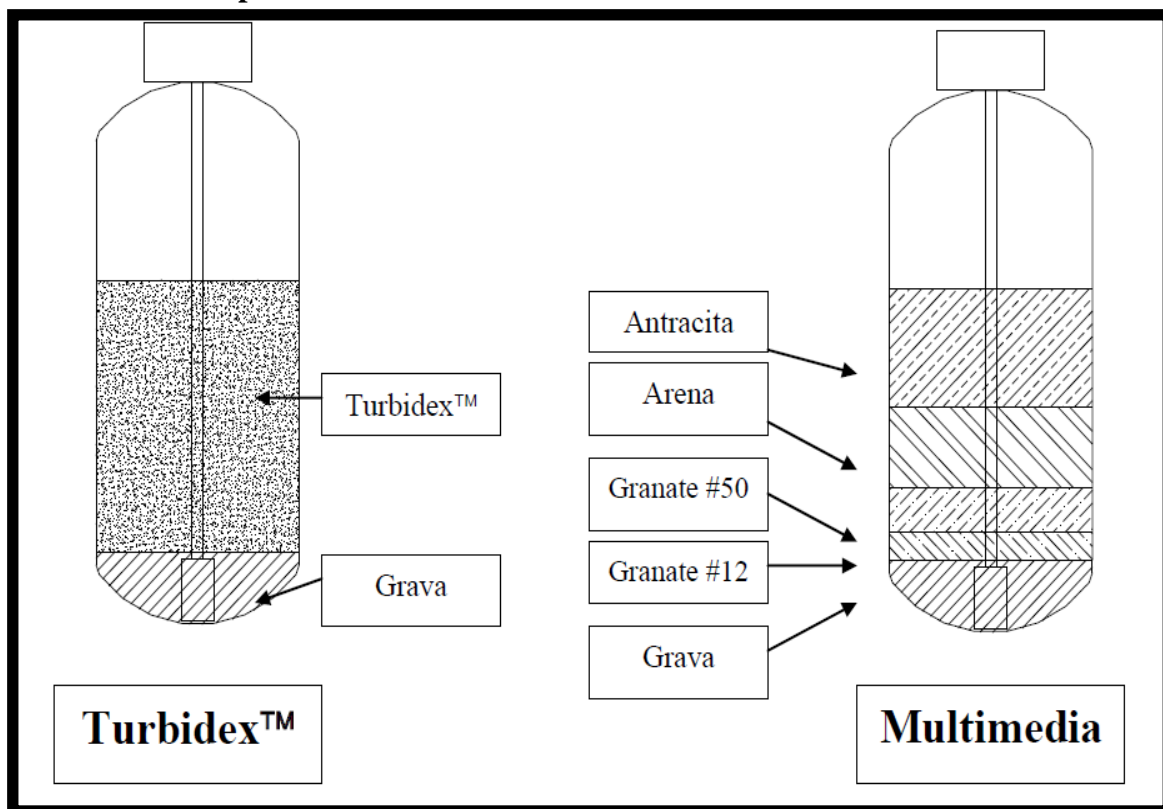
Características	Beneficios
Mayor capacidad de retención de sólidos	Reduce la frecuencia de retro-lavados y ahorra agua
Mayor eficiencia de filtración	Una filtración más fina, produce agua de mejor calidad y reduce las cargas en equipos corriente abajo
Peso ligero	Reduce los costos de transportación y hace más fácil su manejo
Baja pérdida (o caída) de presión	Permite flujos más altos

**Fuente:** Turbidex.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

Como se puede observar en la figura 3.11, la utilización de Turbidex™ como media filtrante es equivalente y hasta superior a las combinaciones tradicionales de los métodos de filtración.

**Figura 3.12**  
**Comparación de Turbidex™ contra métodos tradicionales**



**Fuente:** Turbidex.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2011

### 3.3.4. Dimensionamiento de la Media Filtrante Turbidex™

El volumen o cantidad necesario de la media filtrante Turbidex™ está relacionado con el diámetro del tanque a usar como depósito expresado en pulgadas y el caudal o flujo expresado en galones por minuto (GPM), estos valores se representan en una escala tabulada como información de cargas de la media filtrante Turbidex™.

Entonces para determinar el volumen de Turbidex™ necesaria para nuestro filtro rápido utilizaremos la tabla 3.8 (información de cargas), teniendo en cuenta los valores de flujo de servicio y el diámetro del tanque diseñado para el filtro rápido de nuestra aplicación.

**Tabla 3.8**  
**Información de cargas Turbidex™**

Diámetro de Tanque	Cantidad de Media T-FG-50-G	Flujo de servicio GPM	Flujo de retrolavado GPM
<b>9"</b>	<b>1 ft<sup>3</sup></b>	<b>5 - 9</b>	<b>5</b>
10"	1.5 ft <sup>3</sup>	7 - 10	7
12"	2 ft <sup>3</sup>	9 - 15	10
14"	3 ft <sup>3</sup>	13 - 21	15
16"	4 ft <sup>3</sup>	17 - 28	20
22"	6 ft <sup>3</sup>	30 - 50	35
24"	8 ft <sup>3</sup>	38 - 62	40
30"	10 ft <sup>3</sup>	59 - 98	60
36"	20 ft <sup>3</sup>	85 - 140	85

Fuente: Turbidex.

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

El cilindro diseñado para el filtro rápido tiene un diámetro de 210 mm aproximadamente 9" (228,6 mm) y el flujo de servicio de nuestro sistema es 3 GPM con un flujo de retrolavado máximo de 5 gpm, por lo que se elige el volumen de zeolita de 1 pie<sup>3</sup>, el mínimo estándar, esto se debe a que el caldero al ser del tipo didáctico esta diseñado a dimensiones muy pequeñas.

### 3.3.5. Disposición de la Media Filtrante Turbidex™

El filtro rápido tendrá similar constitución que el ablandador, una columna filtrante atravesada por un tubo de ¾" en PVC (ducto aspirador) por el cual fluya el agua filtrada. En el asiento del tubo habrá un distribuidor con rejillas de 0,5 mm por lo tanto al igual que en el filtro ablandador la media Turbidex™ necesita de grava gris como

cama sostén, en el plano 10.003 se muestra la disposición de Turbidex™ en el cilindro de polietileno reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

En la parte superior del tanque se ubicará el cabezal automático el cual comandara todas las operaciones que realiza el filtro rápido este se conectara con contenido del tanque mediante el tubo de  $\frac{3}{4}$ ".

### **3.4. Diseño mecánico del tanque del desmineralizador**

Todo recipiente para trabajo a presión debe ser diseñado para soportar las cargas y esfuerzos debidos esta fuerza, a más de prever ciertas variables externas como tal vez la corrosión, desgaste, humedad, fatiga, temperatura, etc., dependiendo por supuesto de su aplicación.

En nuestro caso el tanque estará sometido a presiones hidroneumáticas además debe ser resistente a altos niveles de temperatura porque estará ubicado cerca de una fuente generadora de calor como es un caladero.

#### **3.4.1. Selección del material de construcción del casco del tanque**

Por lo antes expuesto y con el objeto de encontrar el material adecuado de nuestro casco las variables a tomar son: presión y aplicación del sistema, esta última expresa el ambiente de uso del tanque, es decir, lugar donde estará y la manipulación que se le dará al recipiente.

Tomando en cuenta los siguientes factores:

- ↳ *Presión de trabajo:* La presión idónea de trabajo de la resina de intercambio del ablandador que está entre los 30 y 40 PSI (por referencias técnicas de fabricantes), y como podemos observar es una presión no muy alta.

↪ *Aplicación del sistema:* El sistema trabajará con agua a temperatura ambiente, y el lugar de la aplicación del desmineralizador no será la intemperie, deberá reposar junto al caldero del laboratorio de fluidos en su respectivo cuarto, sin embargo puede estar sometido a ambientes húmedos o con radiación ultravioleta, el equipo puede someterse a golpes o ralladuras, y hasta a exposición a sustancias químicas sin verse afectado.

Considerando los puntos mencionados para brindar seguridad de funcionamiento y asegurar una larga vida útil del casco del tanque se elige como modelo constitutivo un tanque de dos capas, la primera capa sería en POLIETILENO (plástico) la cual le daría la resistencia mecánica y estabilidad necesaria a nuestro desmineralizador.

La segunda capa será de fibra de vidrio, debido a las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la misma serviría como una lámina de refuerzo y protección, ya que la fibra de vidrio no se corroe, es ignífuga, termoresistente, no conductora, lo suficientemente resistente, relativamente barata y además es el material preferido por líderes mundiales en construcción de tanques para ablandadores.

#### **3.4.2. Cálculo del espesor requerido de la capa del casco de Polietileno**

El diseño mecánico de los recipientes a presión en esencia consiste en la determinación del espesor del material. Este es el principal factor a considerar para diseño de todo tanque que este sometido a presión.

Para obtener el espesor del tanque es necesario recurrir a una de las siguientes fórmulas tomadas del código ASME donde se especifica las ecuaciones para obtener el espesor del tanque y la presión de diseño de los mismos las cuales se detallan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 3.9**  
**Ecuaciones para recipientes a presión**

<b>Tipo de depósito</b>	<b>Espesor(t)</b>	<b>Presión de diseño(P)</b>
<b>Concha cilíndrica</b>	$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6P}$	$P = \frac{S \times E \times t}{R + 0,6t}$
<b>Concha esférica</b>	$t = \frac{P \times R}{2S \times E - 0,2P}$	$P = \frac{2S \times E \times t}{R + 0,2t}$
<b>Cabeza hemisférica</b>	$t = \frac{P \times L}{2S \times E - 0,2P}$	$P = \frac{2S \times E \times t}{L + 0,2t}$

**Fuente:** Código ASME.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Dónde:**

- t:** Espesor del recipiente, no incluye el sobre-espesor por corrosión.
- R:** Radio del recipiente (mismas unidades que t)
- P:** Presión de diseño del recipiente
- S:** Máximo esfuerzo permisible para el material (función de temperatura) (mismas unidades que P)
- E:** Eficiencia de la soldadura (adimensional, 0 - 1)
- L:** Radio interno de cabeza hemisférica (unidades de t)

Todos los datos que influyen estas ecuaciones son obtenidos de cálculos tablas de características de los elementos que utilizar para construir el tanque a excepción de la constante E.

La cual es una variable independiente. Los valores típicos de E dependen de dos factores: del tipo de soldadura y de la inspección realizada:

**Tabla 3.10**  
**Valores de E acorde al tipo de soldadura y grado de examen radiográfico**

Tipo de soldadura	Grado de examen radiográfico		
	100%	Puntual	No
Soldadura en "X"	1.00	0.85	0.70
Soldadura en "V" con fondo	0.90	0.80	0.65
Soldadura en "V" sin fondo	--	--	0.60

Fuente: Código ASME.

Elaborado por: Carlos Machuca/Daniel Segura.

Para poder establecer el espesor que tendrá el tanque se tomo como base del cálculo la ecuación para un casco cilíndrico, ya que para el desarrollo de nuestro proyecto utilizaremos tanques cilíndricos. Por tal motivo de la tabla 3.9 tomamos la ecuación del depósito con forma de concha cilíndrica y acoplamos la nomenclatura a nuestras necesidades y tal ecuación se expresa a continuación.

$$e_r = \frac{P \times R}{S_d \times E - 0,6P_d} \quad (3.4)$$

**Dónde:**

- e<sub>r</sub>:** Espesor requerido
- P<sub>d</sub>:** Presión de diseño
- R:** Radio interno del cilindro
- S<sub>d</sub>:** Esfuerzo máximo de diseño
- E:** Eficiencia de la junta

Para nuestro caso el valor de E es decir la eficiencia de la junta es 1 que corresponde a una junta radiografiada se considera este valor debido a que los tanques no tienen juntas soldadas ya que son de una forma continua. La Presión de diseño (P) es la máxima presión de trabajo permitida, (MAWP) que se calcula como el mayor de:

$$P = P_o (1 + 0,10) \text{ ó } P = P_o + 30 \text{ psi} = P_o + 2 \text{ atm}$$

Si el recipiente está protegido a la sobrepresión con discos de ruptura se calcula P como:

$$P = P_o (1 + 0,33)$$

Como se puede observar la presión de diseño es la presión de operación más un factor de seguridad, el cual se podría tomar como un 1.2 entonces:

$$P_d = 3P_o \tag{3.5}$$

**Dónde:**

**P<sub>d</sub>:** Presión de diseño.

**P<sub>o</sub>:** Presión de operación.

El esfuerzo máximo admisible (S) se obtiene a partir de esfuerzo de ruptura y está tabulado según cada material en relación a la temperatura. Como se mencionó anteriormente nuestro casco es de Polietileno (PE) como material constructivo. El dato del esfuerzo máximo permisible necesario para el cálculo del espesor de nuestro casco (a temperatura ambiental promedio del agua, 20 °C) para este tipo de plástico se detalla en la siguiente tabla (más propiedades del PE en el Anexo C):

**Tabla 3.11**  
**Propiedades mecánicas del PE**

<b>POLIETILENO</b>	
<b>Esfuerzo de fluencia en tensión</b>	MPa (PSI) – 20°C
	24 (3480,9)

**Fuente:** [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_polietileno.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_polietileno.html).

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



Como se observa para la ecuación 3.4 es necesario saber el radio interno del cilindro, el cual por motivos de diseño y referencias de tanques comerciales se estima en 105 mm.

La presión de operación ( $P_o$ ) del tanque será de 40 PSI, como se menciona anteriormente por ser la presión adecuada para el trabajo de la resina. Al reemplazar valores en la ecuación 3.5 se tiene que la presión de diseño ( $P_d$ ) es de:

$$P_d = 3P_o = 3(40 \text{ psi})$$

$$P_d = 120 \text{ psi}$$

Mediante la ecuación 3.4 se determinara el espesor del casco cilíndrico:

$$e_r = \frac{P \times R}{S_d \times E - 0,6P_d}$$

$$e_r = \frac{120 \text{ psi} \times 105 \text{ mm}}{(3480,9 \text{ psi} \times 1) - 0,6(120 \text{ psi})}$$

$$e_r = 3,7 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

Entonces un espesor de 4 mm de polietileno como capa de nuestro casco asegura la integridad del cilindro durante las operaciones de la aplicación.

### 3.4.3. Cálculo de la longitud óptima del casco de Polietileno

Para la construcción de un recipiente a presión, se determina la relación correcta entre su longitud y su diámetro, siguiendo el código ASME sección VIII. Para calcular la longitud del cilindro se aplica la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (3.6)$$

**Dónde:**

- L:** Longitud requerida del cilindro
- V:** Volumen del cilindro (pies<sup>3</sup>)
- d:** Diámetro interno del cilindro (pies)

Por cuestión de diseño se requiere que el volumen del cilindro sea aproximadamente 1,5 veces el volumen de la resina es decir 1,5 pies<sup>3</sup>, debido a los espacios que deberán ocupar la zeolita (0,25 pie<sup>3</sup>), la resina (1 pie<sup>3</sup>) y el colchón de aire (0,25 pie<sup>3</sup>), como se lo propone en el plano 10.002.02. Reemplazando valores en la ecuación 3 se obtiene que la longitud requerida aproximada del cilindro sea:

$$L = \frac{4V}{\pi d^2}$$

Como  $d = 2 (105 \text{ mm}) = 210 \text{ mm} = 0,689 \text{ pies}$

$$L = \frac{4(1,5 \text{ ft}^3)}{\pi(0,689 \text{ ft})^2}$$

$$L = 4,02 \text{ ft} = 1225 \text{ mm} \approx 1,23 \text{ m}$$

#### 3.4.4. Diseño de tapas del casco

Según el Código ASME en el diseño de recipientes a presión se tienen varios tipos de tapas que van desde las planas, torisféricas, elípticas, esféricas, cónicas entre otras. Su diferencia radica en el tipo de recipiente que se desee cubrir, la función del recipiente,

las condiciones de operación y fluidos a contener. Para nuestro diseño se elige una tapa torisférica ya que es perfecta para cubrir la presión de trabajo de nuestro casco (Ver tabla 3.12) y además se podrá ver después que el tanque de un ablandador necesita un fondo redondeado o abombado para la mejorar la succión del agua.

**Tabla 3.12**  
**Tipo de tapas, usos y descripciones**

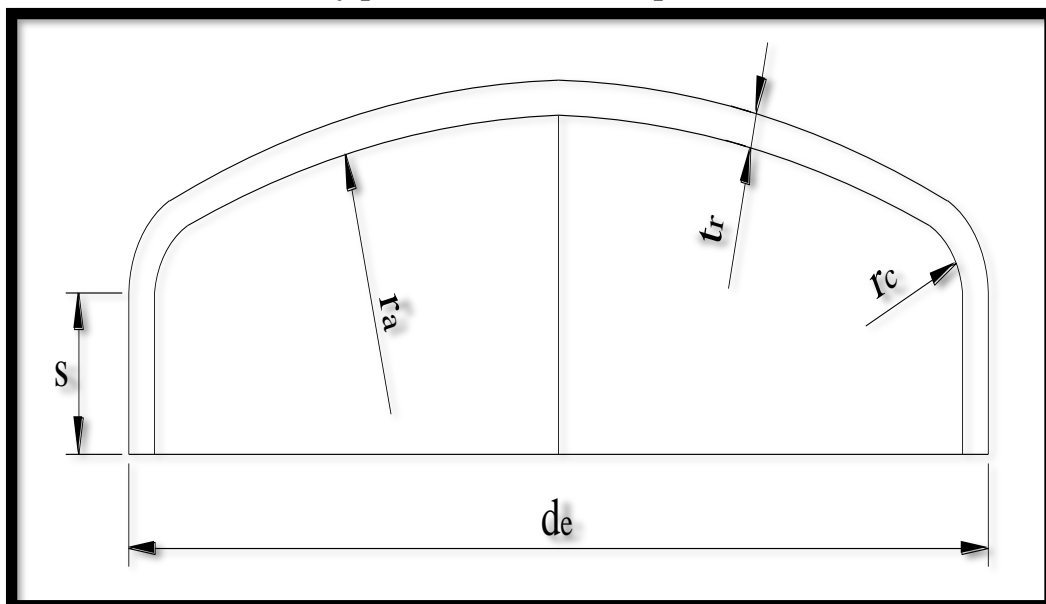
Tapa	Intervalo de presión	Dimensiones recomendadas	Tipo de recipientes	Usos	Observaciones
Plana	Muy bajas 10 psi	4 - 10 pies de diámetro	Horizontales atmosféricos	Almacenamiento de fluidos con densidad cercana a la del agua	Para recipientes de diámetros mayores, no conviene su uso, aún a presiones menores de 1 psi, el espesor es excesivo
Abombada fuera de código	Muy bajas 15 psi	De gran diámetro	Atmosféricos	Almacenamiento	Están fuera de código, por lo que no tienen protección en procedimientos y revisiones
Torisférica	15 - 200 psi	$r_c \geq 0,06$ de $r_c > 3$ $t_d r_a \leq d_e$	-----	Operación a presión interna	Económicas para ese intervalo de presiones. Se diseñan basándose en el espesor exterior del casco cilíndrico
Elíptica	150 - 600 psi	Sin limitaciones	-----	Operaciones a presiones elevadas	No es económica
Hemisférica	400 psi en adelante	Desde 12 - 94 plg de diámetro y espesores desde 3/8 - 3 1/2 plg	-----	Ideal para cierre de recipientes cilíndricos a presión	Alto costo de fabricación, pero menor que las elípticas

**Fuente:** Código ASME

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

En la figura 3.13 se muestra la forma y los parámetros para el diseño de una tapa torisférica.

**Figura 3.13**  
**Forma y parámetros de una tapa torisférica**



Fuente: Código ASME

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Dónde:**

- $r_a$ : Radio de abombado
- $r_c$ : Radio de curvatura
- $t_r$ : Espesor requerido
- $s$ : Longitud de ceja recta
- $d_e$ : Diámetro exterior de la tapa

El valor del radio de abombado ( $r_a$ ) debe cumplir la condición  $r_a \leq d_e$  para tapas torisféricas (Ver tabla 3.12) en este caso nuestro de  $210 \text{ mm} + 8 \text{ mm} = 218 \text{ mm}$ , ya que se suman el espesor del casco (ver figura 3.12). Por lo tanto daremos un radio de abombado de 218 mm. El radio de curvatura ( $r_c$ ) de la tapa torisférica se encuentra con la ecuación 3.7.

$$r_c = 6\% \times r_a \quad (3.7)$$

Reemplazando valores en la ecuación 3.7 se tiene que el radio de curvatura es:

$$r_c = 6\% \times r_a$$

$$r_c = 0,06 \times (218mm)$$

$$r_c = 13,08mm$$

Se determina la relación  $\frac{r_a}{r_c}$  para escoger la ecuación correcta para el cálculo del espesor requerido de la tapa, según el manual de recipientes a presión de las normas ASME sección VIII.

Si la relación  $\frac{r_a}{r_c} = 16 \frac{2}{3}$  se aplica la ecuación 3.8:

$$t_r = \frac{0,085P_d \times r_a}{S_d \times E - 0,1P_d} \quad (3.8)$$

**Dónde:**

- t<sub>r</sub>:** Espesor requerido de la tapa
- P<sub>d</sub>:** Presión interna de diseño
- r<sub>a</sub>:** Radio de abombado
- S<sub>d</sub>:** Esfuerzo máximo de diseño
- E:** Eficiencia de la junta

Si la relación  $\frac{r_a}{r_c} < 16\frac{2}{3}$  se aplica la ecuación obtendríamos una nueva ecuación 3.9:

$$t_r = \frac{P_d \times r_a \times M}{2S_d \times E - 0,2P_d} \quad (3.9)$$

**Dónde:**

- t<sub>r</sub>:** Espesor requerido de la tapa
- P<sub>d</sub>:** Presión interna de diseño
- r<sub>a</sub>:** Radio de abombado
- M:** Relación entre ra y rc
- S<sub>d</sub>:** Esfuerzo máximo de diseño
- E:** Eficiencia de la junta

Al determinar la relación  $\frac{r_a}{r_c}$  se obtiene que es igual a  $16\frac{2}{3}$

$$\frac{r_a}{r_c} = \frac{213mm}{12,78mm}$$

$$\frac{r_a}{r_c} = 16\frac{2}{3}$$

Para las tapas del tanque se usara el mismo material del casco es decir con el esfuerzo máximo permisible ya mencionado de 3480,9 PSI.

Además se tomara igualmente a la eficiencia de la junta como E = 1.

Entonces reemplazando valores en la ecuación 3.8 resulta que el espesor requerido es:

$$t_r = \frac{0,085P_d \times r_a}{S_d \times E - 0,1P_d}$$

$$t_r = \frac{0,085(120 \text{ psi}) \times 218 \text{ mm}}{(3480,9 \text{ psi} \times 1) - 0,1(120 \text{ psi})}$$

$$t_r = 0,64 \text{ mm}$$

De acuerdo al resultado obtenido y a las medidas estandarizadas, el espesor de diseño  $t_d$  será de 4 mm al igual que la del casco.

Se comprueba que los valores obtenidos de los cálculos cumplan con las limitaciones para tapas torisféricas (ver tabla 3.12):

$$r_c \geq 0,06 d_e, \text{ donde } r_c = 13,08 \text{ mm y } d_e = 218 \text{ mm}$$

$$13,08 \text{ mm} \geq 0,06 (218 \text{ mm})$$

$$13,08 \text{ mm} = 13,08 \text{ mm}$$

$$r_c \geq 3t_d, \text{ donde } r_c = 13,08 \text{ mm y } t_d = 4 \text{ mm}$$

$$13,08 \text{ mm} \geq 3 (4 \text{ mm})$$

$$13,08 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm}$$

$$r_a \geq d_e \text{ donde } r_a = 218 \text{ mm y } d_e = 218 \text{ mm}$$

$$218 \text{ mm} \geq 218 \text{ mm}$$

Por lo visto anteriormente se concluye que el espesor de diseño de 4 mm para las tapas torisféricas es correcto.

### 3.4.5. Diseño del espesor requerido de la capa en fibra de vidrio del casco

La capa de fibra de vidrio le dará las propiedades anticorrosivas a nuestro cilindro y servirá como un refuerzo en rigidez más no como la estructura que en si soporte las cargas de presión ya que de esto se encarga la capa de polietileno.

Por lo dicho se puede utilizar el contenido matemático del código ASME usado anteriormente con el fin de obtener el espesor de la capa de fibra de vidrio. La siguiente tabla nos muestra las características mecánicas de las resinas termoestables.

**Tabla 3.13**  
**Características mecánicas de las resinas termoestables**

Procesos para resinas termoestables	Fibra de vidrio % en peso	Resistencia a la flexión		Módulo elástico en flexión		Resistencia a la tensión en fluencia	
		lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	MPa	lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>5</sup>	GPa	lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	MPa
Aspersión, colocación manual de estera: poliéster	30-50	16-28	110-190	10-12	7-8	9-18	60-120
Moldeo de transferencia de resina: poliéster en estera	20-30	22-37	150-250	13-19	9-13	12-20	80-140
Moldeo por compresión: compuesto de moldeo laminar (SMC), poliéster	15-30	18-30	120-210	14-20	10-14	8-20	60-140
Moldeo por compresión: estera o forma prefabricada, poliéster	25-50	10-40	70-280	13-18	9-12	25-30	170-210
Moldeo por compresión: compuesto para moldeo masivo (BMC), poliéster	15-35	10-20	70-140	14-20	10-14	4-10	30-70
Moldeo por compresión: compuesto para moldeo masivo (BMC), fenólico	5-25	18-24	120-170	30	21	7-17	50-120
Devanado de filamentos: resina epóxica	30-80	100-270	690-1860	50-70	34-48	80-250	550-1720
"Pultrusión": poliéster	40-80	100-180	690-1240	40-60	28-41	60-180	410-1240

**Fuente:** Enciclopedia de la Mecánica de Ingeniería Técnica, tomo 6

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



Entonces para este caso la resistencia a la tensión en fluencia de la fibra de vidrio es nuestro esfuerzo máximo permisible de diseño  $S_d$  por lo que:

$$S_d = 600MPa = 8702,3psi$$

El cálculo del casco metálico mediante la ecuación 3.4 determinará el espesor del material, se considera a la presión de diseño la misma con la que se trabajó anteriormente por motivos que los tanques son de similares características, así mismo no hay sobre-espesor de corrosión, y que las juntas son a tope y se radiografían al 100%, por lo que el espesor mínimo requerido de pared de fibra se calcula como sigue:

$$e_r = \frac{P_d \times r_a}{S_d \times E - 0,6P_d}$$

$$t_r = \frac{120psi \times 109mm}{(3480,9psi \times 1) - (0,6 \times 120psi)}$$

$$t_r = 3,84mm$$

Como el espesor de la esterilla de fibra de vidrio comercial usada para revestimiento de tanques es de aproximadamente 0,6 mm más el espesor que aporta la resina de poliéster se estima que el espesor total de la capa de fibra de vidrio sea de 5 mm.

Debido a que el tanque es estático no se puede calcular el desgaste del material (fibra de vidrio) como el que se produce entre dos superficies en rozamiento sino más bien el desgaste producido por el tiempo, el mismo que matemáticamente es poco probable predecir con seguridad.

La duración o vida útil que tendría la capa de fibra de vidrio relacionándola con el espesor de la misma depende de demasiadas variables difícilmente medibles como el

ambiente de trabajo y la manipulación del tanque, sin embargo se puede estimar mediante aseveraciones empíricas de campo (con tanques recubiertos por este material en ambientes sin estrés) la duración previsible de la misma que varía entre 8 y 15 años antes de presentar deterioro por vejez de la resina presentada en forma de grietas o fragilidad estructural (descamaciones). En la plano 10.002.02 se muestra el diseño dimensionado del tanque adecuado para nuestro ablandador de resina catiónica.

#### **3.4.6. Selección del tanque de salmuera**

Para dimensionar el tanque de salmuera se debe saber cuánto volumen de salmuera necesita nuestro sistema para su regeneración, ya que el tanque debe tener la capacidad de contener dicho volumen. Los datos primordiales para este dimensionamiento es la cantidad de sal utilizada en la regeneración y la concentración de la salmuera.

Dichos datos ya se obtuvieron con especificaciones técnicas de la resina y el diseño de la misma en el capítulo 3. Con los parámetros de operación dados, la regeneración del sistema se realizará con 16 libras de sal a una concentración del 10% por cada ciclo. Por otro lado se debe tomar en cuenta la solubilidad de la sal a temperatura de trabajo, (ambiente) ya que la salmuera necesaria para garantizar una óptima regeneración debe ser una mezcla homogénea, o disolución, es decir el soluto (sal) debe disolverse totalmente en el disolvente (agua).

La solubilidad de la sal es de 36 (gramos soluto/100 gramos de agua, ver Anexo D), por lo que una concentración del 10% de sal no genera saturación de la disolución y por tal la sal se disolverá totalmente. Si se sabe que:

$$\text{Masa de disolución} = \text{Masa soluto} + \text{Masa disolvente}$$

$$\% \text{ en masa (soluto)} = \frac{\text{gr. de soluto}}{\text{gr. de disolución}} \times 100$$

Reemplazando:

$$\text{gr. de disolución (salmuera)} = \frac{\text{gr. de soluto (16 libras)}}{10} \times 100 = 72730 \text{ gr.}$$

$$\text{gr. de disolvente (agua)} = \text{gr. de disolución} - \text{gr. de soluto}$$

$$\text{gr. de disolvente (agua)} = 72730 \text{ gr.} - 7273 \text{ gr.} = 65,46 \text{ kg} \cong 65,46 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen total (salmuera)} = \frac{7273 \text{ gr. (masa sal)}}{2,165 \text{ gr/ml (densidad sal)}} + 65460 \text{ ml} = 68,82 \text{ l}$$

Entonces la disolución completa (salmuera) alojada en el tanque por cada ciclo de regeneración será de 68,82 litros, por lo que dando un 30% de libertad operacional al recipiente, el tanque de regeneración debe tener una capacidad total mínima de aproximadamente 100 litros. Con la capacidad del tanque ya determinado se dimensiona un recipiente con medidas aproximadas para adquirir en el mercado. (Ver Plano 10.004).

### 3.5. Diseño mecánico del tanque de filtro rápido

El filtro rápido o “de arena”, está compuesto de un recipiente cilíndrico que contiene arena de cuarzo, grava u otros componentes microporosos, en disposición tal que funciona como un lecho filtrante. Los filtros rápidos son los elementos más utilizados para filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que requieran una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño.

Indiferentemente del tipo de material utilizado para la filtración se debe dimensionar el recipiente y al igual que el diseño del tanque del ablandador lo importante es determinar

el material y espesor del casco del tanque para que este pueda o sea capaz de resistir las presiones estáticas y dinámicas a que va a ser sometido.

### **3.5.1. Selección del material de construcción del casco del tanque**

Los recipientes para filtros de arena, grava u otros compuestos especiales, se pueden fabricar con resinas de poliéster y fibra de vidrio, también en acero inoxidable y en acero al carbono para aplicaciones en las que se requiere una mayor resistencia a la presión. En este caso para asegurar una vida útil satisfactoria y debido a que el filtro rápido tendrá parecidas prestaciones de funcionamiento que el ablandador, se diseñara igual que el tanque ablandador con una capa de polietileno y una capa en fibra de vidrio.

El dato del esfuerzo máximo permisible necesario para el cálculo del espesor de nuestro casco es el mismo que se detallan en la tabla 3.9. Para el cálculo de los parámetros del casco del tanque se aplicara el mismo fundamento matemático dado en el código ASME de recipientes a presión.

Debido a que la presión del sistema total es 40 PSI, el material idóneo para el tanque con el lecho filtrante es polietileno recubierto de fibra de vidrio y que el volumen de del lecho filtrante es de 1 pie<sup>3</sup> por diseño, todos los cálculos anteriores sirven para definir que necesitamos un tanque con las mismas características que el diseñado para el ablandador. La disposición del filtro rápido y su recipiente se muestran en el plano 10.002.

### **3.6. Diseño de la estructura de soporte**

Con el fin de dimensionar las características requeridas de los perfiles estructurales para nuestro mueble debemos aproximar un valor de la carga que deben estos soportar, para ello se detalla la siguiente tabla las masas aproximadas de los dispositivos y equipos.

**Tabla 3.14**  
**Masas de los equipos**

<b>EQUIPO (En operación)</b>	<b>MASA (Kg)</b>
<b>Filtro Rápido</b>	70
<b>Ablandador</b>	70
<b>Tanque de Salmuera</b>	65
<b>Bomba</b>	10,5
<b>Tuberías</b>	16
<b>Sistema Eléctrico</b>	10
<b>MASA TOTAL</b>	<b>241,5</b>

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Entonces con la masa total obtenemos la fuerza en peso total de los equipos:

$$W = m \times g \quad (3.10)$$

**Dónde:**

**W:** peso

**m:** masa

**g:** gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Aplicando la fórmula tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 204,5Kg \times 9,8m/s^2 = 2366,7N$$

Como puede verse en el plano de diseño (Ver Plano10.001) de la base de nuestro mueble el área de la misma es de  $0,3 \text{ m}^2$  ( $0,6 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ). Siguiendo la fórmula 3.11.

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.11)$$

**Dónde:**

**P:** Presión

**F:** Fuerza (W)

**A:** Área

La presión en la placa sería:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{W}{A}$$

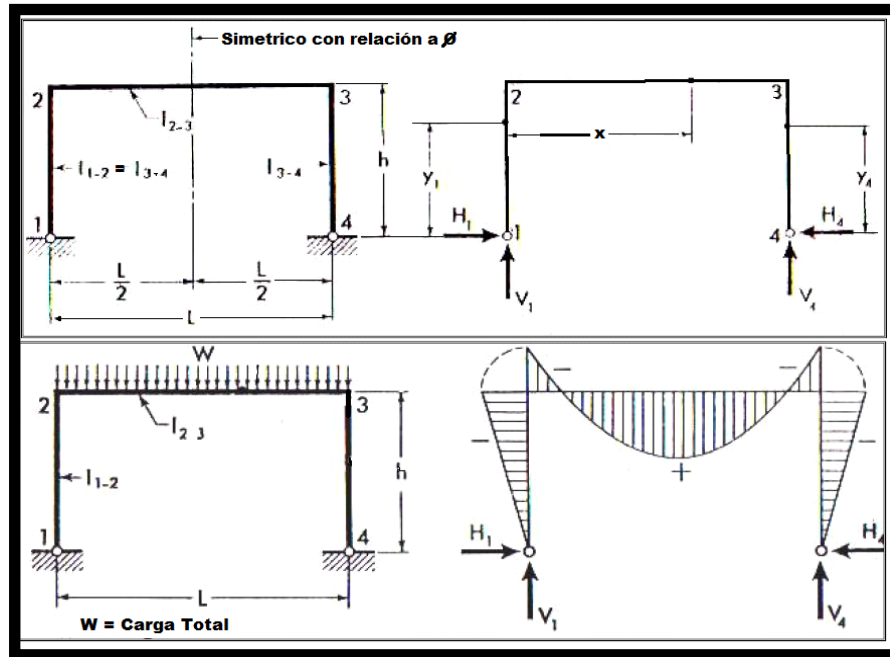
$$P = \frac{2366,7N}{0,3m^2} = 7889 N/m^2$$

Analizando la estructura de nuestro mueble podemos observar que se mantendrá en pie gracias a las ruedas, por motivos de diseño se las puede tratar como pórtico.

El peso que deberá soportar cada pórtico (w) es igual a un  $\frac{1}{4}$  del peso total del equipo. El análisis de pórticos y aplican sus ecuaciones se muestran en la gráfica 3.14.

$$w = \frac{W}{4} = \frac{2366,7N}{4} = 591,68N$$

**Figura 3.14**  
**Análisis de pórticos**



**Fuente:** Libro de Pórticos y Arcos de Valerian Leontovich.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Para diseñar el pórtico es necesario establecer las siguientes formulas:

**Fórmula de Momentos:**

$$M_2 = M_3 = -\frac{w \times L}{A} \quad (3.12)$$

**Fórmulas de Fuerzas:**

$$H_1 = H_4 = \frac{w \times L}{A \times h} \quad (3.13)$$

$$V_1 = V_4 = \frac{w}{2} \quad (3.14)$$

**Fórmula de momento máximo:**

$$M_x = \frac{w \times x}{2} \left( 1 - \frac{x}{2} \right) + M_2 \quad ; X = \frac{L}{2} \quad (3.15)$$

**Constante de la estructura:**

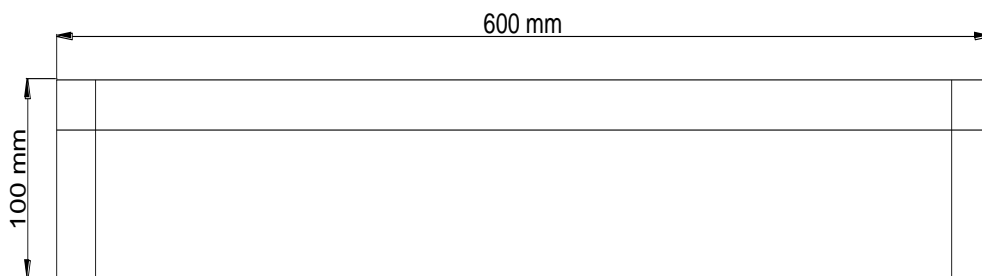
$$\Phi = \frac{l_{1-2} \times L}{l_{2-3} \times h} \quad (3.16)$$

**Área constante de la estructura:**

$$A = 4 \left( 3 + \frac{2}{\Phi} \right) \quad (3.17)$$

Nuestro pórtico y sus respectivas dimensiones se representan en el siguiente boceto.

La estructura original consta con ruedas, pero por motivos de cálculo se las considera como pórticos rígidos.





A continuación se proceden a resolver las ecuaciones que nos ayudaran a encontrar los datos que nos servirán para determinar las características del pórtico.

Con la fórmula 3.16 determinamos la constante de la estructura.

$$\Phi = \frac{l_{1-2} \times L}{l_{2-3} \times h} = \frac{L}{h} = \frac{0,6m}{0,1m} = 6$$

El área constante de la estructura (aplicando la fórmula 3.17).

$$A = 4 \left( 3 + \frac{2}{\Phi} \right) = 4 \left( 3 + \frac{2}{6} \right) = 13,33$$

Reemplazando en la fórmula 3.12 de análisis de pórticos:

$$M_2 = M_3 = -\frac{w \times L}{A} = -\frac{591,68N \times 0,6m}{13,33} = -26,63Nm$$

Reemplazando en la fórmula 3.13 de análisis de pórticos:

$$H_1 = H_4 = \frac{w \times L}{A \times H} = \frac{591,68N \times 0,6m}{13,33 \times 0,1m} = 266,32N$$

Reemplazando en la fórmula 3.14 de análisis de pórticos:

$$V_1 = V_4 = \frac{w}{2} = \frac{591,68N}{2} = 295,83N$$

Obtenemos el momento flector máximo mediante la fórmula 3.15:

$$M_x = \frac{w \times x}{2} \left( 1 - \frac{x}{2} \right) + M_2 \Rightarrow M_x = \frac{w \times \frac{L}{2}}{2} \left( 1 - \frac{\frac{L}{2}}{2} \right) + M_2$$

$$M_x = \frac{591,68N \times \frac{0,6}{2}}{2} \left( 1 - \frac{\frac{0,6}{2}}{2} \right) + (-26,63Nm)$$

$$M_x = 75,43Nm$$

Con los valores del momento máximo se procede al cálculo del módulo de sección (S) con la formula (3.18).

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}} \quad (3.18)$$

**Dónde:**

- S:** Modulo de la sección (cm<sup>3</sup>)  
**M<sub>max</sub>:** Momento flexionante máximo (N.m).  
**σ<sub>perm</sub>:** Esfuerzo permisible (N/m<sup>2</sup>)

El material a utilizar es un tubo cuadrado en acero negro, y utilizando el Catalogo DIPAC este tipo de tubos estructurales son fabricados con el acero ASTM A-501, el mismo que posee un esfuerzo permisible en fluencia (F<sub>y</sub>) de 250 MPA (Ver anexo E).

Por lo que el módulo de sección es adecuado para soportar nuestro momento de flexión máximo es:

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}}$$

$$S = \frac{75,43 Nm}{250000000 N/m^2}$$

$$S = 0,000000302 m^3 = 0,302 cm^3$$

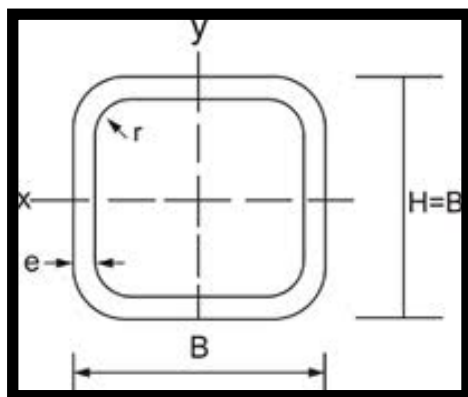
Como el factor de seguridad para este diseño será de 2,5, entonces:

$$S = 0,302 cm^3 (2,5)$$

$$S = 0,754 cm^3$$

Mediante el módulo de sección del diseño S (W para el catalogo DIPAC, ver anexo F) se selecciona un tubo cuadrado negro con características especificadas en la figura 3.15.

**Figura 3.15**  
**Sección del tubo cuadrado**



Material: ASTM A-501

Peso: 0,97 Kg/m

B = 25 mm

e = 1,2 mm

Área de la Sección transversal (A): 1,14 cm<sup>2</sup>

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

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 3.7. Cálculo de la potencia de la bomba

Para determinar la potencia de la bomba es la carga total de bombeo, la cual es la suma de todas las pérdidas del sistema, pero además se deben considerar presiones diferentes a la atmosférica, teniendo la siguiente ecuación:

$$TDH = P_s + P_{fs} + P_d + P_{fd} + P_w \quad (3.19)$$

**Dónde:**

**TDH:** Altura o cabeza total dinámica.

**P<sub>s</sub>:** Altura estática de succión (m).

**P<sub>fs</sub>:** Perdidas de succión (m).

**P<sub>d</sub>:** Altura estática a la descarga (m).

**P<sub>fd</sub>:** Perdidas de descarga (m)

**P<sub>w</sub>:** Presión de trabajo (m).

#### 3.7.1. Determinación de las alturas estáticas de succión y descarga

La bomba estará ubicada en la parte inferior de los tanques por lo que la toma de agua de la red se encontrara en el suelo por la tanto la altura estática de succión es igual a la altura del tanque que es de 0 m.

La descarga se la hará en el tanque de condensado el cual se encuentra a 2.5m altura que la bomba, por ende la estáticas de descarga.

$$P_s = 0m$$

$$P_f = 2,5m$$

### 3.7.2. Pérdidas de succión

Las pérdidas de energía están dadas por la sumatoria de las pérdidas por accesorios con las pérdidas por fricción en las tuberías.

$$P_{fs} = \sum \text{perdidas por accesorios} + \sum \text{perdidas por fricción en tuberías}$$

Para analizar las pérdidas de succión se utilizara la configuración de encendido y apagado de funcionamiento de servicio por motivo de que en este caso se generan la mayor cantidad de pérdidas.

### 3.7.3. Pérdidas por accesorios

En la configuración de servicio, se tomara para el diseño esta configuración porque es la que más se va utilizar y donde se generan la mayor cantidad de pérdidas; los accesorios que se utilizara son:

**Tabla 3.15**  
**Accesorios del sistema**

Accesorio	Cantidad
Electroválvula	7
Codos 90°	2
Válvula de bola	2
Te	4
Reducciones de ¾" a ½"	5

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Estos son todos los accesorios necesarios para realizar el conexionado hidráulico del equipo desmineralizador.

Como primer paso para dimensionar la bomba se requiere conocer la velocidad de agua para lo cual se aplica la ecuación 3.20 considerando un caudal 3 GPM (0,0001893 m<sup>3</sup>/s), el cual es el caudal de operación del caldero y el diámetro de la tubería de ½” (0.0127 m).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.20)$$

**Dónde:**

**v:** Velocidad promedio.

**Q:** Caudal.

**A:** Área de la tubería.

Las pérdidas por accesorios vienen dadas por la siguiente ecuación, en donde las perdidas vienen dadas por la velocidad del fluido y la gravedad:

$$h_1 = \frac{k \times v^2}{2g} \quad (3.21)$$

**Dónde:**

**h<sub>1</sub>:** Pérdida por accesorios.

**k:** Coeficiente de resistencia (ver Anexo G)

**v:** Velocidad promedio.

**g:** Gravedad

El coeficiente de resistencia (k) es medido experimentalmente y depende del tipo de accesorio y de la velocidad promedio. Con los datos ya conocidos se calcula la velocidad del agua dato que nos servirá para cálculos siguientes. Resolviendo la ecuación 3.20:

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{2}}$$

$$v = \frac{0,0001893 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \times 0,0127 \text{ m}^2}{2}}$$

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

Para aplicar la fórmula 3.21 necesitamos establecer el valor del coeficiente de resistencia (k) viene dado mediante tablas en función del tipo de accesorio (ver anexo G). Como se tiene varios elementos dentro del sistema se procede a sumar el valor individual de los mismos para obtener un valor total de k del todo el sistema y luego se reemplazado los datos en la ecuación 3.21:

$$k = 7k_{\text{electrovahula}} + 2k_{\text{codo}90^\circ} + 2k_{\text{bola}} + 4k_t + 5k_{\text{reducciones}}$$

$$k = 4(0,05) + 2(1) + 2(0,05) + 4(1,8) + 5(0,56)$$

$$k = 12,45$$

$$h_l = \frac{k \times v^2}{2g}$$

$$h_l = \frac{12,45 \times (1,5 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_l = 1,41 \text{ mm}$$

### 3.7.3.1. Pérdidas por fricción en las tuberías

Para calcular las pérdidas se aplica la ecuación de Darcy –Weisbach:

$$h_2 = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3.22)$$

**Dónde:**

**h<sub>2</sub>:** Pérdida por fricción en las tuberías.

**f:** Coeficiente de fricción.

**L:** Longitud de la tubería.

**D:** Diámetro nominal del conducto.

**V:** Velocidad de flujo.

**g:** Gravedad.

Obtenemos de factor de Darcy-Weisbach por la ecuación de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{e}{3.71D} + \frac{G}{Re'} \right) \right)^2} \quad (3.23)$$

**Dónde:**

**f:** Coeficiente de fricción.

**e:** Coeficiente de rugosidad absoluta.

**D:** Diámetro de la tubería.

**G y T:** Parámetros de ajuste.

**Re:** Número de Reynolds.



Los valores de G y T están determinados en función del número de Reynolds:

$$\begin{array}{ll} G = 4,555 \quad T = 0,8764 & \text{para } 4000 \leq Re \leq 10^5 \\ G = 6,32 \quad T = 0,104 & \text{para } 10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6 \\ G = 8,82 \quad T = 0,3 & \text{para } 3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8 \end{array}$$

El valor del coeficiente de rugosidad absoluta ( $e$ ) depende del tipo de material del cual este constituido la tubería en nuestro caso como es PVC se tiene un coeficiente de 0,0015mm. (Ver Anexo H). Mientras que el número de Reynolds viene dado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D \times v}{\nu_c} \quad (3.24)$$

**Dónde:**

- Re:** Coeficiente de fricción.
- D:** Diámetro de la tubería.
- v:** Velocidad del fluido dentro de la tubería.
- $\nu_c$ :** Viscosidad cinemática del agua (1,0034 mm<sup>2</sup>/s).

Una vez que se ha establecido todas las herramientas matemáticas necesarias para poder se procede a resolver las ecuaciones. Primeo es necesario establecer el número de Reynolds utilizando la ecuación 3.24:

$$Re = \frac{D \times v}{\nu_c}$$

$$Re = \frac{12,7 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm/s}}{1,0034 \text{ mm}^2/\text{s}} = 18913,97$$

Con este valor calculamos el factor de fricción de Darcy-Weisbach utilizando la ecuación 3.23 los considerando que los valores para  $G = 4,555$  y  $T = 0,8764$  por motivo de que:

$$4000 \leq Re \leq 10^5$$

$$4000 \leq 18913,97 \leq 10^5$$

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{e}{3.71D} + \frac{G}{Re'} \right) \right)^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{0,0015mm}{3.71 \times 12.7mm} + \frac{4,555}{18913,97^{0,8764}} \right) \right)^2}$$

$$f = 0,02647$$

Para obtener el resultado de las pérdidas por fricción en las tuberías aplicamos este valor en la ecuación 3.22; para poder aplicar esta fórmula es necesario conocer la longitud total de la tubería que en nuestro caso tendrá un valor aproximado a los 2,5 m de longitud.

Aplicando la fórmula 3.22:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0,02647 \times \frac{2,5m}{0,027m} \times \frac{(1,5m/s)^2}{2 \times 9,8m/s^2}$$

$$h_f = 0,6m$$

Luego se calcula las pérdidas totales de succión:

$$P_{fs} = \sum \text{perdidas por accesorios} + \sum \text{perdidas por fricción en tuberías}$$

$$P_{fs} = 1,41m + 0,6m$$

$$P_{fs} = 2,01m$$

#### 3.7.4. Pérdidas de trabajo

Los filtros tienen un rango de operación de 30 – 120 PSI y la presión recomendada por el fabricante es de 40 psi esta será la presión a la cual se diseñara el sistema; además en cada uno de los tanques se tendrá una caída de presión máxima de 10 PSI. Transformando estos valores a metros de columna de agua tenemos:

$$40 \text{ psi} \times \frac{0,703m}{1 \text{ psi}} = 28,12m$$

$$10 \text{ psi} \times \frac{0,703m}{1 \text{ psi}} = 7,03m$$

Si sumamos la presión a la cual va a operar el sistema más las pérdidas que se tendrá en los dos tanques obtendremos el valor de la presión de trabajo:

$$P_w = P_{operación} + 2P_{\Delta presión}$$

$$P_w = 28,12 + 2(7,03)$$

$$TDH = 42,18m$$

Una vez que se ha determinado las todas las pérdidas del sistema se calcula la cabeza total dinámica:

$$TDH = P_s + P_{fs} + P_d + P_{fd} + P_w$$

$$TDH = 0m + 2,01m + 2,5 + 0 + 42,18m$$

$$TDH = 46,69m$$

A esta cabeza total le agregamos un 10% de factor de seguridad por lo tanto tenemos:

$$TDH = 46,69m \times 1.1$$

$$TDH = 51,36m \approx 51m$$

### 3.7.5. Selección de la bomba de agua

Con el valor de la cabeza total dinámica de 51 m y el caudal de 3GPM (11,36 L/min) podemos utilizar graficas que nos permitan determinar la bomba adecuada para nuestras condiciones de operación; de las múltiples marcas que ofertan bombas de agua en nuestro mercado se ha optado por la marca Pedrollo por ofrecer altos estándares de calidad.

De la gráfica (Anexo I) se pudo obtener los siguientes datos técnicos de la bomba:

- ↪ Modelo: PKm70
- ↪ Potencia: 0,85HP
- ↪ Caudal: 15 L/min
- ↪ Altura manométrica: 52m

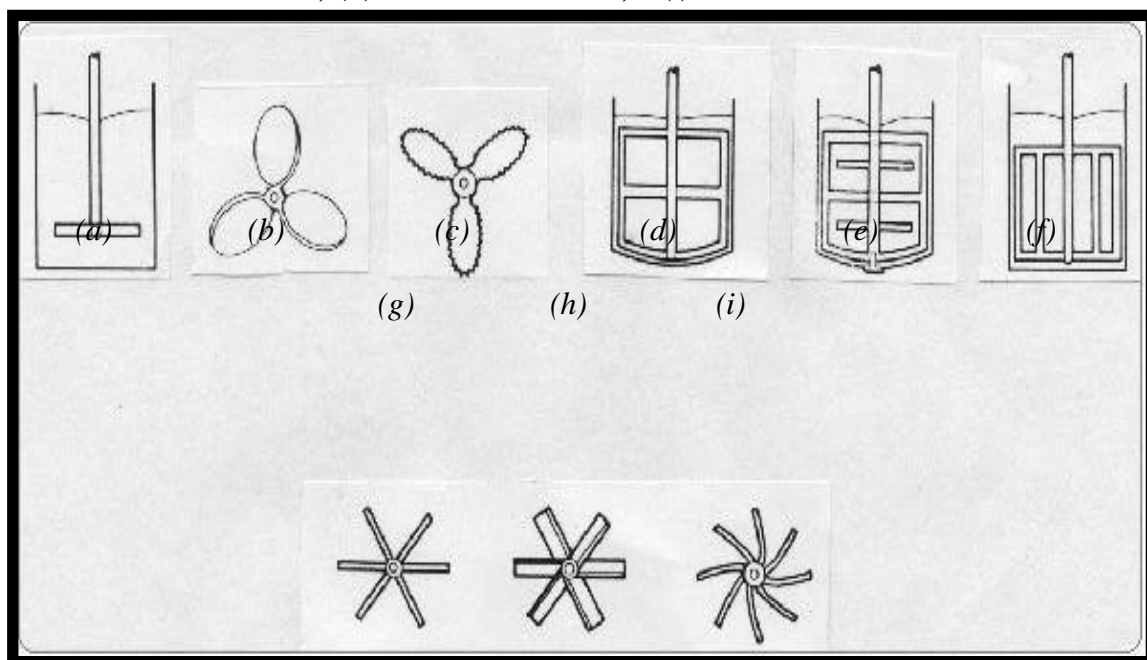
Esta es la bomba que se adapta a nuestro sistema pero por cuestiones de mercado se optó por utilizar una bomba Pedrollo PKm80 que es de similares características a la obtenida en tablas.

### 3.8. Cálculo del mezclador

El mezclador o también denominado agitador cumplirá la función de generar una mezcla homogénea entre el agua y la sal usada en la regeneración. Como primer paso para el dimensionamiento del mezclador es necesario elegir el tipo de impulsor del agitador en función del tipo de fluido que se vaya a mezclar. Para el agitador del tanque de salmuera se usara un impulsor del tipo propela marina de tres aspas para esto se usó la figura 3.16 , por motivos de que el fluido es poco viscoso, además de que se va a mezclar poco volumen, este tipo de impulsor es el ideal para esta aplicación.

**Figura 3.16**

**Algunos impulsores típicos: (a) de paleta; (b) propela marina; (c) propela marina dentada; (d) de ancla; (e) de paletas contrarrotatorias; (f) de compuerta; (g) turbina recta; (h) turbina inclinada; e (i) turbina curva**



**Fuente:** <http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA1.pdf>.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Se lo montara de manera vertical, este tipo de configuración no es el más recomendable para este tipo de impulsor pero por motivos de espacio y diseño; además considerando que se va a mezclar poco volumen y considerando las condiciones en que se va a realizar el proceso de mezclado con largos periodos en que la sal y el agua van a estar en contacto el agua se mezcla con la sal de manera natural por eso se ha optado por utilizar esta ubicación para la paleta. Para el agitador del tanque de salmuera se usara un impulsor del tipo propela marina de tres aspas, por motivos de que el fluido es poco viscoso, además de que se va a mezclar poco volumen, este tipo de impulsor es el ideal para esta aplicación.

Se lo montara de manera vertical, este tipo de configuración no es el más recomendable para este tipo de impulsor pero por motivos de espacio y diseño; además considerando que se va a mezclar poco volumen y considerando las condiciones en que se va a realizar el proceso de mezclado con largos periodos en que la sal y el agua van a estar en contacto el agua se mezcla con la sal de manera natural por eso se ha optado por utilizar esta ubicación para la paleta. La longitud es igual al 25% del diámetro del tanque. El tanque de salmuera en nuestro caso es cuadrado por tanto se toma el largo de unos de sus lados que es de 420mm.

$$L = 420mm \times 25\%$$

$$L = 105mm$$

### **3.8.1. Cálculo de la potencia del mezclador**

Para dimensionar la potencia de la bomba primero es necesario determinar el número de Reynolds para lo cual nos valdremos de la ecuación 3.24, considerando que la viscosidad cinemática del agua salada es de  $0,801 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $30^\circ\text{C}$ , considerando una velocidad de giro del impulsor de 120 r.p.m y el diámetro de la turbina que será igual a 250 mm.

$$Re = \frac{D_t \times v}{\nu_c}; \quad v = D_t \times rpm$$

$$Re = \frac{(0,25m)^2 \times (120rpm \times 60s)}{0,000000801m^2/s}$$

$$Re = 156000$$

Si consideramos que: Si  $Re < 10$  el flujo es laminar, si  $10 < Re < 10.000$  el flujo es turbulento en el agitador y laminar en las partes más alejadas, y si el valor es  $Re > 10.000$  el flujo es turbulento. El fluido está en régimen turbulento. Este tipo de flujo no solo se relaciona con el número de Reynolds del impulsor, sino también algunas de las características de rendimiento de proceso como el consumo de energía del impulsor.

En este caso como la viscosidad del fluido es baja y el flujo turbulento, el impulsor mueve al fluido mediante un aumento en la cantidad de movimiento provocado por las aspas, que ejercen una fuerza sobre el fluido. Las palas de rotación de las turbinas modifican la dirección e incrementan velocidad del fluido, lo cual se relaciona con la potencia del impulsor:

$$Pot = \frac{\rho \times N_p \times N^3 \times D_t^5}{g_c} \quad (3.25)$$

**Dónde:**

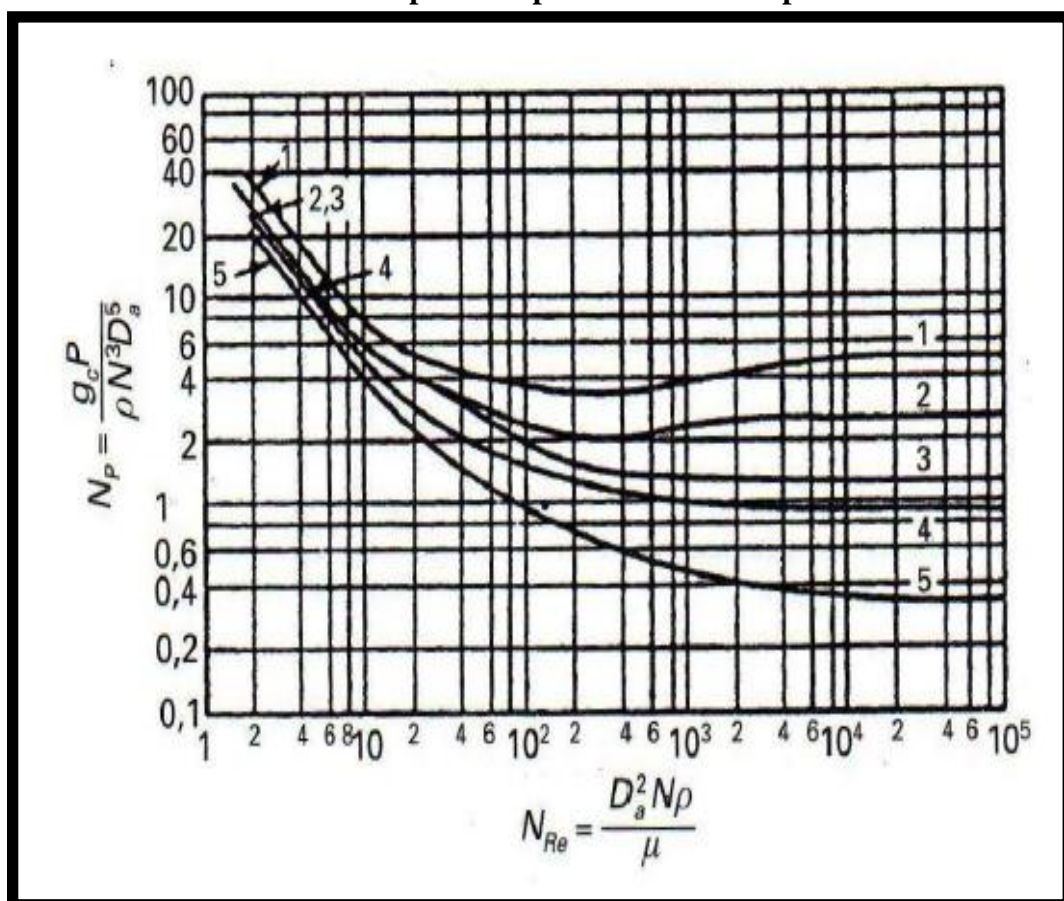
- $\rho$ :** Densidad del agua.
- $N_p$ :** Número de potencia.
- $N$ :** Número de revoluciones por segundo.
- $D_t$ :** Diámetro del impulsor.
- $g_c$ :** Factor de conversión de la ley de Newton.

El número de potencia viene dado en función del número de Reynolds y el tipo de impulsor para obtener el su valor se recurre a tablas en la figura 3.17.

Para nuestro caso se tomara como referencia la curva número 1 la cual es para impulsores del tipo hélice que estamos usando y nos da un  $N_p$  de aproximadamente igual a 5.5 ese valor lo reemplazamos en la ecuación 3.24.

El valor de  $g_c$  se lo tomara como 1 porque se va a resolver la ecuación utilizando las unidades del S.I. y el peso específico del agua salada es de  $1027\text{kg/m}^3$ .

**Figura 3.17**  
**Correlación de potencia para diferentes impulsores**



**Fuente:** <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14533/15/14%20CAPITULO%203.pdf>.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



Resolviendo la ecuación 3.25:

$$Pot = \frac{\rho \times N_p \times N^3 \times D_t^5}{g_c}$$

$$Pot = \frac{1027 \text{ kg/m}^3 \times 5,5 \times (120 \text{ rpm} / 60 \text{ s})^3 \times (0,25 \text{ m})^5}{1}$$

$$Pot = 44,13 \text{ w} \Rightarrow 0,06 \text{ HP}$$

La potencia del motor es de 0.06HP; esta es un valor bajo para la potencia de un motor por tal motivo opto por comprar un motor de taladro de ¼ de HP y acoplarlo al sistema del agitador.

El material de que se construirá la turbina es de acero galvanizado de 2mm de espesor; mientras que el eje en donde se ubicara el impulsor será también de acero de 1/4” tanto el impulsor como su eje serán recubiertos de una capa de fibra de vidrio para protegerlos contra corrosión causada por el agua salada. (Ver Plano 10.006).

### **3.9. Automatización y diseño eléctrico del sistema**

#### **3.9.1. Variable principal a controlar**

La variable principal a controlar de todo el equipo de tratamiento de agua, será aquella que al llegar a un valor deseado, detenga la función de servicio e inicie todos los ciclos de retrolavado, regeneración, enjuague y puesta en marcha del equipo completo.

Esta variable puede ser la dureza del agua en la salida del equipo, la cantidad de agua tratada por el equipo y también puede ser un tiempo determinado en el que se asegure el desgaste de la resina y la necesidad de regeneración. Si se fija como variable principal

controlada la dureza del agua, se necesita un equipo que mida esta variable además que se pueda colocar directamente en la línea.

Luego de algunas investigaciones se encontró un fotómetro que mide la dureza del agua, pero no se puede instalar en línea, sino hay que extraer una muestra e insertarla en el medidor para que de la lectura, además este tipo de instrumentos tiene un costo elevado, un fotómetro para dureza de gama media bordea los 1000 dólares y no se encuentra fácilmente en el mercado local, por lo que para esta aplicación, esta variable no se tomará en cuenta.

Al tomar el tiempo de funcionamiento, como variable controlada, funcionaría siempre y cuando el flujo de agua sea constante para poder calcular el volumen de agua tratado, sin embargo no es así. Entonces la opción más adecuada para los fines de este sistema es designar al volumen de agua suavizada como la variable controlada, el cual al llegar a un valor determinado, activará los ciclos de mantenimiento para todo el sistema de desmineralización.

Por este enfoque se necesitara colocar un sensor de flujo volumétrico o caudalímetro, en la salida del equipo, que sea de tipo análogo y que envíe una señal a la pantalla programable, proporcional al flujo volumétrico del agua que sale del suavizador. Este sensor de flujo volumétrico deberá colocarse a la salida del sistema desmineralizador.

Mediante el caudal medido por el flujómetro o caudalímetro, por el tiempo de operación se podrá fácilmente definir cuando la resina trato o “ablando” el volumen de agua debido.

Este volumen será calculado internamente por el cerebro del sistema (pantalla programable) con los respectivos datos de la capacidad de intercambio de la resina ya mostrados en el diseño del ablandador.

Entonces sí cada 1 pie<sup>3</sup> de resina C100 puede tratar 36681,2 granos de dureza (CaCO<sub>3</sub>) efectivos y la dureza del agua es 98 ppm (1,51 granos CaCO<sub>3</sub> / L), el valor óptimo de volumen tratado de agua sería:

$$\frac{\text{Capacidad de la resina}}{\text{Dureza del agua}} = \frac{36681,2 \text{ granos}}{1,51 \text{ granos/L}} = 24282,6L$$

El volumen de resina diseñado (1 pie<sup>3</sup>) puede tratar óptimamente 24282,6 litros (24 m<sup>3</sup>) de agua antes de ser regenerada, este valor sería el programado para activar los procesos de mantenimiento.

Sin embargo como recomendación de este trabajo se definirá la necesidad de realizar algunas mediciones de dureza cuando se acerque a este volumen de agua tratada y realizar ajustes de ser necesarios.

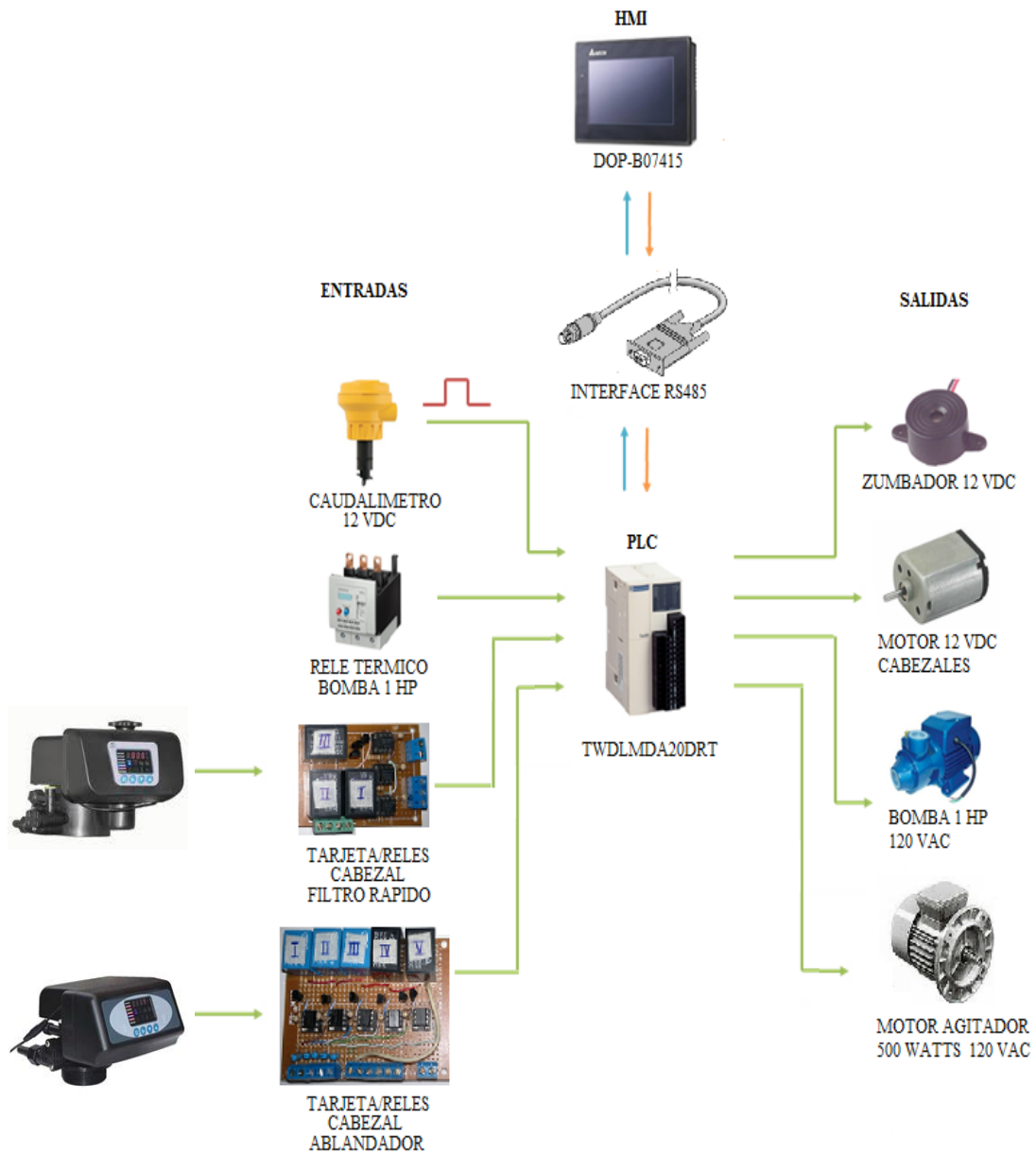
Para realizar las medidas de caudal se escogió el caudalímetro marca SIGNET modelo 2537, es un caudalímetro de ruedas de paleta. El cual da una salida en forma pulsos en función del caudal que este sensando en ese momento.

Entre las principales características del equipo tenemos:

- ↻ Tamaño de tubería: ½” a 8”
- ↻ Frecuencia de rueda de paletas: 49 Hz por m/s nominal (15 Hz por pies/s)
- ↻ Temperatura ambiente: 0 a 65 °C
- ↻ Presión máxima de trabajo: 12,5 bares (180 PSI) máx. a 20 °C (68°F)
- ↻ Usos: Medición de fluidos a régimen laminar.

En base a estos datos se determino que este equipo es el ideal para realizar la medida de caudal en el sistema.

**Figura 3.18**  
**Arquitectura de la automatización**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 3.9.2. Descripción de la automatización del sistema

A continuación se presentará una tabla de señales de diferentes tipos, que corresponden a los diferentes elementos de control involucrados en ese diseño los cuales se muestran en la figura 3.18, además se muestra su disposición. Además de la respectiva

nomenclatura de cada elemento; junto al diagrama del diseño eléctrico propuesto para la automatización del sistema de desmineralización de agua (Ver Anexo O).

**Tabla 3.16**  
**Listado de Señales del diseño de automatización**

PLC	Descripción	E/D	S/D	E/A	S/A	Memoria	Etiqueta
<b>SISTEMA GENERAL</b>							
<b>I0.1</b>	Flujómetro			1		MW0	SF
<b>I0.11</b>	Relé térmico	1				M8	e
<b>Q0.6</b>	Motor Bomba		1			M13	MB
<b>Q0.2</b>	Alarma Sonora (Sirena)		1			M9	Z
<b>FILTRO RAPIDO</b>							
<b>I0.3</b>	Entrada sensor 1 (Servicio)	1				M0	1
<b>I0.4</b>	Entrada sensor 2 (Retrolavado)	1				M1	2
<b>I0.5</b>	Entrada sensor 3 (Enjuague)	1				M2	3
<b>Q0.3</b>	Motor		1			M10	M1
<b>ABLANDADOR</b>							
<b>I0.6</b>	Entrada sensor 4 (Servicio)	1				M3	4
<b>I0.7</b>	Entrada sensor 5 (Retrolavado)	1				M4	5
<b>I0.8</b>	Entrada sensor 6 (Regeneración)	1				M5	6
<b>I0.9</b>	Electroválvula 8 (Rellenado)	1				M6	7
<b>I0.10</b>	Electroválvula 7 (Enjuague)	1				M7	8
<b>Q0.4</b>	Motor		1			M11	M2
<b>TANQUE SALMUERA</b>							
<b>Q0.5</b>	Motor Batidor		1			M12	MIX
<b>TOTAL E/S</b>		9	5	1			

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

En la tabla 3.16 se muestra la cantidad y tipo de señales que intervendrán en la automatización del sistema, involucradas en cada tipo de elemento de control, la función resumida de cada señal se muestra en su descripción y por medio de la etiqueta se puede encontrar su ubicación física dentro del diseño.

El manejo automático de los cabezales se hará a través de un sistema de levas las cuales habilitan las salidas y/o entradas para realizar las distintas funciones del equipo, el giro del árbol se lo hace por medio de un motor de 12VDC el cual gira hasta establecer una determinada función. Y el grado de giro es controlado por medio de sensores magnéticos dispuestos de tal manera que cada una determina la posición para cada una de las funciones del equipo. (Ver Anexos Q y R).

El PLC que se escogió como controlador es TWIDO modelo TWDLMDA20DRT que posee un total de 12 entradas digitales, dos de las cuales sirven para contadores rápidos (%I0.2 y %I0.3) la primera de estas se usara en nuestro sistema para conectarse al caudalímetro y medir el caudal mediante los pulsos que entrega el mismo. Además el PLC consta con 8 salidas digitales. Para poder realizar la programación del PLC se utilizara el software TwidoSuite V2.1. La programación PLC y el conexionado del mismo se especifican en los Anexo J-1 y J-2. Y el circuito de fuerza se muestra en el Anexo P.

Para la visualización y control de las variables del sistema se optó por un instalar una HMI marca DELTA de las siguientes características: Equipo: HMI, Pantalla Operador Táctil DELTA Modelo DOP-B07E415 7" (800 x 480 píxeles) TFT LCD de 65.536 colores.

Especificaciones:

- ↻ Los 3 juegos de puertos COM, el apoyo RS232 / RS422 / RS485.
- ↻ Para la transferencia de datos / descarga: RS232, USB, Ethernet.
- ↻ Compatible con USB Host, conexión directa a disco USB, impresora y mouse.
- ↻ Soporta tarjeta SD.
- ↻ Compatible con Ethernet.
- ↻ Dispone de salida de audio (MP3, WAV).
- ↻ Pantalla táctil cumple con IP65.

- ↪ Modo horizontal/vertical de la pantalla.
- ↪ Software de edición, DOPSoft es compatible con los sistemas operativos:  
Windows XP, Windows Vista, Windows 7

La programación de toda la serie de los HMI DELRA se realiza a través del Delta DOP-B Screen Editor basado en Windows. Este software no solo ofrece la programación de varias pantallas táctiles con múltiples dimensiones y colores, sino que también ofrece funciones de control rápido y conveniente para toda clase de máquinas en automatización industrial.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN**

#### **4.1. Procesos en la construcción del desmineralizador**

Para poder construir hay que tener dominio y conocimientos de varias habilidades técnicas; además de tomar en cuenta las normativas que rigen a nivel local y mundial de los diferentes procesos que se usara en la construcción; montaje y operación del desmineralizador de agua. Para construir el equipo necesitamos llevar un proceso ordenado y sistematizado que se lo desarrolláremos a continuación.

##### **4.1.1. Obtención de materiales y equipos**

Primeramente se procedió con la adquisición y/o pedidos de todos los materiales y equipos necesarios para la construcción del sistema.

Los materiales secundarios como tubos estructurales, tuberías PVC, accesorios, etc., se los adquirió en varios centros comerciales de la ciudad mientras que para los equipos y materiales especiales o principales como los tanques de fibra de vidrio, los medios filtrantes y los equipos de automatización se realizó el pedido a medida y con las especificaciones requeridas a las empresas privadas SIEMA de Santo Domingo (automatización) y Hidroecuador de la ciudad de Quito (árbol de válvulas, tanques y medios filtrantes).

##### **4.1.2. Construcción estructural**

Con el diseño y planos realizados se procedió al corte y soldadura de los tubos estructurales de espesor y medidas ya precisadas en el capítulo de diseño.



**Figura 4.1**  
**Tubos cuadrados estructurales**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Con soldadura eléctrica y electrodo E-6011 se procedió a soldar los marcos de la estructura tal y como el diseño. Se soldó a la base cuatro ruedas metálicas, se colocó una plancha de aluminio corrugado con remaches, se procedió a limar y pulir asperezas utilizando amoladora y lija.

**Figura 4.2**  
**Marcos principales soldados**



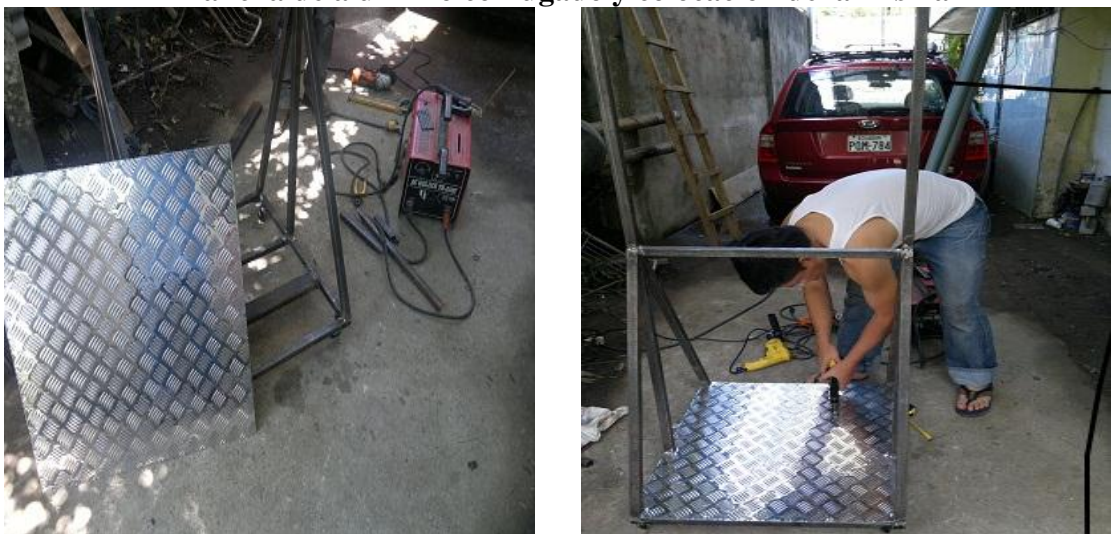
**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.3**  
**Ruedas soldadas y estructura soldada**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.4**  
**Plancha de aluminio corrugado y colocación de la misma**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Luego de armar y pulir la estructura se procedió a masillarla. Luego se procedió a la pintura dando capas base y final de color azul oscuro con pintura anticorrosiva.

Al mismo tiempo se engraso las ruedas metálicas y coloco protectores plásticos en los extremos de los brazos de la estructura.

**Figura 4.5**  
**Base colocada y estructura libre de asperezas**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Se utilizó pintura anticorrosiva para evitar la corrosión del equipo causada por las condiciones donde va operar. El proceso de pintado se lo hizo mediante el uso de un compresor de aire acoplado con un soplete. El color a utilizar fue un azul marino, en honor al color de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

**Figura 4.6**  
**Masillado y acabado final de la estructura**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 4.1.3. Montaje de los filtros

Con los tanques de fibra de vidrio adquiridos a la medida de los requerimientos y los medios filtrantes en la cantidad necesaria se procedió al llenado de los mismos.

**Figura 4.7**  
**Tanque de PRFV y medios filtrantes**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Se procedió a la medición y corte de los tubos o ductos de aspiración (PVC de 3/4”), uno por cada tanque, y colocación de los respectivos distribuidores inferiores.

**Figura 4.8**  
**Medición de ductos y distribuidores o difusores inferiores**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Se colocó el ducto al interior del tanque asegurándose de su correcta posición con respecto a una cavidad en el fondo del tanque donde encaja perfectamente el distribuidor. Enseguida se tapa el otro lado del tubo o ducto con cinta adhesiva para evitar que el medio filtrante entre en el mismo al momento de insertar los materiales.

**Figura 4.9**  
**Cavidad en el fondo del tanque y colocación del ducto**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.10**  
**Obstrucción de la entrada superior del ducto**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Una vez efectuado esto se procede con el llenado del primer tanque el “Filtro Rápido”. La primera parte del tanque (inferior) se debe llenar con una capa de grava gris previamente lavada, hasta cubrir unos 15 cm sobre el distribuidor inferior. Esta es la cama inferior de los tanques que sirve como sostén de las medias filtrantes.

La grava gris posee naturalmente un sin número de impurezas, arcilla, arena, residuos vegetales, etc., los cuales hay que extraer totalmente para evitar que estos se sedimenten y/u obstruyan a los distribuidores o peor aún obstruyan los canales del árbol de válvulas.

**Figura 4.11**  
**Saco de grava gris y lavado de la misma**



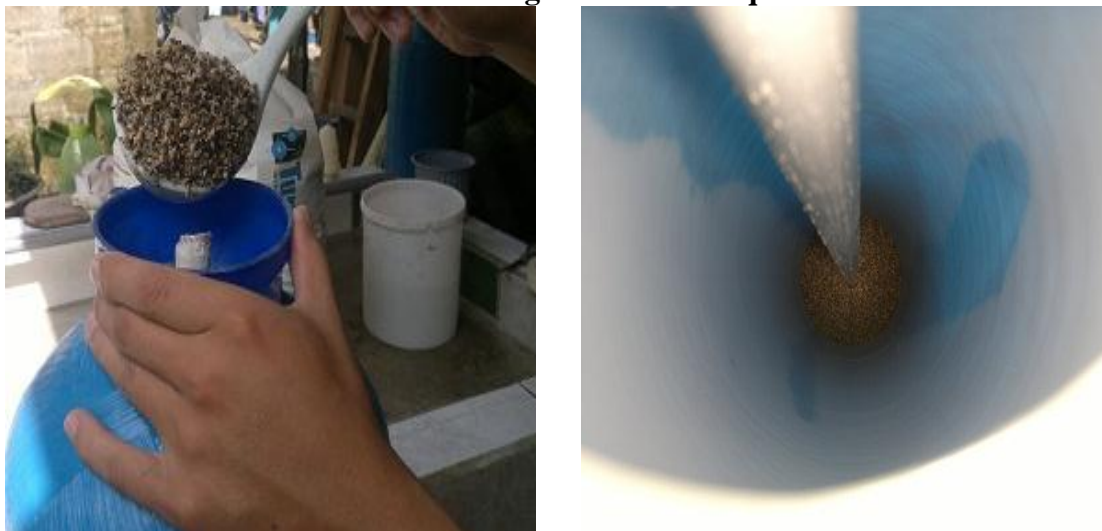
**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.12**  
**Grava gris limpia**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.13**  
**Llenado de la grava en los tanques**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Con la grava ya en los tanques se procede a llenar con las medias filtrantes a los mismos (en la medida expuesta en el diseño), “Turbidex” (cristales de zeolita) para el filtro rápido y resina de intercambio iónico “Purolite” para el ablandador.

**Figura 4.14**  
**Saco con un pie<sup>3</sup> de Turbidex (zeolita)**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Para el procedimiento de llenado se recomienda utilizar guantes para evitar cualquier contaminación con impurezas a las medias filtrantes.

**Figura 4.15**  
**Llenado de Turbidex al tanque Filtro Rápido**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

El tanque se llenó de zeolita hasta que esta cubriese un 75% de su capacidad total aproximadamente.

**Figura 4.16**  
**Llenado y vista del Turbidex en el Filtro Rápido**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



**Figura 4.17**  
**Saco con un pie<sup>3</sup> de Purolite (resina de intercambio iónico)**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

El tanque se llenó resina hasta un que esta cubriese un 75% de su capacidad total aproximadamente.

**Figura 4.18**  
**Llenado de Purolite al tanque Ablandador**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.19**  
**Vista del Purolite en el Ablandador**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

#### 4.1.4. Montaje del tanque de regeneración

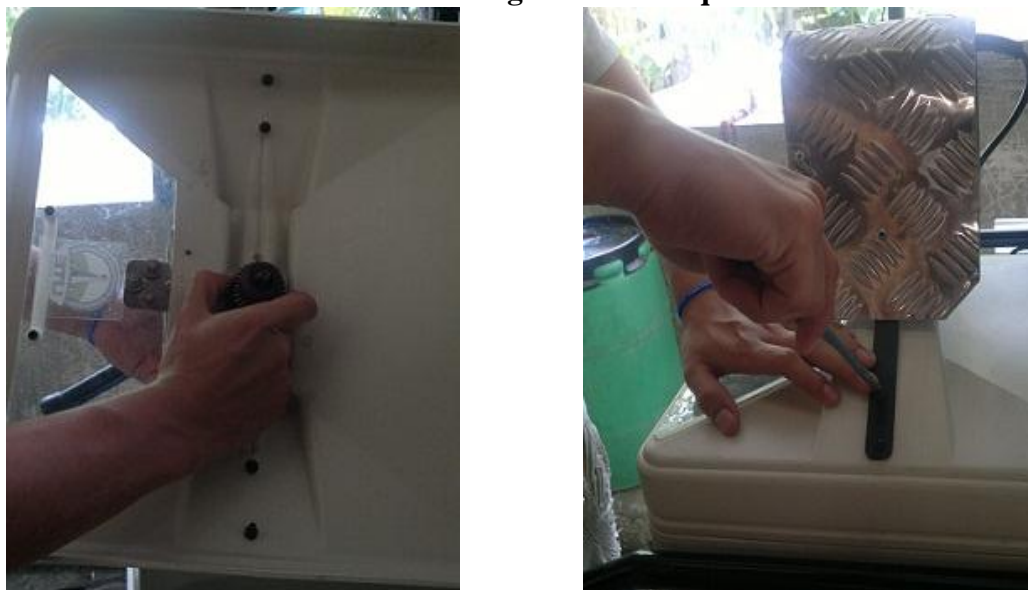
Como tanque de regeneración se adquirió un recipiente plástico al cual se le realizaron las adecuaciones necesarias. Se perforó el orificio para la manguera de regeneración, se colocó una tapa en acrílico transparente como visor y entrada de sal, también se sujetó en la parte superior el motor para el agitador.

**Figura 4.20**  
**Montaje de una tapa de acrílico**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.21**  
**Colocación del motor del agitador al tanque de salmuera**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Con una varilla de acero roscado de 3/8" y aspas metálicas se construyó el eje del agitador como se muestra en el diseño y debido a que la salmuera es altamente dañina para el acero se recubrió con fibra de vidrio todo el cuerpo del eje.

**Figura 4.22**  
**Eje agitador recubierto en fibra de vidrio**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

En un tubo de PVC de 2” se hizo ranuras verticales en la parte inferior para que sirvan con rejillas ante la válvula check de pie del sistema succionador de salmuera.

**Figura 4.23**  
**Tubo protector, válvula check de pie y ducto de succión completo**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

En la parte inferior del tanque se colocó una guía para evitar el cabeceo del eje agitador.

**Figura 4.24**  
**“Bushing”, sistema de succión, vista del interior del tanque armado**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

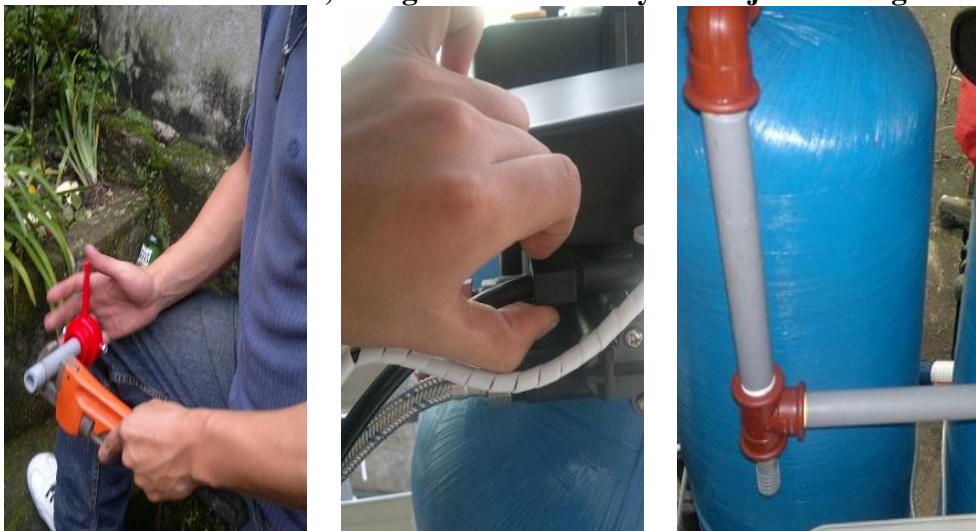
Finalmente se monta el sistema succionador de salmuera mediante acoples rápidos y se ajusta el eje agitador al mandril. Con el objetivo de mantener al eje agitador centrado durante el mezclado se colocó un “bushing” plástico en el fondo del tanque esto se muestra en la figura 4.24.

#### 4.1.5. Montaje Hidráulico

Terminado el montaje del tanque de regeneración se procedió con el armado hidráulico, es decir el conexionado de tubería PVC de ½” tal y como el diseño 3D (Ver Plano 10.000).

Desde entonces los tanques Filtro Rápido y Ablandador se sujetaron a la estructura. Se realizó el roscado a las tuberías y conecto cuidadosamente con teflón. Se montó el desagüe de los filtros, la tubería de entrada y de salida, se conectó la manguera de succión de salmuera entre el cabezal del ablandador y tanque de regeneración con sus respectivos empaques.

**Figura 4.25**  
**Roscado de tuberías, manguera de succión y montaje del desagüe**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

De igual forma se conectó el caudalímetro a la salida de agua tratada con el acople diseñado en nylon, y el presostato analógico a la entrada de agua cruda, y los demás elementos que componen el sistema hidráulico.

**Figura 4.26**  
**Presostato analógico y caudalímetro**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.27**  
**Instalación de la bomba, llave apertura rápida y llave de muestreo**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.28**  
**Armado total del bypass**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

#### 4.1.6. Construcción y montaje eléctrico

La primera fase del montaje eléctrico fue la construcción de la electrónica de control para los árboles de válvulas, el árbol del “Filtro Rápido” de tres pasos y el árbol de 5 pasos para el “Ablandador”.

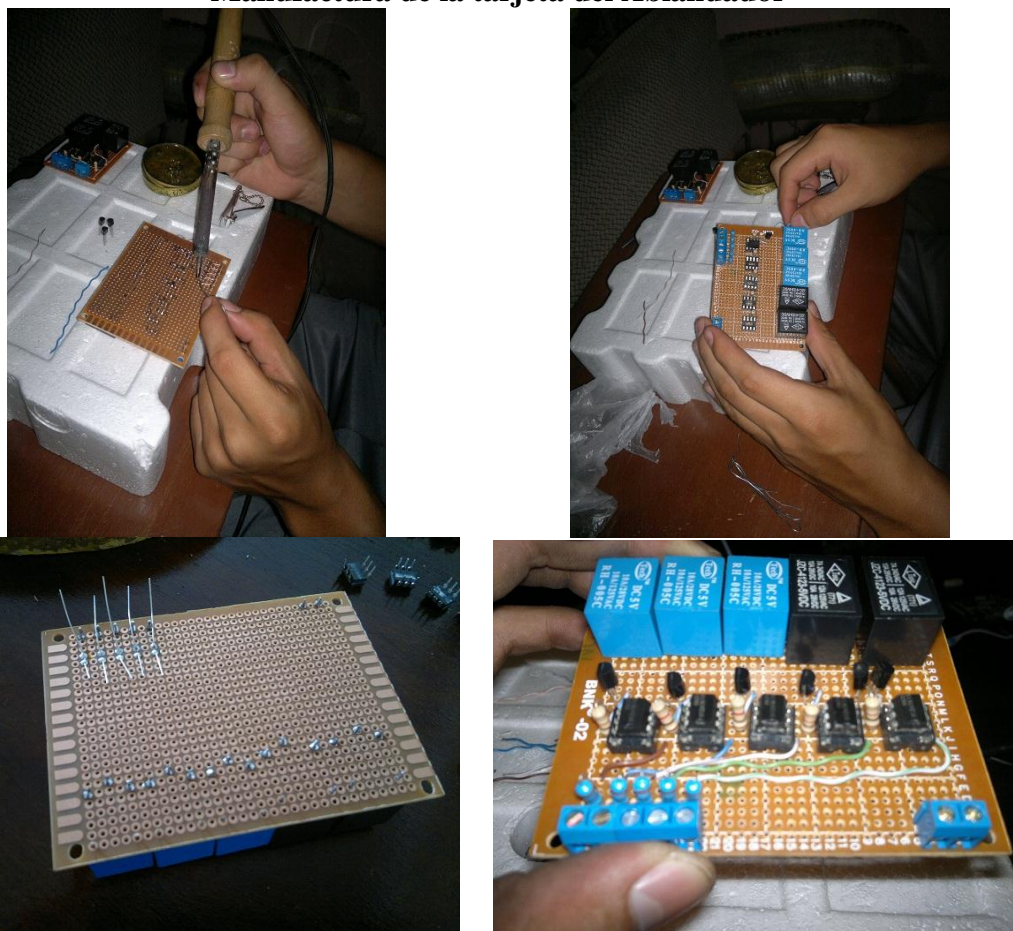
**Figura 4.29**  
**Árbol de válvulas filtro rápido y ablandador**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Los árboles de válvulas funcionan con motores a 12 VCD, y poseen conjuntos de sensores magnéticos (efecto hall) que indican con señales digitales (5 VDC) la posición del árbol, uno por cada paso o posición, para esto el engranaje tiene un pequeño imán en uno de sus brazos. Para hacer posible la automatización del sistema se debía diseñar y construir una interface electrónica de control de estos árboles con el fin de amplificar las señales de estos sensores y acoplarlas a las entradas del PLC Twido 20DRT (ver diagrama electrónico de la interface electrónica Anexos Q y R). Se procedió entonces a la construcción de las tarjetas controladoras tal y como en el diagrama diseñado, soldando los componentes a una baquelita perforada y acoplándoselas a los sensores de los árboles de válvulas.

**Figura 4.30**  
**Manufactura de la tarjeta del Ablandador**

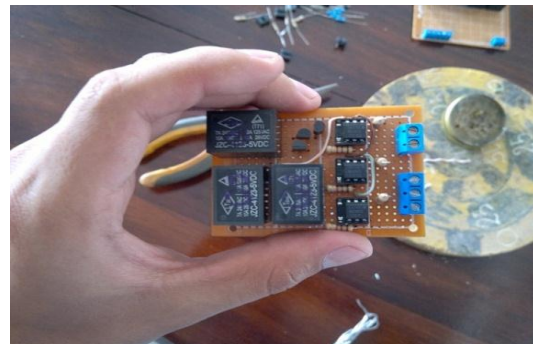
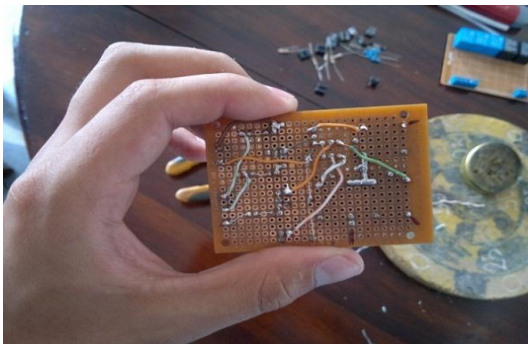
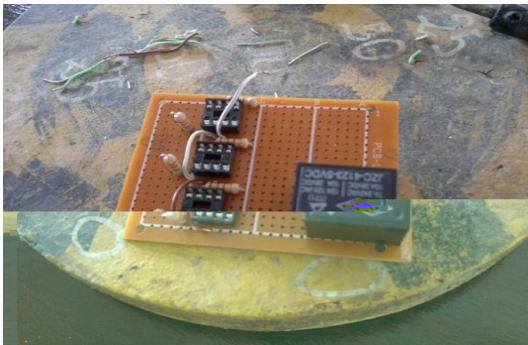
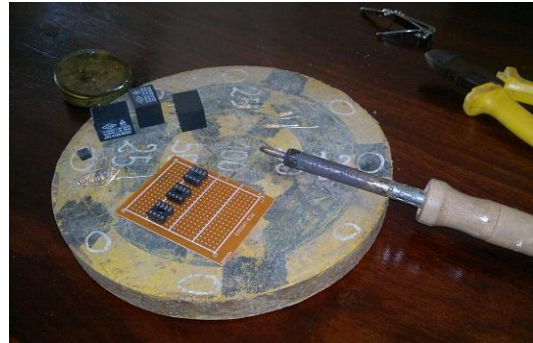
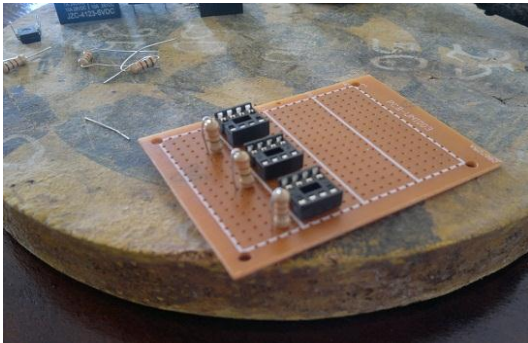
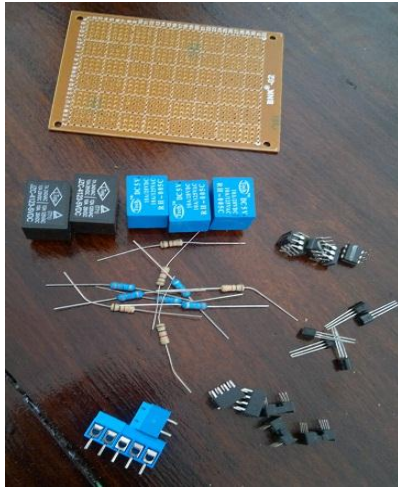


**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



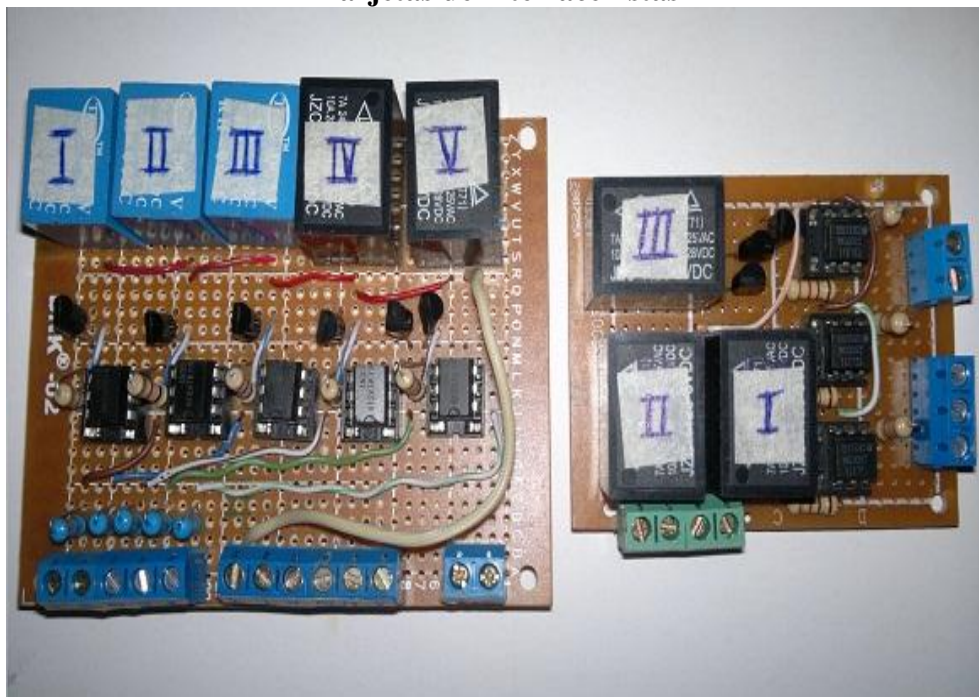
**Figura 4.31**  
**Manufactura de la tarjeta del Filtro Rápido**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

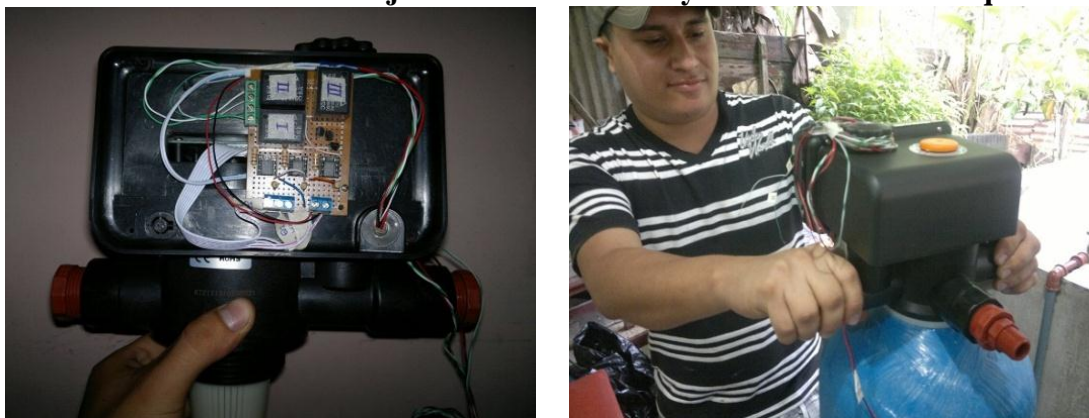
Con las interfaces construidas y colocadas en los cascos de los árboles de válvulas, se prosiguió con la instalación de los mismos en los tanques. Para ello se colocan los empaques y distribuidores superiores respectivos, se enrosca hasta lograr ajuste y colocan las tapas de cubierta.

**Figura 4.32**  
**Tarjetas de interface listas**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.33**  
**Instalación de las tarjetas en los cabezales y los mismos a los tanques**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.34**  
**Vista del Filtro Rápido y Ablandador con sus cabezales listos**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Después se procede con el armado del tablero eléctrico. Se coloca las respectivas protecciones, fuentes, contactores, etc., con el conexionado mostrado en el Anexo N. Se instala el cableado de la bomba y el agitador del tanque de regeneración.

**Figura 4.35**  
**Vista del tablero montado**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

#### 4.1.7. Montaje de la Automatización

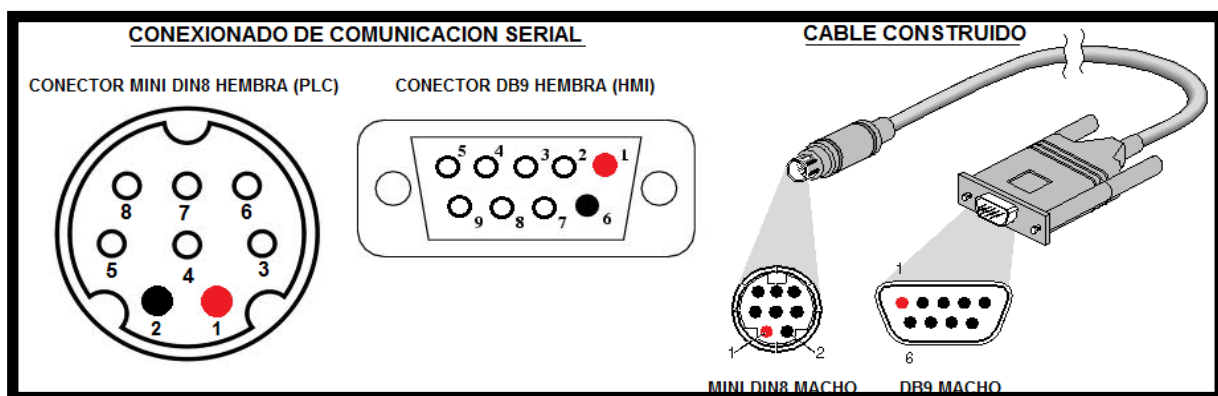
Al mismo tiempo que se efectuaba la instalación de fuerza en el tablero también se montó los equipos de automatización, el PLC Twido 20 DRT, la fuente de 24 VDC para alimentar al HMI, y todo el cableado tanto de alimentación y comunicación entre cabezales y fuentes, hacia estos equipos.

**Figura 4.36**  
**PLC, fuente y vista del tablero armado**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

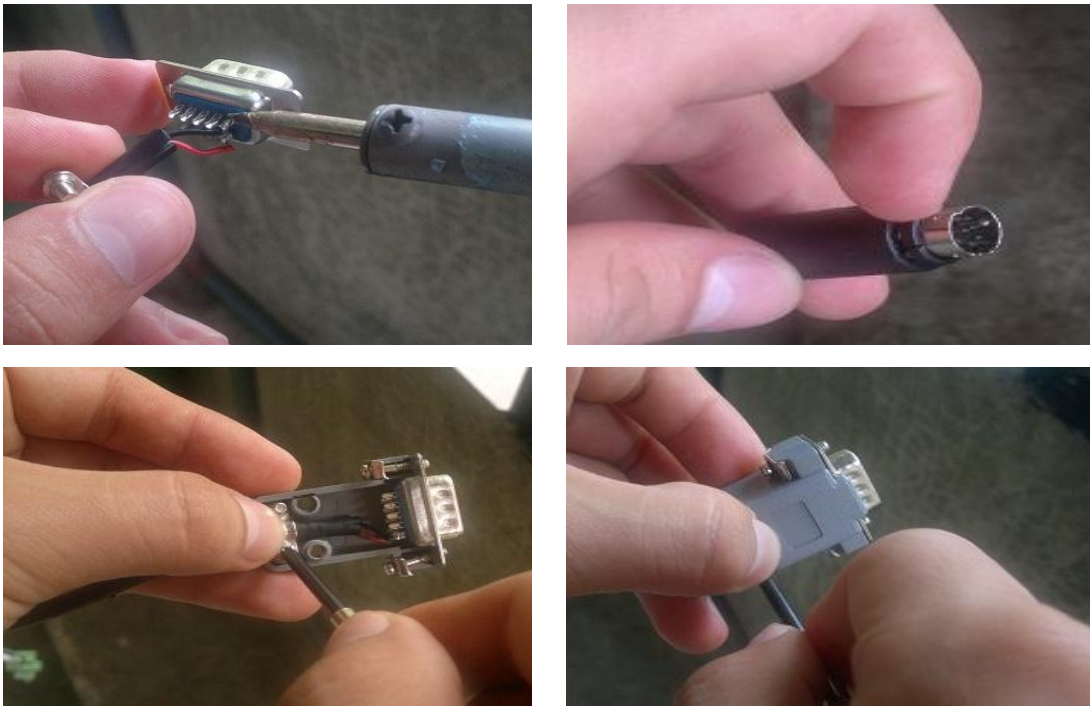
**Figura 4.37**  
**Cable de comunicación HMI DOP-B07E415/PLC TWIDO 20DRT**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Debido a que la comunicación entre PLC y HMI se realiza por el puerto COM2 de este último con conector DB9 hembra se construyó el cable de comunicación serial con un conector DB9 macho y un conector mini Din8 macho, teniendo en cuenta la polaridad de los dos cables a soldar como se muestra en la figura 4.37.

**Figura 4.38**  
**Construcción del cable de comunicación**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.39**  
**Puerto de conexión COM2 del HMI**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Se construyó una caja de acrílico azul para colocar al HMI y adquirió un brazo mecánico móvil para montar al equipo completo dándole así libertad de movimiento y ergonomía.

**Figura 4.40**  
**Caja acrílica y brazo móvil para el HMI**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 4.41**  
**Sistema armado completamente**



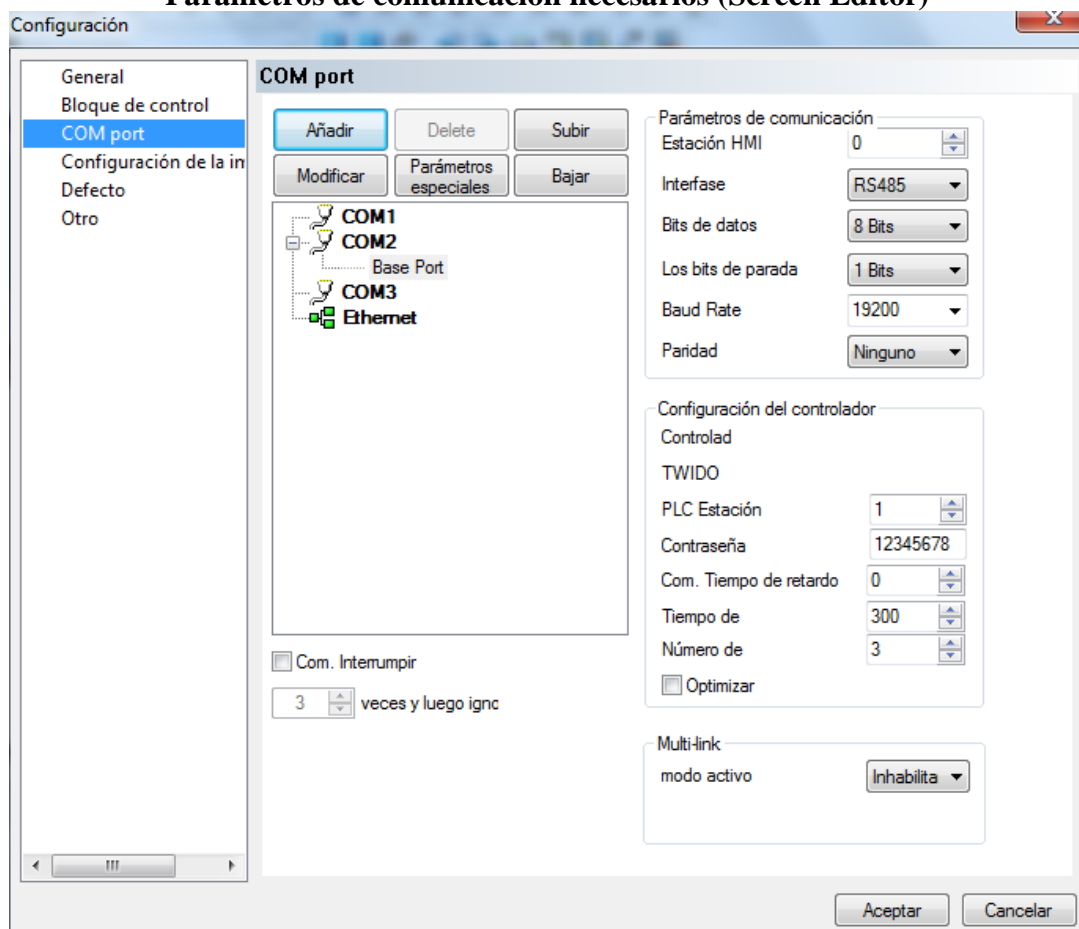
**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

#### 4.1.8. Pruebas en vacío del sistema

Con el sistema completamente armado se procedió a la realización del software de control del HMI en el Screen Editor y la programación del PLC en el TwidoSuite. Información sobre la programación de los equipos ver manual de usuario y Anexo J. Para dar vida al sistema se procedió a cargar los respectivos programas en los equipos sin antes primero configurar las respectivas configuraciones de comunicación. Se realizó las pruebas en vacío de los árboles de válvulas con las interfaces construidas y demás accionamientos, repetidas veces desde el touch panel, con el fin de asegurar un control preciso. (Los mismos parámetros de comunicación del PLC deben establecerse en el HMI).

**Figura 4.42**  
**Parámetros de comunicación necesarios (Screen Editor)**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

## 4.2. Costos Totales

Para estimar un costo total del sistema del desmineralizador se deben determinar los rubros de la formula siguiente:

$$CT = CF + CV$$

### Dónde:

**CT:** Costo Total

**CF:** Costo Fijo

**CV:** Costo Variable

El CF o costo fijo es inestimable para este caso, por ser una construcción única son irrelevantes y/o inexistentes, amortizaciones, arriendos, impuestos, gastos administrativos, etc. por lo que para nuestro fin:

$$CT = CV = MP + MO + CT_{ING} + C_V$$

### Dónde:

**CT:** Costo Total

**CV:** Costo Variable

**MP:** Costos de Materia prima (materiales y equipos)

**MO:** Costos de Mano de obra

**C<sub>ING</sub>:** Costos de Ingeniería

**C<sub>V</sub>:** Costos Varios



A continuación se muestran los costos tabulados de Materia Prima (materiales y equipos) y de Mano de Obra.

Cabe recalcar que la mano de obra se realizó en un 100% por parte de los desarrolladores de este trabajo, por lo que estos rubros se estimaron con respecto a valores de mano de obra del mercado a la fecha.

<b>COSTOS DE MANO DE OBRA</b>			
DESCRIPCIÓN	TIEMPO (HORAS)	COSTO/HORA (U\$S)	COSTO TOTAL (U\$S)
<b>CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA</b>			
MEDICIÓN Y CORTE	1	10	10
SOLDADO	2	15	30
PERFORACIÓN Y REMACHADO	0,5	5	2,5
PÚLIDO Y MASILLADO	2	5	10
PINTURA	1	15	15
		<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>67,5</b>
<b>HIDRÁULICA, FILTROS Y TANQUE DE REGENERACIÓN</b>			
PREPARACIÓN DE FILTROS	5	30	150
PREPARACIÓN TANQUE REGENERACIÓN	2	10	20
MAQUINADO ACOPLA DE CAUDALÍMETRO	0,5	20	10
MONTAJE TUBERIAS Y ACCESORIOS	3	15	45
		<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>225</b>
<b>CONSTRUCCIÓN ELECTRÓNICO, ELÉCTRICO Y AUTOMÁTICO</b>			
TARJETAS ELECTRÓNICAS	5	20	100
MONTAJE TABLERO ELÉCTRICO	2	15	30
CONEXIONADO ELÉCTRICO Y CABLEADO	2	20	40
MONTAJE AUTOMATIZACIÓN	1	40	40
		<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>210</b>

**COSTO TOTAL MANO DE OBRA: U\$S 502,5**

<b>COSTOS MATERIALES Y EQUIPOS</b>					
<b>ESTRUCTURA METÁLICA</b>					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/UNIDAD (U\$S)	TOTAL (U\$S)
1	Tubo estructural cuadrado 25x1,2mmx6m	2	U	14,80	29,60
2	Electrodos E-6011	2	Libra	2,50	5,00
3	Disco de corte	2	U	1,60	3,20
4	Disco de pulir	1	U	1,85	1,85
5	Lijas para metal	3	U	0,50	1,50
6	Remaches 1/8"	50	U	0,02	1,00
7	Plancha de aluminio corrugado 60x60 cm	1	U	25,00	25,00
8	Brocas metal 1/8"	3	U	0,25	0,75
9	Acelerante en crema (mustang)	1	U	1,20	1,20
10	Masilla Mustang	1	Litro	9,10	9,10
11	Pintura anticorrosiva azul ultra mar	1	Litro	2,00	2,00
12	Cancamo niquelado cerrado 20 mm	10	U	0,02	0,15
13	Rueda metálica	4	U	1,65	6,60
14	Brazo soporte metálico	1	U	20,50	20,50
15	Pintura spray negra	1	U	3,20	3,20
16	Grilletes para cable	4	U	0,34	1,36
17	Cable acerado recubierta plástica 1/4"	5	Metros	1,80	9,00
18	Cinta maskin	1	U	0,90	0,90
19	Tapa caucho (juego)	1	U	2,70	2,70
				<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>124,61</b>
<b>HIDRÁULICA, TANQUES Y MEDIOS FILTRANTES</b>					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/UNIDAD (U\$S)	TOTAL (U\$S)
1	Tanque PRFV 9x50 pulgadas	2	U	290	580
2	Saco Resina PUROLITE 1 pie <sup>3</sup>	1	U	200	200
3	Saco Zeolita TURBIDEX 1 Pie <sup>3</sup>	1	U	105	105
4	Saco pequeño grava gris	1	U	15	15
5	Tanque HDPE 80 litros	1	U	40	40
6	Árbol de válvulas 3 pasos (Filtro rápido)	1	U	310	310
7	Árbol de válvulas 5 pasos (Ablandador)	1	U	420	420
8	Distribuidores inferiores plásticos 3/4"	2	U	1,5	3
9	Distribuidores superiores plásticos 3/4"	2	U	1,5	3
10	Válvula check plástica de pie 3/8"	1	U	2,5	2,5

11	Acople rápido 3/8"	1	U	1,2	1,2
12	Tubo plástico 3/8"	1	Metro	0,8	0,8
13	Manquera negra plástica 3/8"	1	Metro	0,75	0,75
14	Tubo PVC 2"	1	Metro	1,5	1,5
15	Acrílico transparente 40x20 cm	1	U	3	3
16	Varilla metálica roscada 3/8"	1	U	1,87	1,87
17	Manija tiradera plástica	1	U	0,8	0,8
18	Arandela plana	10	U	0,025	0,25
19	Tornillos	10	U	0,025	0,25
20	Tuerca hexagonal 3/8"	3	U	0,2	0,6
21	Bisagra	1	U	0,88	0,88
22	Hélice metálica	1	U	1,8	1,8
23	Recubrimiento en Fibra de vidrio	1	U	15	15
24	Nylon de plástico para maquinar	1	U	4	4
25	Racor plástico	1	U	0,8	0,8
26	Acople flexible 1/2" 40 cm	1	U	2,8	2,8
27	Kalipega 125 cc	1	U	2,23	2,23
28	Teflón	2	U	0,7	1,4
29	Silicon pasta	1	U	1,5	1,5
30	Bomba PEDROLLO 1 Hp 120 VAC	1	U	225	225
31	Taladro 500 Watts BP	1	U	25	25
32	Tubo roscable RIVAL 1/2" 6 m	1	U	4,5	4,5
33	Tubo roscable RIVAL 3/4" 6 m	0,50	U	8,5	4,25
34	Reducción polimex 3/4 a 1/2 pulg.	2	U	0,95	1,9
35	Bushingpolimex 1 a 1/2 pulg.	3	U	1	3
36	Codo polimex plástico 1/2"	8	U	0,4	3,2
37	TEE polimex plástica 1/2"	4	U	0,46	1,84
38	Universal polimex plástica 3/4"	1	U	2,1	2,1
39	Universal polimex plástica 1/2"	2	U	1,5	3
40	Acople bronce 3/8 a 1/4 pulg.	1	U	1,5	1,5
41	Bushingpolimex 1 a 1/4 pulg.	2	U	0,3	0,6
42	Neplo	1	U	0,27	0,27
43	Llave metálica de salida 1/2"	1	U	2,8	2,8
44	Llave de apertura rápida 1/2" plástica	3	U	1,7	5,1
45	Unión roscada 1/2" 15 cm	1	U	0,55	0,55
46	Unión roscada 1/2" 10 cm	2	U	0,4	0,8
47	Unión roscada 1/2" 5 cm	5	U	0,25	1,25
48	Manguera flexible 1/2"	10	Metros	0,5	5
49	Tornillería varia	1	U	5	5
				<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>2016,6</b>

<b>ELECTRÓNICA, CONTROL ELÉCTRICO, INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN</b>					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO/UNIDAD (U\$S)	TOTAL (U\$S)
1	Caudalímetro	1	U	300	300
2	Manómetro analógico	1	U	5,4	5,4
3	HMI DOP-B07E415	1	U	940	940
4	PLC TWIDO 20DRT	1	U	380	380
5	Fuente DVPPS02 24 VDC	1	U	83,5	83,5
6	Contactador 3F LS 120 V	2	U	13,6	27,2
7	Relé térmico CSC 10 Amp.	1	U	12,4	12,4
8	Gabinete metálico 30x20x16 cm	1	U	28	28
9	Riel din	1	Metros	1,7	1,7
10	Breaker LS 20 Amp.	1	U	5,6	5,6
11	Portafusible	1	U	1,55	1,55
12	Fusible 2 Amp.	1	U	0,3	0,3
13	Fuente 12 VDC	1	U	15	15
14	Fuente 5 VDC	1	U	15	15
15	Cable concéntrico 3x12 AWG	1	Metros	2,3	2,3
16	Cable 18 AWG	20	Metros	0,25	5
17	Espiral dexson (funda)	1	U	2	2
18	Amarras dexson 15 cm (funda)	1	U	1,21	1,21
19	Caja acrílica 25x20x8 cm	1	U	22	22
20	Cable termorretráctil apantallado 3 mm	15	Metros	1,5	22,5
21	Cable USB tipo A/ tipo B (impresora)	1	U	3,5	3,5
22	Conector DB9 macho + carcasa	1	U	1,5	1,5
23	Conector Mini Din 8 pines	1	U	0,9	0,9
24	Estaño	2	Metros	0,4	0,8
25	Cautín 60 Watts	1	U	3	3
26	Pomada para soldar	1	U	2	2
27	Prensa estopa	2	U	0,45	0,9
28	Resistencias	20	U	0,1	2
29	Borneras 3 pines	3	U	0,6	1,8
30	Borneras 2 pines	6	U	0,4	2,4
31	Transistores 2N3904	8	U	0,15	1,2
32	Relay 5 VDC	8	U	1	8
33	Socket 8 pines	8	U	0,5	4
34	Cable multipar cobre 4 pares	1	Metros	1,5	1,5
35	Baquelita perforada	2	U	0,6	1,2
36	Optoacopladores MOC IC 4N35	8	U	1,5	12
37	Tomacorriente	1	U	1,5	1,5

38	Parlante	1	U	5	5
39	Jack Estéreo 3,5 mm	1	U	0,5	0,5
40	Tornillería varia	1	U	5	5
				<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>1929,4</b>

**COSTO TOTAL MATERIA PRIMA: U\$S 4070,56**

Entonces:

$$CT = CV = MP + MO + CT_{ING} + C_V$$

$$CT = 4070,46 + 502,5 + 1000 + 100 \text{ (U$S)}$$

$$CT = \text{U$S } 5.672,96$$

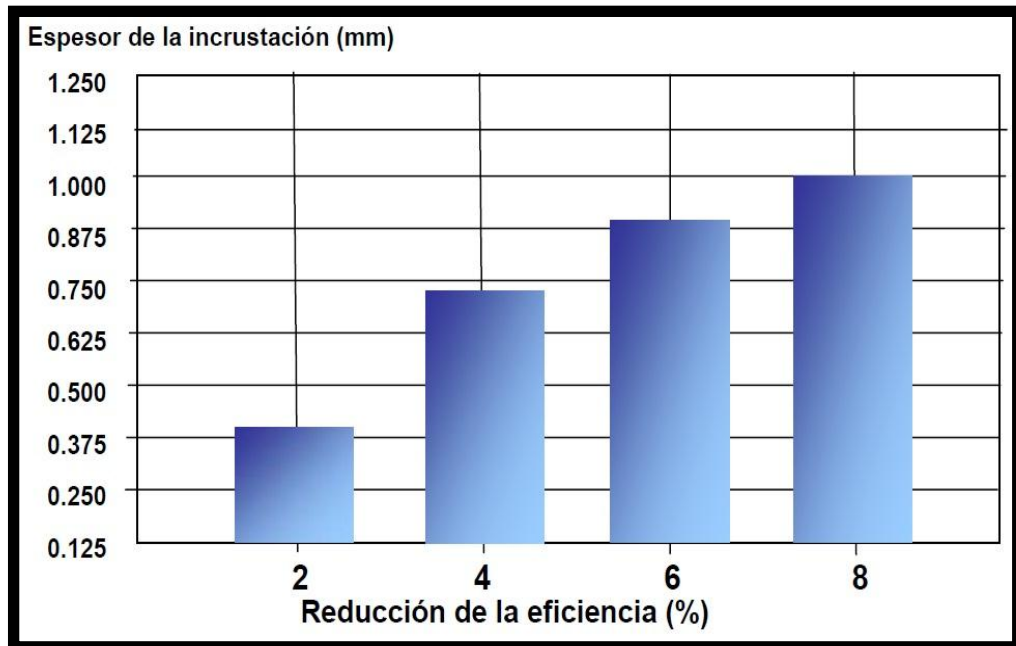
El costo total de la construcción del equipo de desmineralización de agua es de **U\$S 5.672,96**.

### 4.3. Viabilidad económica del diseño

Con el fin de dar a conocer la viabilidad económica de la construcción del sistema de desmineralización automática de agua de aporte, se evaluó los costos de operación y mantenimiento del caldero trabajando en sus condiciones actuales, para un año de funcionamiento. Como se explicó anteriormente el riesgo de tener en funcionamiento calderos sin un sistema de desmineralización de agua de aporte, es la reducción de la eficiencia en la transferencia de calor del mismo (Ver Figura 4.43).

Esto debido principalmente a las incrustaciones, lo que genera gastos extras o pérdidas económicas como consumo extra de combustible y mantenimiento, entendiéndose por mantenimiento a las operaciones de limpieza de las incrustaciones y/o reemplazo de ductos deteriorados.

**Figura 4.43**  
**Reducción de la eficiencia de la transferencia de calor vs espesor de la incrustación**



**Fuente:** CONAE (México) Comisión nacional para el ahorro de energía.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

#### 4.3.1. Gasto extra de combustible por año

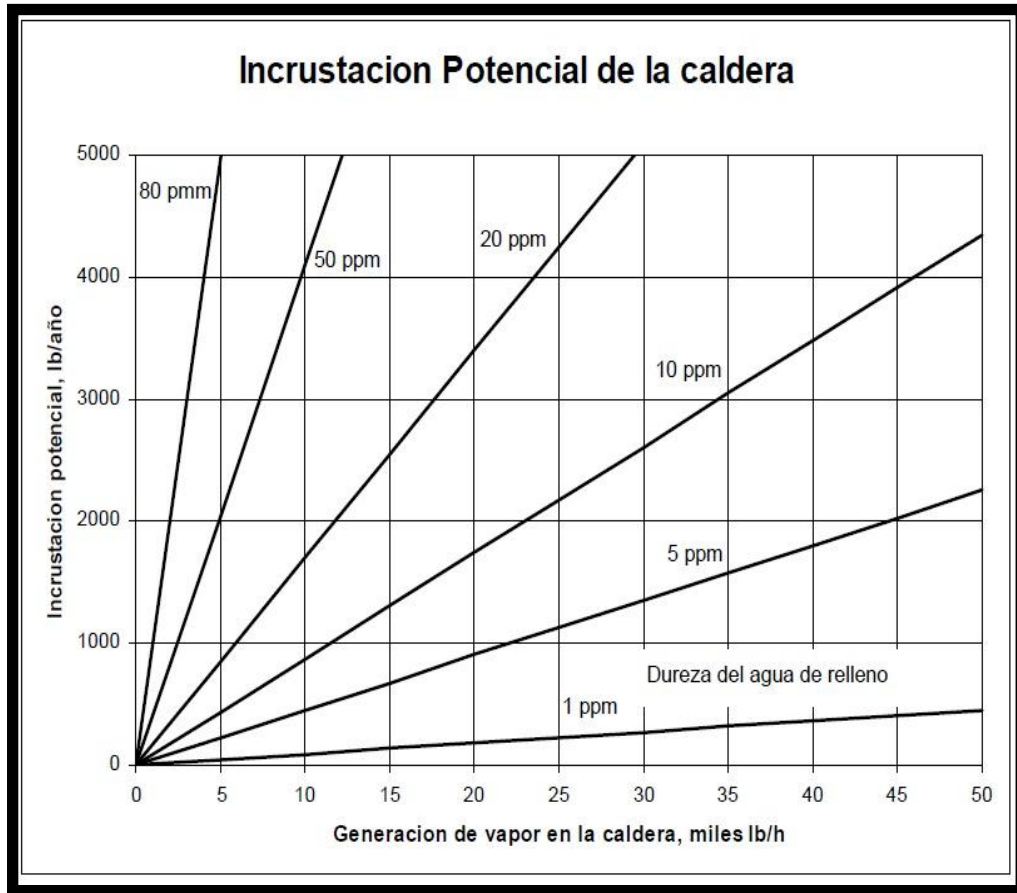
El consumo actual del caldero de 5 BHP en estudio es de 1,66 gal/hora y tiene una producción de vapor de 66,63 kg/hora, con estos datos podemos predecir la incrustación potencial de la cadera en un año con la figura 4.44.

Entonces:

$$\text{Generación de vapor} = 66,63 \text{ kg/h} \times \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 144,39 \text{ lb/h}$$

En la figura no existe gráfica para 98 ppm que es la dureza del agua de aporte actual pero se acogerá 80 ppm para efectos de cálculo.

**Figura 4.44**  
**Incrustación potencial de la caldera**



**Fuente:** ICAITI, Mejoramiento de la eficiencia de operación de calderas de vapor.  
**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Debido a que el caldero es de una potencia muy baja no se puede apreciar valores exactos para 80 ppm de dureza y 144,39 lb/h de vapor, pero podemos aproximarnos a un valor estimado mediante la interpolación lineal, con los puntos (0, 0) y (5000, 5000) de la gráfica de 80 ppm, como sigue:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$y = \frac{5000 - 0}{5000 - 0} (144,39 - 0) + 0$$

$$y = 144,39$$

Con esto la acumulación de incrustación en la caldera en un año con 80 ppm de dureza es de aproximadamente 145 libras (65,9 kg), sin embargo como se acoto la dureza del agua de aporte actual del caldero supera los 80 ppm. Como se sabe el crecimiento de incrustaciones se da sobre el lado de agua de las superficies de transferencia de calor y es más severa en las zonas donde ocurre la máxima transferencia de calor, es decir el área de transferencia de calor (área del hogar del horno, cámara de combustión interna y el área circunferencial de todos los tubos de convección).

De datos proporcionados por el de diseño del caldero en estudio sabemos que el área de transferencia de calor del mismo es de  $2,71 \text{ m}^2$ . La densidad de las incrustaciones ( $\text{CaCO}_3$ ) es variable entre  $2.72$  y  $2.92 \text{ gr/cm}^3$ . Por lo que el espesor de la capa de incrustación formada sobre el área de transferencia de calor sería de:

$$e = \frac{65,9 \text{ kg}}{2920 \text{ kg/m}^3} = 0,000832 \text{ m} \cong 0,03 \text{ pulg} \cong \frac{1}{32} \text{ pulg}$$

La figura en el tabla 3.17 se muestra la relación existente entre el gasto extra de combustible por espesor de incrustación.

**Tabla 4.1**  
**Gasto extra de combustible por espesor de incrustaciones**

Espesor de incrustación en pulg.	Gasto extra de combustible %
1/64	6.5
1/32	8.5
1/25	9.3
1/20	11.1
1/16	12.4
1/4	25.0

**Fuente:** Diversy Wyandotte Quimica S. A., Tratamiento de aguas para calderas y sistemas de enfriamiento, página 27.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012



Tendríamos un gasto extra de combustible del 8,5%. El caldero consume actualmente 1,66 gal/hora, como es de uso didáctico y su encendido y operación es esporádico, pero supondremos una operación diaria de 8 horas. El consumo de combustible anual del caldero trabajando solo durante ocho horas diarias sería de 4847,2 galones/año. Con el gasto extra de combustible del 8,5% este consumo se elevaría a 5259,21 galones/año, lo que representa un gasto extra anual de U\$S 412,01 (costo actual) solo en combustible.

#### **4.3.2. Gastos extras en mantenimiento**

Estos gastos comprenden la utilización de productos químicos para limpieza del caldero, generalmente son los secuestrantes de oxígeno, dispersantes, anti-incrustantes, protectores y neutralizantes para las líneas de retorno de condensado. También se abarca reparación de partes metálicas o ductos deteriorados por la presencia de incrustaciones. El gasto extra de mantenimiento del caldero anual se estima en un 10% de su valor total, esto sería de aproximadamente U\$S900 dólares.

#### **4.4. Resultados del análisis de la viabilidad económica del diseño**

Los gastos extras anuales para el caldero por combustible y mantenimiento suman en total la cantidad de U\$S 1312,01 dólares/año. Al comparar este resultado con el valor de inversión en este diseño (sistema automático de desmineralización), que incluye propiamente la construcción total del equipo, se encuentra que el proyecto es viable financieramente, y que el tiempo de recuperación del capital de inversión será de:

$$(U\$S 5672,96 / U) / (U\$S 1312,01 / \text{año}) = 4,32 \text{ años o } 52 \text{ meses}$$

Por lo que sí es factible realizar este proyecto con beneficios económicos y de calidad para la universidad y cualquier industria.

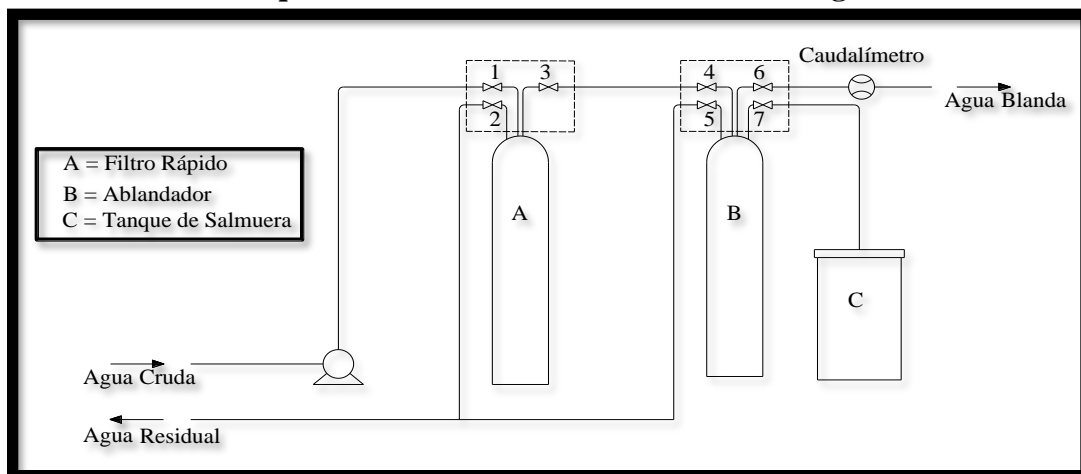
## CAPÍTULO V

### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 5.1. Configuración y funcionamiento del equipo desmineralizador de agua

El sistema de desmineralización de agua consta de dos filtros el primero es filtro rápido este se encarga filtrar las partículas sólidas, luego el agua pasa al ablandador donde se eliminara la dureza. Para la regeneración del intercambiador está colocado un tanque donde se almacenara la salmuera necesaria para la regeneración del ablandador. Como el agua de la red no tiene la suficiente presión ni caudal para alimentar a los filtros se requiere una bomba que eleve estos parámetros. Para lograr que el sistema funcione de una manera autónoma se utiliza un sistema de cabezal motorizado, el cual cumple funciones similares a un sistema automatizado con electroválvulas las cuales se abren y cierran de acuerdo al modo de operación del sistema, por lo cual el análisis de las funciones del equipo se hará por medio de la apertura y cierre de válvulas. Además se cuenta con un caudalímetro utilizado para determinar la regeneración de las resinas de los filtros.

**Figura 5.1**  
**Esquema del sistema desmineralizador de agua**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

La configuración que deben tomar las válvulas mediante el giro del motor eléctrico para cada tipo funcionamiento del equipo se describen a continuación.

### **5.1.1. Servicio**

Servicio se le conoce a la fase del funcionamiento en donde el agua está siendo procesada, es decir filtrada y suavizada. Se desarrolla haciendo pasar el agua por el filtro y luego de salir de este, por el ablandador, que lo envía luego al tanque de condensado.

Siguiendo la nomenclatura de la figura 5.1, debemos tener completamente abiertas las siguientes válvulas: 1, 3, 4 y 6 y todas las demás completamente cerradas, para que el sistema pueda estar en la función de servicio.

### **5.1.2. Retrolavado**

Esta función se realiza por separado en los dos equipos, primero en el filtro y luego en el ablandador. En ambas actividades el agua corre dentro del equipo en sentido contrario al sentido que tiene en la función servicio.

Para el retrolavado del filtro se deben mantener abiertas las válvulas 1 y 2, las demás deben estar cerradas. Para el retrolavado del ablandador se deben abrir las válvulas 1, 3, 4 y 5 mientras las demás deben permanecer cerradas.

### **5.1.3. Regeneración**

Esta operación consiste en hacer pasar una solución de sal en agua a través del ablandador para este proceso se requiere que las válvulas 1, 3, 4, 5 y 7 estén abiertas.

#### 5.1.4. Enjuague

Se realiza haciendo pasar agua cruda por el ablandador y desechándola por el drenaje, para ello se necesita abrir las válvulas 1, 3, 4 y 5 junto a todas las demás cerradas.

#### 5.1.5. Rellenado

Luego del enjuague, se abre las válvulas 1, 3, 4 y 7 para volver a llenar el tanque de salmuera luego de esto el sistema completo está listo para volver a la función de servicio.

### 5.2. Modos de operación

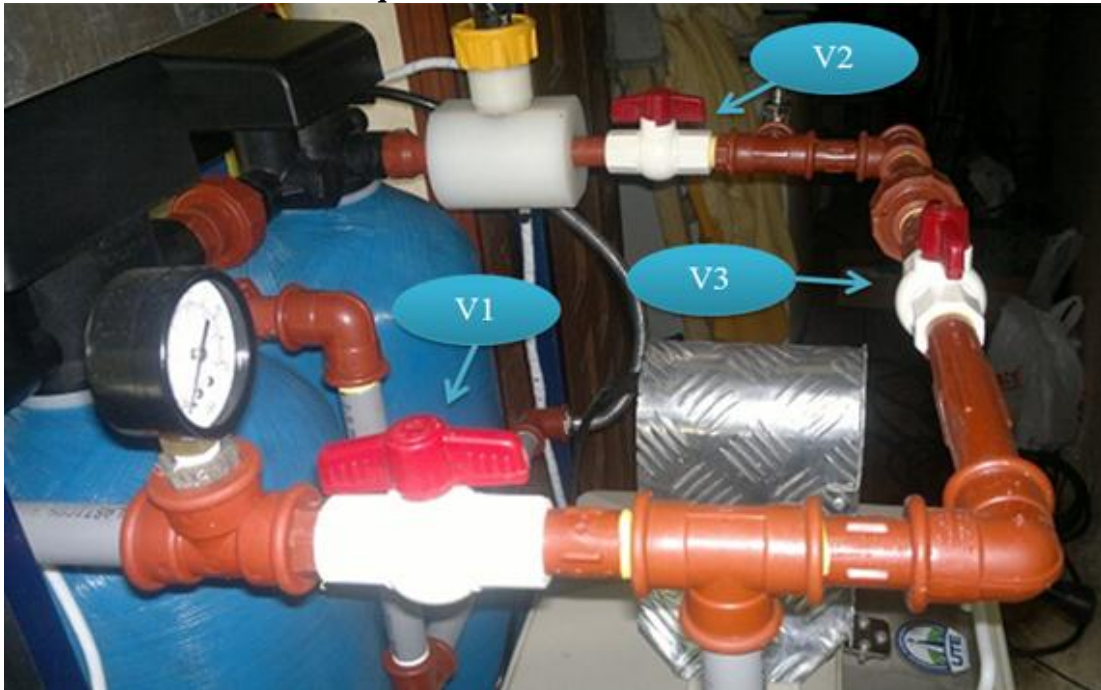
Las calderas de vapor son equipos que deben operar con un suministro de agua continuo por tal motivo el sistema consta con dos modos de operación:

- ↳ *Modo automático:* Este es el principal modo de funcionamiento y en el cual el equipo debe permanecer siempre en esta configuración el agua cruda succionada por la bomba pasa por los dos filtros y al final del proceso se obtiene agua blanda.
  
- ↳ *Modo by-pass:* Este es un modo alternativo de funcionamiento que solo debe usarse en caso de que se presente algún inconveniente con el modo automático, en esta configuración el agua succionada por la bomba pasa directamente hacia la caldera sin ningún tipo de tratamiento; es recomendable solo usar este tipo de configuración

Para poder establecer el modo de funcionamiento el equipo consta con un sistema de 3 válvulas de bola (Ver Figura 5.2) las cuales se abren y/o cierran para determinar cualquiera de las funciones que posee el equipo.

La figura 5.2 muestra las válvulas con que consta el sistema para que el equipo funcione el modo automático se deberán abrir las válvulas 1 y 2 mientras la válvula 3 permanece cerrada.

**Figura 5.2**  
**Esquema del sistema de válvulas**



**Fuente:** Vivienda del Señor Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

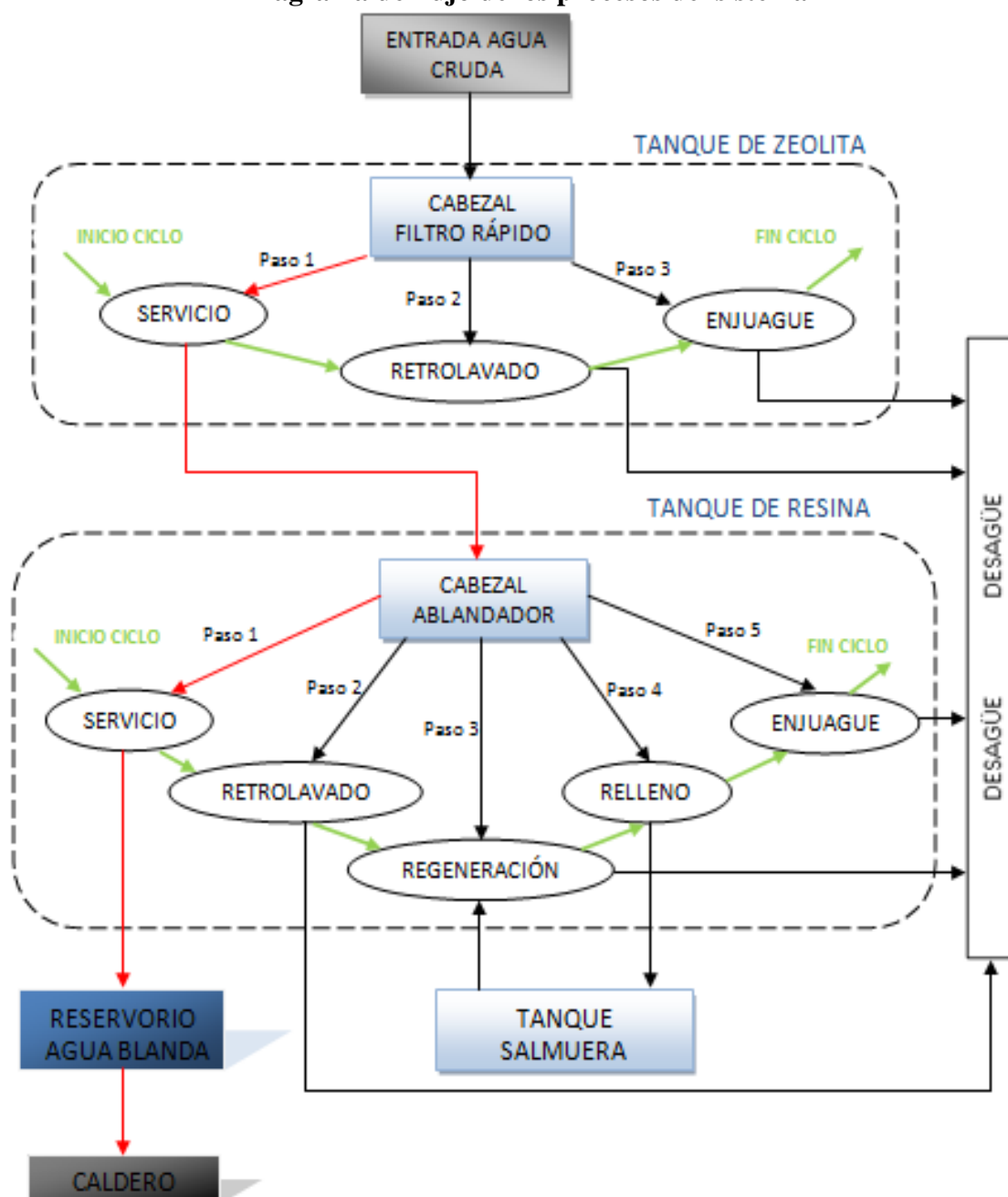
Para establecer como modo de operación de by-pass se deben cerrar las válvulas 1 y 2 mientras la válvula 3 debe permanecer abierta. Nunca deben estar todas las válvulas cerradas porque esto provocaría graves averías en la bomba.

### 5.3. Programación del sistema

Se diseñó y programó ocho SCREENs o pantallas en total, con el fin de dar total operatividad y control del proceso a la interface, sin dejar a un lado el orden y estética de la misma, brindando así un entorno amigable al usuario: El software cuenta con dos regímenes de operación, uno restringido y otro libre al acceso.

El usuario u operador tendrá acceso al entorno libre (automático), con el cual podrá supervisar el proceso (paro/marcha de sistema, observación de variables, configuraciones simples de entorno, etc.). En la figura 5.3 se muestra el diagrama de flujo del sistema en su totalidad.

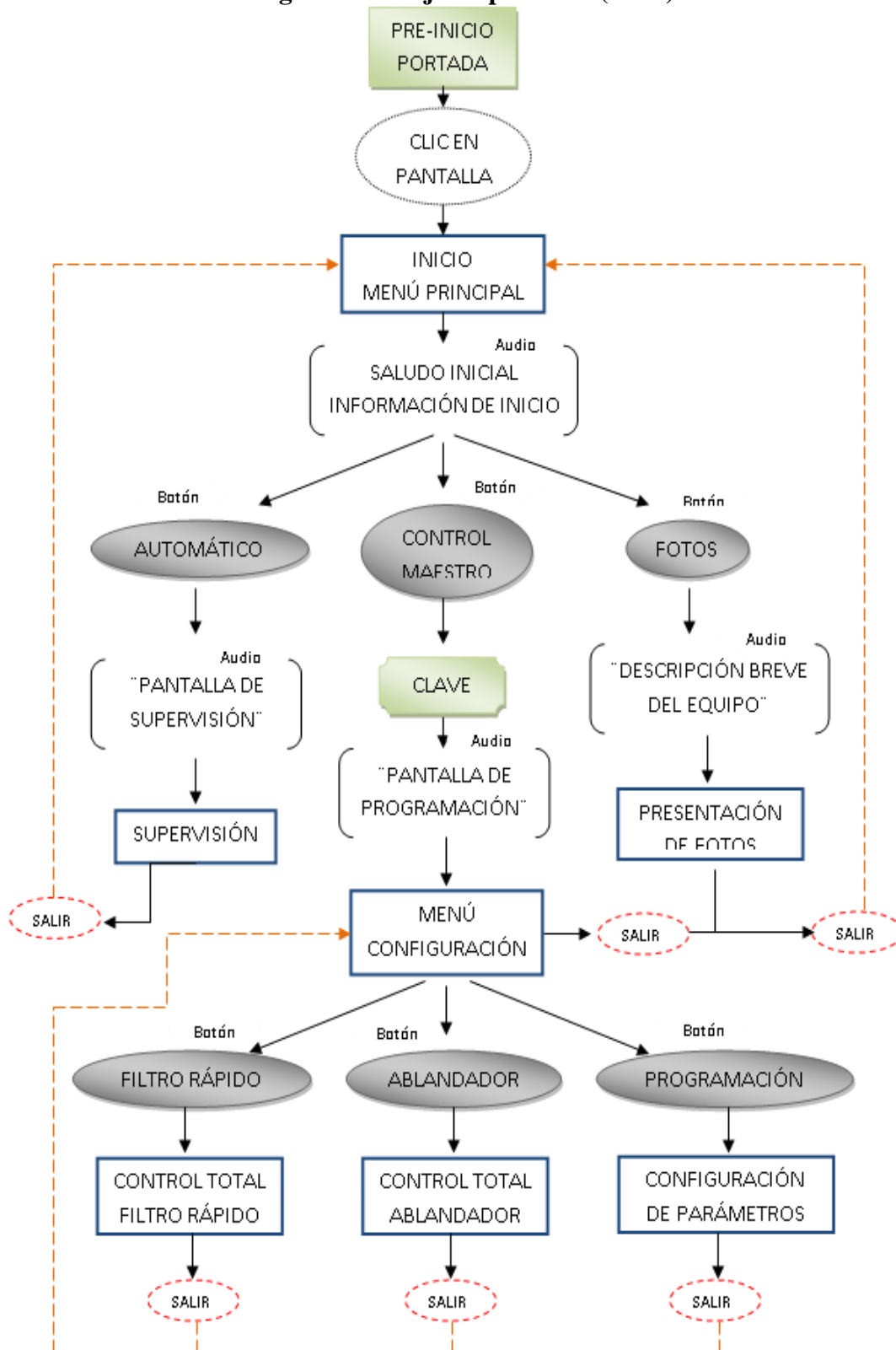
**Figura 5.3**  
**Diagrama de flujo de los procesos del sistema**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

**Figura 5.4**  
**Diagrama de flujo de pantallas (HMI)**



Fuente: Carlos Machuca y Daniel Segura.

Elaborado por: Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Por otro lado al entorno restringido (control maestro) solo tendrá acceso el programador del sistema, mediante la introducción previa de la clave de seguridad, todo esto con el fin de garantizar la perpetuidad de la programación diseñada para el sistema, y posibilitando al programador cambiar cualquier configuración del sistema sin la necesidad de un ordenador. En la figura 5.4 se detalla la estructuración de las pantallas creadas para el entorno de la interface de usuario.

### 5.3.1. Inicio

Pantalla de presentación y elección del entorno de la interface. En esta página se observaran tres botones cada uno direccionara al usuario al entorno deseado.

**Figura 5.5**  
**Pantalla de inicio HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Sí se elige control maestro el usuario se presentara como el programador y deberá introducir la llave o clave de seguridad, mientras que si ingresa por el botón automático el usuario se presenta como el operador e ingresará a la pantalla de supervisión.



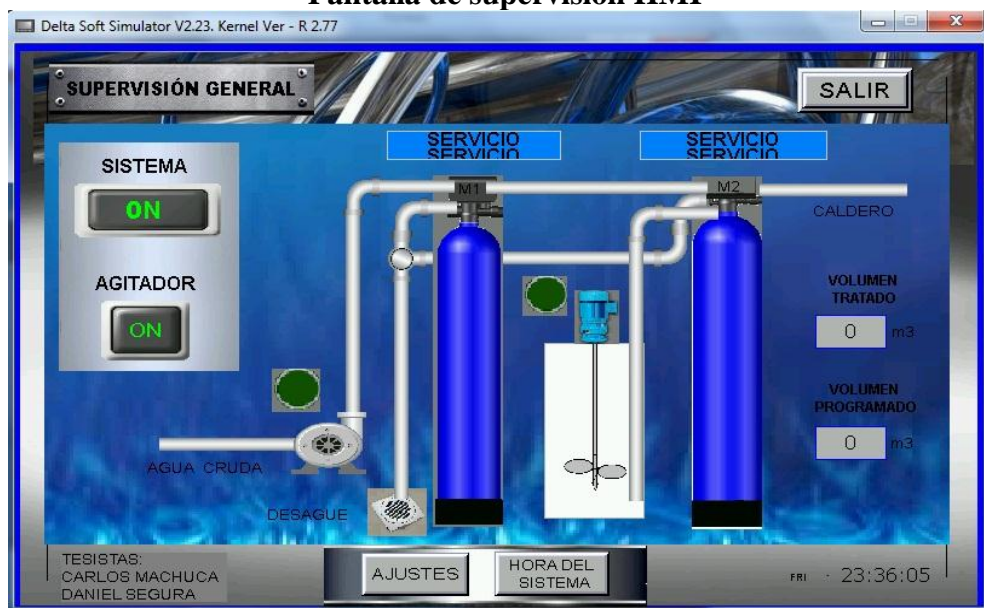
### 5.3.2. Supervisión

Esta es la pantalla del operador del sistema, desde aquí el mismo podrá manejar la marcha y paro del proceso, como también vigilar el caudal, volumen de agua tratada, volumen programado y operar el agitador del tanque cuando se esté preparando la salmuera para una futura regeneración. Mediante gráficos el usuario verá todos los procesos efectuándose actualmente en el sistema.

También podrá acceder a ajustes simples de hora y brillo de la pantalla. Cuando se presiona el botón de encendido el sistema procederá de forma automática con los ciclos de mantenimiento y regeneración de los tanques (cuando el volumen de agua tratada alcance al programado), todo esto con los parámetros de tiempo pre-insertados por el programador.

Cabe recalcar que los parámetros como tiempos de regeneración, retrolavado, enjuague, volumen de agua para proceder con la regeneración y ajustes completos del HMI no son modificables desde esta pantalla.

**Figura 5.6**  
**Pantalla de supervisión HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 5.3.3. Menú

Para ingresar a esta pantalla se requiere de la clave de seguridad. Esta clave numérica solo la poseerá la(s) persona(s) que esté a cargo del equipo, por lo tanto los únicos capacitados para modificar parámetros internos de funcionamiento de la interface.

Desde esta pantalla se puede acceder a 3 pantallas más, la pantalla de “PROGRAMACIÓN”, la pantalla “FILTRO RÁPIDO” y la pantalla “ABLANDADOR”.

**Figura 5.7**  
**Pantalla de menú HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

También se tiene acceso mediante un botón al menú del sistema completo desde donde se pueden realizar ajustes de todo tipo de la interface, como configuraciones de comunicación, calibración de toque de pantalla, puertos, ajustes de sonido, entre otras configuraciones de la pantalla. Otro de los botones con que consta esta pantalla es el de configurar la hora del sistema además de un botón para configurar las funciones básicas de la pantalla.

### 5.3.4. Filtro Rápido

Desde esta página se puede controlar completamente el árbol de levas del filtro rápido, pudiendo cambiarlo de posición cuando se lo requiera, sin importar la posición actual.

**Figura 5.8**  
**Pantalla Filtro Rápido HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Es una forma semiautomática de manejo en caso que el mantenimiento no se pueda ejecutar automáticamente. El SCREEN también posee un botón de marcha y paro de la bomba como visualización del proceso actual realizándose.

### 5.3.5. Ablandador

De igual forma como en el filtro rápido, esta pantalla sirve para tomar el control total del árbol de válvulas del cabezal del ablandador.

Posee gráficos de visualización y controles para el agitador del tanque de regeneración.

**Figura 5.9**  
**Pantalla Ablandador HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 5.3.6. Programación

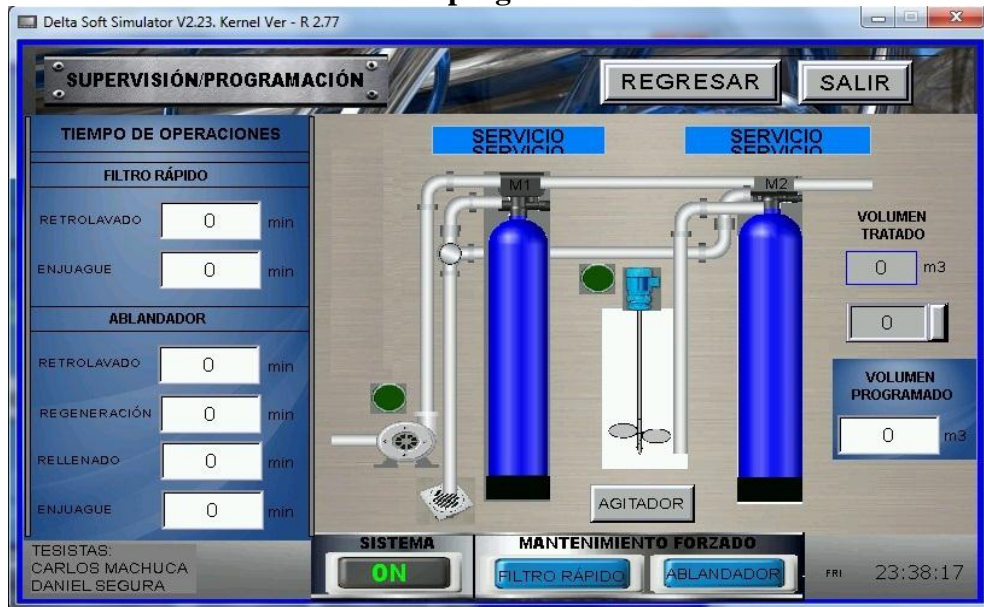
Esta pantalla posee todo lo que tiene la pantalla “SUPERVISIÓN”, con la diferencia de poseer además paneles gráficos especiales de entrada de datos, los cuales sirven para modificar la programación de tiempos de la etapa de mantenimiento del sistema.

Es decir, en el costado izquierdo se puede ingresar valores numéricos en minutos para cada una de las fases de los dos filtros, como también (lado derecho) el volumen de disparo en  $m^3$  (programado).

Cuando se ingresan los datos de funcionamiento del sistema ya se puede poner en marcha al equipo.

Estos ya están configurados inicialmente por los diseñadoras de esta tesis y originalmente no necesitan ser alterados se deben realizar cambios solo cuando sea necesario y tomando como base los datos especificados en las tablas 6.1. y 6.2.

**Figura 5.10**  
**Pantalla de programación HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

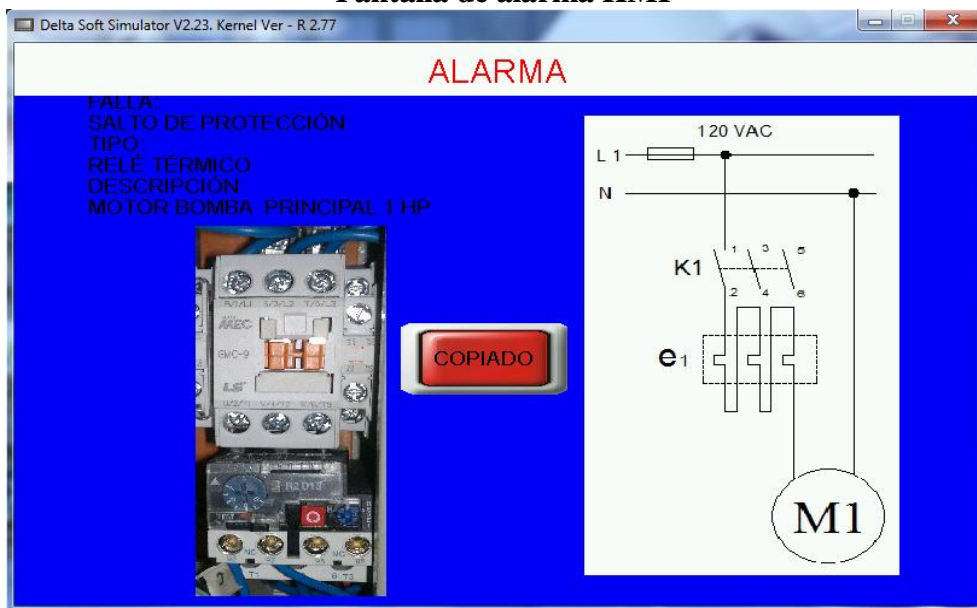
### 5.3.7. Alarma

Esta es una pantalla emergente de alerta. Solo aparecerá cuando se active la protección de la bomba principal, el relé térmico, acompañada de la alerta sonora, la chicharra, y el paro completo del sistema.

Esta pantalla desaparecerá cuando el operario registre la alarma. Presionando “COPIADO” la pantalla “ALARMA” desaparece y se redirige hacia la pantalla “INICIO”, sin embargo el rótulo de alarma seguirá apareciendo en la parte superior de la pantalla.

Cuando proceda con la reparación del problema la alarma desaparecerá por completo y el operario podrá encender nuevamente el sistema. También es recomendable revisar el estado del relé térmico el cual está conectado a continuación del contactor de la bomba, y si es necesario resetearlo.

**Figura 5.11**  
**Pantalla de alarma HMI**

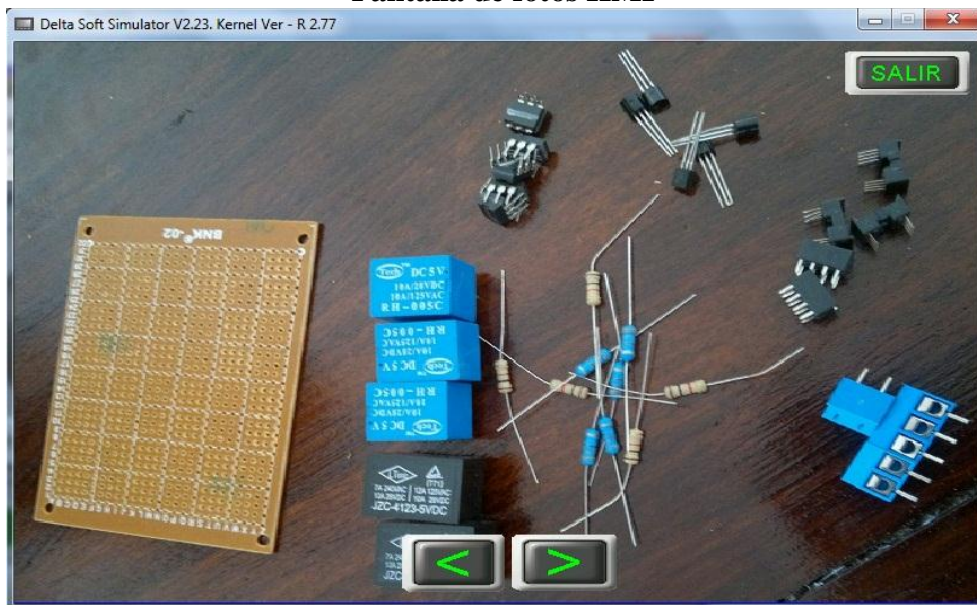


**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 5.3.8. Fotos

**Figura 5.12**  
**Pantalla de fotos HMI**



**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Es una pantalla dedicada a mostrar el proceso de construcción del desmineralizador de agua mediante fotos. Se accede mediante el botón a la derecha de la pantalla “INICIO”.

#### **5.4. Fallos y posibles soluciones**

A continuación se describen algunos de los fallos que podrían darse en el equipo y se presentan algunas posibles soluciones; las cuales sirven para tratar de resolver los problemas de manera sencilla entendiendo que las fallas se han presentado por errores causados por mal manejo del equipo. Si las soluciones aquí descritas no eliminan la falla se recomienda ponerse en contacto con un técnico capacitado en manejo de esta clase de equipos, ya que cualquier actividad realizada de una manera incorrecta podría causar graves averías al sistema desmineralizador de agua.

##### **5.4.1. El sistema no opera**

- ↗ Revisar que el breaker principal este activado, si no lo está, activarlo.
- ↗ Comprobar que el fusible del circuito de control este en buenas condiciones, si no lo está, reemplazarlo por uno de 2A.
- ↗ Revisar que la red este abasteciendo de agua a la bomba.
- ↗ Comprobar que no haya cables sueltos.
- ↗ Revisar que el cable de comunicación entre el PLC y el HMI este correctamente conectado.
- ↗ Comprobar voltajes en las fuentes de alimentación.

##### **5.4.2. El sistema no está entregando agua**

- ↗ Comprobar que las válvulas estén dispuestas en cualquiera de los dos modos de operación con que consta el sistema (operación y by-pass).
- ↗ Revisar que los parámetros estén correctamente configurados en el HMI.
- ↗ Revisar que el sistema esté en modo operación de “SERVICIO”.

## 5.5. Mantenimiento

El buen desempeño y durabilidad del desmineralizador de agua depende del mantenimiento que se realice al equipo. Los trabajos de mantenimiento deben realizarse meticulosamente sin descuidar ninguna de las actividades posteriormente descritas.

Por las características del equipo no se recomienda realizar un mantenimiento rutinario cada semana además de un mantenimiento general que se lo realizara una vez al año. Las tareas que se deben realizar en cada uno de estos mantenimientos se describen a continuación:

### 5.5.1. Mantenimiento semanal

- ↗ Limpieza de todo el equipo en general.
- ↗ Lavado del tanque de salmuera.
- ↗ Revisión de los parámetros de funcionamiento.
- ↗ Verificación del funcionamiento de las válvulas.
- ↗ Verificar que no existan fugas de agua.
- ↗ Comprobar que no haya taponamientos en las tuberías.

### 5.5.2. Mantenimiento anual

- ↗ Se realizan las mismas actividades del mantenimiento semanal adicionando:
- ↗ Revisión de los circuitos de control y fuerza.
- ↗ Mantenimiento mecánico y eléctrico de la bomba.
- ↗ Mantenimiento mecánico y eléctrico del mezclador.
- ↗ Revisión del programa cargado en el HMI y PLC.
- ↗ Comprobación de los parámetros del agua tratada.
- ↗ Comprobar que todas las alarmas estén operando.
- ↗ Limpieza y engrasado de las partes móviles.



## CAPÍTULO VI

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 6.1. Simulación del funcionamiento

Una vez montados todos los equipos y realizado el conexionado de los circuitos eléctricos (control y fuerza) y el circuito hidráulico. Es necesario realizar una prueba general del sistema fuera de servicio, para comprobar el funcionamiento de los equipos de manera individual y en conjunto, además de corregir posibles fallos que se presentaran.

Entre los puntos más importantes que se debe considerar en esta prueba están; la comunicación entre el PLC y el HMI, el correcto funcionamiento de las protecciones del sistema.

#### 6.2. Funcionamiento en el modo automático

Este es el modo de funcionamiento en que debe operar el sistema para poder realizar las hay que tomar en cuenta la configuración de las válvulas de control ver cap. 5.2 Modos de operación).

EL primer valor a considerar en esta prueba es el volumen de saturación de la resina del ablandador que debe alcanzar el sistema para dar mantenimiento a los tanques. Este volumen debe ser de 24 m<sup>3</sup>, como de determinó en el capítulo 3 (punto 3.9.1), el cual debe estar programado en el HMI.

Hay que considerar que para que se proceda a realizar el mantenimiento aparte de alcanzar el volumen de agua de saturación, el equipo no debe estar operando, en

ninguno de sus dos modos de operación, el sistema debe estar en reposo total. El primer tanque que inicia el proceso de mantenimiento es el filtro rápido el cual debe pasar por dos etapas antes de volverse a poner en modo de servicio. Primero la etapa de retrolavado y luego la etapa de enjuague en la tabla 6.1 se especifica el tiempo que debe durar cada etapa.

**Tabla 6.1**  
**Tiempos de las etapas de mantenimiento filtro rápido**

<b>Etapas</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
Retrolavado	10
Enjuague	10

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Una vez que se ha completado el ciclo de mantenimiento del filtro rápido se continúa con el ciclo de mantenimiento del ablandador el cual consta de cuatro etapas antes volverse a poner en servicio nuevamente, en la tabla 6.2 se describen las etapas y sus tiempos de duración respectivamente.

**Tabla 6.2**  
**Tiempos de las etapas de mantenimiento ablandador**

<b>Etapas</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
Retrolavado	10
Regeneración	50
Relleno tanque de salmuera	5
Enjuague	8

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

Una vez que el equipo ha terminado de realizar todas estas operaciones tanto el tanque de filtro rápido y el ablandador deben quedar en la etapa de servicio, y el contador de volumen debe reiniciarse y ponerse para empezar el conteo de volumen nuevamente.

### 6.3. Funcionamiento en modo by-pass

Para esta prueba se debe configurar de las válvulas de control (ver cap. 5.2, Modos de operación) para que el sistema opere de modo by-pass, en esta prueba el factor es la presencia de agua, debido a que este sistema solo se usa para casos de emergencias y su función principal es la de mantener un flujo de agua constante hacia el caldero y evitar interrupciones de los procesos que dependa del caldero.

### 6.4. Análisis del agua

El análisis del agua es la prueba donde se comprueba los niveles de impurezas presentes en el agua luego de recibir el respectivo tratamiento por lo cual se le tomaron muestras de agua, siendo estas enviadas a un laboratorio local obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3**  
**Resultados de la prueba de impurezas del agua**

Parámetro	Valor (ppm)	Límites (ppm)
Dureza total	0.3	$\leq 0.3$
pH	7.6	$\geq 7$
Sólidos totales	8	$< 300$
Sílice	45	$< 150$
Alcalinidad total	150	$< 350$
Cloro	0	$< 50$

**Fuente:** Carlos Machuca y Daniel Segura.

**Elaborado por:** Carlos Machuca y Daniel Segura/2012

### 6.5. Vida útil del sistema

En el sistema existen dos partes con distinto tiempo de vida útil, la parte química y la parte mecánica-eléctrica. La vida útil de la parte química comprendida por la resina

(Purolite) y la media filtrante (Turbidex) depende directamente del número de ciclos cumplidos y estos a su vez dependen del volumen de agua tratado, por lo que es impreciso estimar un tiempo exacto de duración de estas medias filtrantes, sin embargo por la calidad de las mismas se puede mencionar una vida útil de 50 ciclos para la resina y para la Zeolita se debe considerar el mismo tiempo por motivo de costos manteniendo siendo que resulta más barato hacer el cambio de resina a los dos filtros a la vez. Como ejemplo, tomando en cuenta un máximo de 16 horas de trabajo diario, es decir un ciclo de regeneración cada 21 días, se tendría una vida útil de la resina estimada de 3 años para la resina y el mismo tiempo para la Zeolita.

Sin embargo se sabe que el uso del caldero del laboratorio será esporádico y con funcionamientos menores a 4 horas por lo que la vida útil de 3 años de las medias se cuadruplicaría.

Por otro lado, pero al igual que en el caso anterior es impreciso estimar la vida útil de la parte mecánica-eléctrica, ya que dependería de la correcta manipulación del sistema, sin embargo suponiendo un correcto uso del equipo desmineralizador, la vida útil de las partes principales tanto mecánicas y eléctricas como la estructura metálica, motores eléctricos y automatización se estima en 8 años.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- ↪ La previa situación del sistema de aporte de agua al caldero presentaba serias deficiencias, el tanque de resina se encontraba en pésimas condiciones y peor aún no se podía dar las regeneraciones necesarias para su correcto funcionamiento. Además las pruebas físico-químicas del agua realizadas a la entrada demostraron la presencia elevada de dureza (ver capítulo 3, tabla 3.2: "Datos técnicos del agua").
- ↪ Basándose en el comité de investigaciones de ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) se encontraron las condiciones óptimas de agua de aporte a calderas para la presión de trabajo del caldero en cuestión (ver capítulo 3, tabla 3.3, "Límites de contenido de elementos en agua de alimentación").
- ↪ Por medio del análisis al agua de aporte al caldero se estableció que la configuración filtro rápido y ablandador con medias filtrantes de zeolita y resina catiónica respectivamente, es la ideal para abastecer de agua blanda al caldero.
- ↪ Se realizaron las pruebas físico-químicas a la salida del equipo dando como resultado agua blanda idónea para el servicio del caldero en cuestión (ver capítulo 6, tabla 6.3: "Resultados de la prueba de impurezas del agua").
- ↪ Con el montaje del desmineralizar de agua se disminuyó el riesgo de daño a la caldera de vapor pirotubular, incrementando su eficiencia y vida útil, y generando un ahorro en el gasto de combustible a largo plazo.

- ↪ El sistema desmineralizador paso con éxito todas las pruebas técnicas y químicas, y además cumplió con todas las expectativas para cuales fue diseñado logrando brindar agua con niveles de impurezas lo suficientemente bajos para abastecer la caldera del Universidad Tecnológica Equinoccial.
  
- ↪ Los estudiantes de la Universidad Tecnológica ahora cuentan con sistema completo de desmineralización y caldero que les permite conocer el funcionamiento, operación y mantenimiento que se debe dar a estos equipos.
  
- ↪ La automatización del equipo garantiza un funcionamiento más eficiente y seguro mediante una interface hombre-máquina amigable con el usuario.

## 7.2. Recomendaciones

- ↻ Realizar periódicamente toma de muestras y analizarlas para comprobar que los parámetros estén dentro del rango permitido de operación para un caldero.
- ↻ Realizar prácticas con los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica con el desmineralizador para que puedan conocer su funcionamiento.
- ↻ La persona encargada de manipular el equipo previamente debe revisar el capítulo V de operación y mantenimiento.
- ↻ Para prolongar la vida útil del equipo se recomienda siempre ubicarlo en lugares donde se brinden las condiciones ambientales adecuadas.
- ↻ Se recomienda realizar operaciones de mantenimiento periódicas al sistema eléctrico del sistema, bomba, tablero, etc., como también la limpieza cautelosa del equipo completo.
- ↻ Antes de suministrar de sal al tanque para las regeneraciones, o proceder con las operaciones de mantenimiento, asegurarse que no existan elementos extraños en el mismo que puedan obstruir las válvulas, como también que exista el suministro de agua correcto y que la interface gráfica no muestre errores o alertas.
- ↻ Se recomienda además cambiar el reservorio de agua del caldero por un recipiente plástico de mayor capacidad, como también trasladar todo el sistema caldero-desmineralizador a un espacio dedicado al mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALBA GONZÁLEZ MARGARITA. Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas. Editorial Plaza y Valdés, 1ª Edición, México, 1999.
2. AQUAMARKET. Agua Tecnología y Tratamiento Saneamiento Ambiental. Año 25 N° 135, Santiago de Chile, 2000.
3. ARBOLEDA J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1. Editorial McGraw-Hill Interamericana, 3ª Edición, Colombia, 2000.
4. ARBOLEDA J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 2. Editorial McGraw-Hill Interamericana, 3ª Edición, Colombia, 2000.
5. ARMENTA GARCÍA ANGÉLICA. Aguas con las Aguas. 2000.
6. CAITI. Proyecto de eficiencia energética en la industria regional, Mejoramiento de la eficiencia de operación de calderas de vapor. Edición preliminar, Georgia Atlanta U.S.A., 1981.
7. DE MARSILY GHISLAIN. El Agua, Editorial Siglo XXI, 3ª Edición, Argentina, 2003.
8. DIVERSEY WYANDOTTE QUÍMICA S. A. Tratamiento de aguas para calderas y sistemas de enfriamiento, Guatemala.
9. EUGENE F. MEGYESY. Manual de recipientes a presión diseño y calculo. Editorial Limusa, México, 1992.



10. GARCÍA GARRIDO JOSÉ. Agua para la Industria. Departamento de Ing. Química y Nuclear. Universidad Politécnica de Valencia, España, 1988.
11. GEORGE FISHER SIGNET INC. Measurement & Instrumentation Product catalog.2004.
12. GERE M JAMES. Mecánica de materiales.Cengage Learning Editores, 2006.
13. ISA Basic Automatic Process Control.Automaticprocess control series.
14. HIBBELER CHARLES RUSSELL. Mecánica de materiales. Editorial Pesaron Educación, 2006.
15. LOBATO ENRIQUE CESAR FELICIANO. Proyecto Técnico-Económico para la Instalación de una planta embotellada de Agua purificada. Tesis Profesional Facultad de Ingeniería Química Industrial, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F, 1995.
16. LEONTOVICH VALERIAN. Pórticos y Arcos. Editorial Continental, 1ª Edición, México 1961.
17. NEWATER. Filtración. Argentina, 2002.
18. PAMMIX, Equipos para tratamiento de aguas. Guatemala, 1995.
19. ROGOLA LAPEÑA MIGUEL. Tratamiento de Aguas Industriales. Editorial Alfaomega, México, D.F.1999.
20. ROMERO ROJAS JAIRO ALBERTO. Calidad del Agua.Escuela Colombiana de Ingeniería, Editorial Alfaomega,2ª Edición, Colombia, 1999.

21. SHIGLEY JOSEPH. Diseño en ingeniería mecánica. Editorial McGraw-Hill, 2ª Edición, México, 1998.
22. SISTEAGUA, Calidad del agua para generadores de vapor. México, 2004.
23. SOTELO AVILA GILBERTO. Hidráulica General: fundamentos. Editorial Limusa, México.
24. STREETER VÍCTOR L. Mecánica de Fluidos. Editorial McGraw-Hill, 4ª Edición, México, 1972.
25. UNITEK S.A. Carbón Activado. Rep. De Cuba 1034 (B7608EBV) Mar del Plata, Buenos Aires Argentina, 1986.
26. WEBBER, W.J. El control de la calidad del Agua. Procesos fisicoquímicos. Editorial Reverte, Barcelona, España, 1979.
27. <http://www.desmineralizadores.com>
28. <http://www.hidroecuador.net>
29. <http://www.ingenieriaquimica.org>
30. <http://www.purolite.com>
31. <http://www.turbidex.co>

**ANEXOS**

## ANEXO A

### TIPOS DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO.

Débilmente ácidos resinas de intercambio catiónico (SAC)

Los grupos funcionales	-SO <sub>3</sub> - H + Sulfónico
Lo que hacen	En forma de sodio, para eliminar la dureza (esencialmente calcio y magnesio) de agua y otras soluciones En forma de hidrógeno, que eliminan todos los cationes También se utilizan como catalizadores ácidos
Ejemplos	Amberjet TM 1000 Na Dowex TM Maratón C Lewatit TM MonoPlus S100
Capacidad total Típica	1,9 a 2,2 eq / L [Na +]

Débilmente ácido resinas de intercambio catiónico (WAC)

Los grupos funcionales	-COOH Ácido carboxílico
Lo que hacen	En forma de hidrógeno, que preferentemente eliminar los iones divalentes (por ejemplo, calcio y magnesio) a partir de soluciones que contienen alcalinidad
Ejemplos	Amberlite TM IRC86 Dowex TM MAC3 Lewatit TM CNP80
Capacidad total Típica	3,7 a 4,5 eq / L [H +]

Fuertemente básicas resinas de intercambio aniónico (SBA)

Los grupos funcionales	-N (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + OH - Amonio cuaternario
Lo que hacen	En forma de hidroxilo, que eliminan todos los aniones En forma de cloruro, que eliminar el nitrato, sulfato y varios otros iones
Ejemplos	Amberjet TM 4200 Cl Dowex TM maratón Lewatit MonoPlus TM M500
Capacidad total Típica	1,0 a 1,5 eq / L [Cl -]

## Débilmente básico resinas de intercambio aniónico (AMB)

Los grupos funcionales	-N (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Aminas
Lo que hacen	Después de intercambio catiónico, que eliminar el cloruro, sulfato, nitrato y otros aniones de ácidos fuertes, pero no eliminar los ácidos débiles (SiO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> )
Ejemplos	Amberlite TM IRA96 Dowex TMMaratón MWA Lewatit TM MonoPlus MP64
Capacidad total Típica	1,1 a 1,7 eq / L [base libre]

## Selectiva y resinas quelantes

Los grupos funcionales	Muchos tipos diferentes		
Lo que hacen	Ellos eliminar los metales, ácido bórico, perclorato u otros iones selectivamente		
Ejemplos	Función	Tipo de resina	Elimina
	Trietilamonio	Amberlite PWA5	N <sup>o</sup> 3
	Tiol	Ambersep GT74	Hg, Cd, etc
	Aminofosfónico	Amberlite IRC747	Ca de la salmuera
	Iminodiacético	Amberlite IRC748 Lewatit TP208	Ni, Cu, etc
	Metilglucamina	Amberlite IRA743 Amberlite PWA10	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
	Bis-picolilamina	Dowex M4195	Los metales a pH bajo
	Tiourea	Lewatit TP214	Hg, Cd, etc

## ANEXO B

### CONCENTRACIÓN Y CAPACIDAD DE UNIDADES DE DUREZA DE AGUA.

Si deseamos conocer el **número** de iones que queremos cambiar. Su masa no es útil para el cálculo. Entonces, tenemos que convertir las concentraciones de estos iones en unidades "equivalentes"; la unidad internacional correspondiente es el **eq·kg<sup>-1</sup>**, y en práctica se usa el *equivalente per litro de agua* **eq/L**, y con concentraciones bajas — las que se encuentran en el tratamiento de agua — el **meq/L**.

Para el intercambio iónico se utiliza unidades métricas, casi exclusivamente, incluidos los equivalentes. Sin embargo, otras unidades se han utilizado en el pasado y se siguen desafortunadamente se usa en algunas regiones. Aquí hay dos tablas de conversión:

Las unidades de concentración (Por volumen de agua)							
Nombre	Abreviación		mEq/L	ppm de CaCO <sub>3</sub>	°f	°dH	gr CaCO <sub>3</sub> /gal
Miliequivalentes por litro	1 mEq / L	=	1	50	5	2,8	2,921
ppm como carbonato de calcio	1 ppm de CaCO <sub>3</sub>	=	0,02	1	0,1	0,056	0,0584
Título francés	1 ° F	=	0.2	10	1	0,56	0,5842
Grado de dureza alemana	1 ° dH	=	0,357	17,86	1,786	1	1,043
Granos como CaCO <sub>3</sub> por galón de EE.UU.	1 g de CaCO <sub>3</sub> / gal	=	0,342	17,12	1,712	0,959	1

**La unidad de moles debe evitarse por completo** en el intercambio de iones, ya que no toma en cuenta de valencia y trae confusión sólo.

A modo de referencia: 1 eq = 1 mol/valencia. Recomiendo **eviten totalmente los moles** en el intercambio iónico, porque esta unidad no toma en cuenta la valencia y produce errores. Recordemos que 1 eq = 1 mol / valencia.

Unidades de capacidad (Por volumen de resina)						
Nombre	Abreviación	Eq/L	g CaCO <sub>3</sub> /L	°f	g CaO/l	kgr CaCO <sub>3</sub> /pie <sup>3</sup>
Equivalentes por litro	1 eq / L	= 1	50	5000	28	21,85
Gramo como CaCO <sub>3</sub> por litro	1 g CaCO <sub>3</sub> / l	= 0,02	1	100	0,56	0,437
Título francés	1 ° F	= 0,0002	0,01	1	0,0357	0,00437
Gramo como CaO por litro	g CaO / l	= 0,0357	1,786	178,6	1	0,780
Kilograno como CaCO <sub>3</sub> por pie cúbico	kgrCaCO <sub>3</sub> /pie <sup>3</sup>	= 0,0458	2,29	228,8	1,281	1

## ANEXO C

## PROPIEDADES MECANICAS DEL POLIETILENO.

Densidad PE-HD	ISO 1183	0,95	g/cm <sup>3</sup>
Absorción de agua	DIN 53495	0,1	%
Resistencia química	DIN 53476	-	—
Temperatura de uso continuo	--	--	--
(sin fuerte sollicitación mecánica)	--	--	--
límite superior	—	90	°C
límite inferior	—	-50	°C
--	--	--	--
Tensión de fluencia	ISO 527	24	MPa
Alargamiento de fluencia	ISO 527	11	%
Resistencia a la tracción	ISO 527	34	MPa
Alargamiento de rotura	ISO 527	> 600	%
Resistencia a golpes	ISO 179	nada señalable	kJ/m <sup>2</sup>
Resiliencia	ISO 179	20	kJ/m <sup>2</sup>
Dureza a la indentación de bola (Hk) /Rockwell	ISO 2039- 1	40	MPa
Resistencia a la flexión (sB 3,5%)	ISO 178	30	MPa
Módulo de elasticidad	ISO 527	950	MPa
--	--	--	--
Temperatura de ablandamiento de Vicat VST/B/50	ISO 306	74	°C
VST/A/50	--	120	°C
Temperatura de deformabilidad por calor HDT/B	ISO 75	70	°C



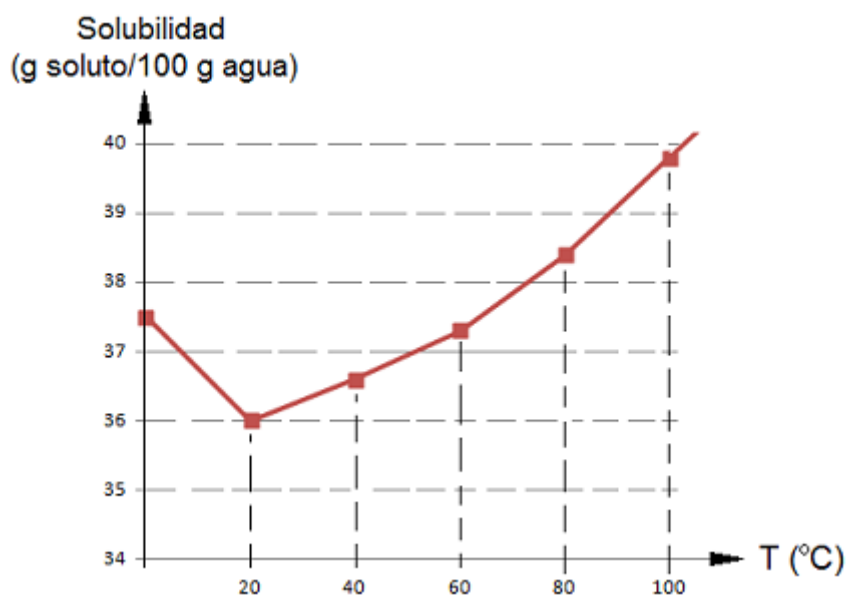
HDT/A	--	41	°C
Coefficiente de dilatación térmica	DIN 53752	1,55	$K^{-1} \cdot 10^{-4}$
Conductibilidad térmica a 20°	DIN 52612	0,43	W/(m*K)
--	--	--	--
Resistencia volúmica esp.	VDE 0303	$\geq 10^{-15}$	Ohm*cm
Resistencia superficial	VDE 0303	$\geq 10^{-16}$	Ohm
Constante dieléctrica relativa con 1 MHz	DIN 53483	2,3	--
Factor de disipación del dieléctrico con 1 MHz	DIN 53483	0,0002	--
Resistencia a descargas disruptivas	VDE 0303	17	kV/mm
Resistencia a las corrientes de fuga	DIN 53480	KB >600	--

## ANEXO D

## SOLUBILIDAD DE LOS MINERALES

Tabla de solubilidades a 20 °C (g de soluto/100 g agua)	
Sustancia	Solubilidad
Sal común (cloruro sódico)	36
Cloruro de potasio	34
Nitrato de plata	222
Nitrato de potasio	32
Nitrato de sodio	88
Cloruro de calcio	73
Nitrato de calcio	126
Carbonato de sodio	19
Hidróxido de sodio	108
Hidróxido de calcio	0,17
Sulfato de calcio	0,2
Carbonato de calcio	0,0013

Tabla de solubilidades a 20°C



Curva de solubilidad del NaCl, Cloruro de Sodio (sal)

## ANEXO E

**MÁXIMO ESFUERZO PERMISIBLE EN FLUENCIA DE ACEROS  
ESTRUCTURALES**

**Tabla 1.1 Esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de aceros estructurales**

Nomenclatura		$F_y$ <sup>(3)</sup>		$F_u$ <sup>(4)</sup>	
NMX <sup>1</sup>	ASTM <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2 530	400 a	4 080 a
				550	5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a	4 220 a
				585	5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
				320	4 710
				345	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
				345	4 570
				414	5 270
				450	5 620
				A992	345 a
				620	6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 <sup>(5)</sup>	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 <sup>(6)</sup>	3 515 <sup>(6)</sup>	483 <sup>(6)</sup>	4 920 <sup>(6)</sup>
	A913	345 a	3 515 a	448 a	4 570 a
		483 <sup>(7)</sup>	4 920 <sup>(7)</sup>	620 <sup>(7)</sup>	6 330 <sup>(7)</sup>

## ANEXO F

## CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS DE ACERO DIPAC



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

## ANEXO G

### COEFICIENTE DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS HIDRÁULICOS.

Accesorio	Coeficiente K
Válvula de pie	2.50
Llave de compuerta abierta 25%	24.00
Llave de compuerta abierta 50%	5.60
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula de no retorno	2.50
Válvula de bola abierta 33%	200
Válvula de bola abierta 66%	5.50
Válvula de bola abierta 100%	0.05
Expansión brusca	
$\phi$ entrada/ $\phi$ salida = 0.25	0.92
$\phi$ entrada/ $\phi$ salida = 0.50	0.56
$\phi$ entrada/ $\phi$ salida = 0.75	0.19
Tee	1.80
Codo 45°	0.42
Codo 90°	1.00
Codo cuadrado	1.80

## ANEXO H

## COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MATERIALES.

<b>RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES</b>				
<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>		<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón	



## ANEXO J-1

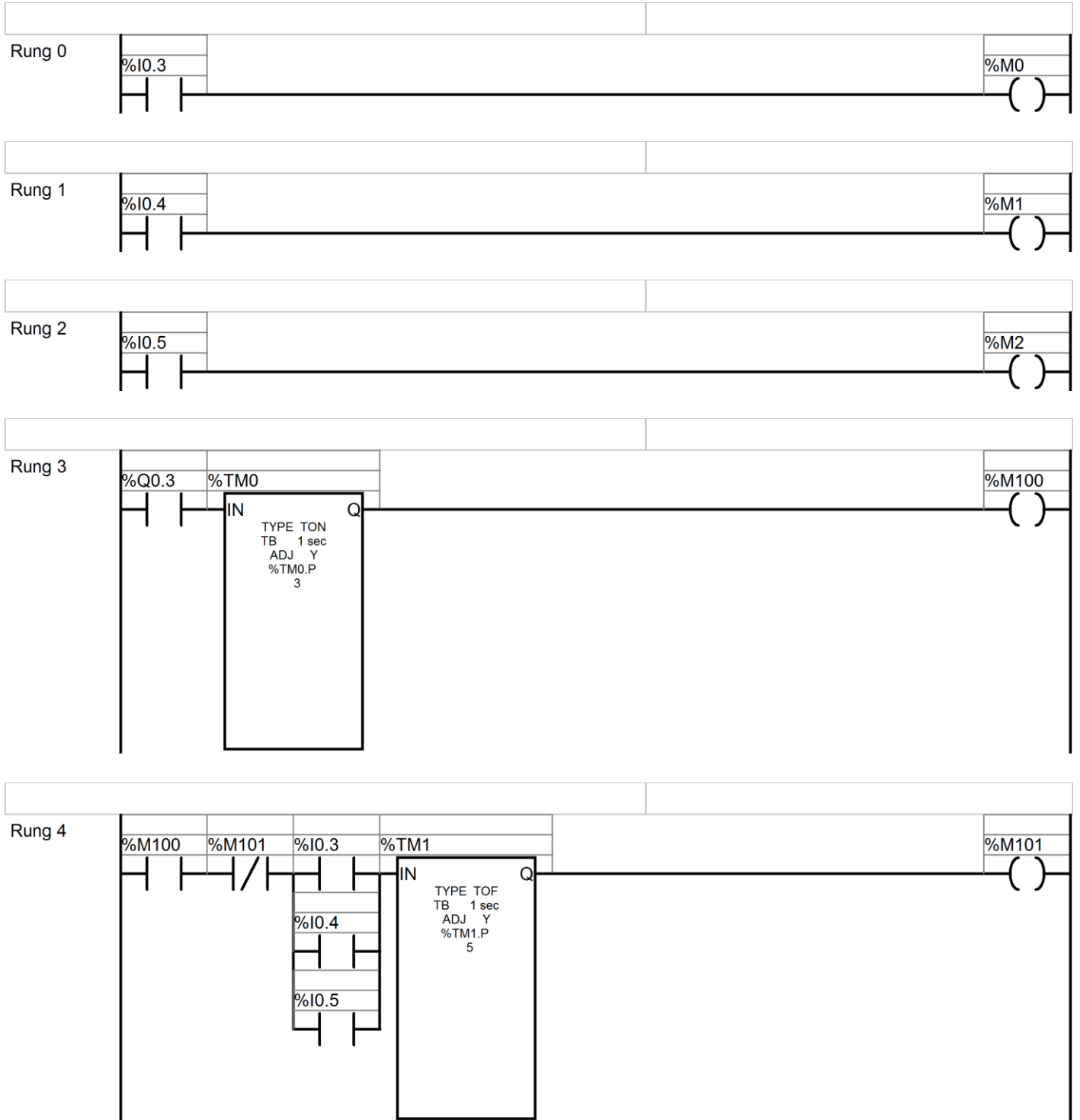
## DIRECCIONAMIENTO PLC/HMI

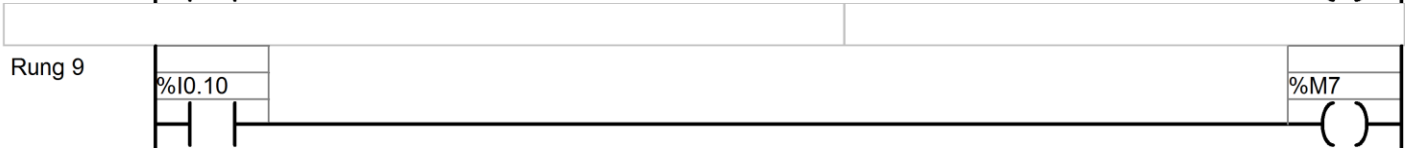
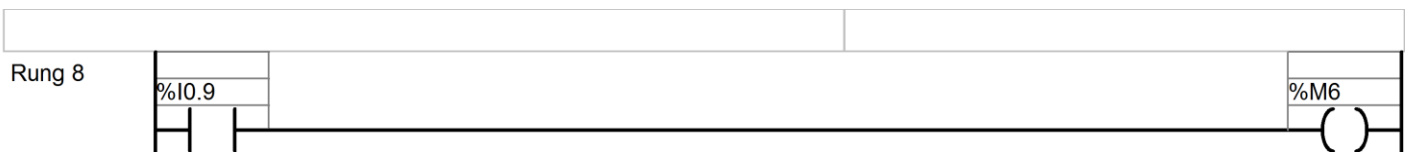
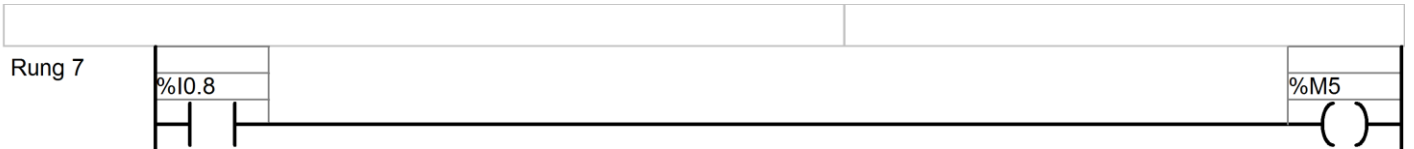
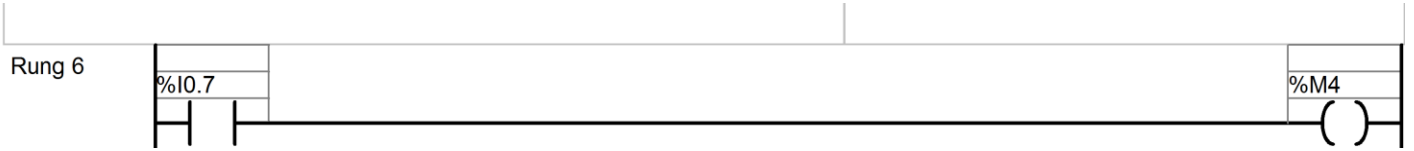
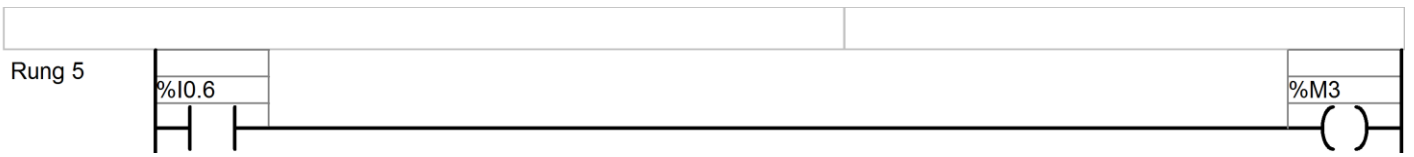
DIRECCIONAMIENTO Y CONEXIONADO HMI/PLC						
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN MODBUS	PLC TWIDO 20DRT		HMI DOP-B07E415	
			CONEXIÓN BORNERA	DIRECCIÓN	TIPO	DIRECCIÓN
<b>ENTRADAS</b>						
<b>SF</b>	Caudalímetro	30001	I2	%MW0	Word	1@W30001
<b>1</b>	Servicio Filtro Rápido	00001	I3	%M0	Bit	1@B1
<b>2</b>	Retrolavado Filtro Rápido	00002	I4	%M1	Bit	1@B2
<b>3</b>	Enjuague Filtro Rápido	00003	I5	%M2	Bit	1@B3
<b>4</b>	Servicio Ablandador	00004	I6	%M3	Bit	1@B4
<b>5</b>	Retrolavado Ablandador	00005	I7	%M4	Bit	1@B5
<b>6</b>	Regeneración Ablandador	00006	I8	%M5	Bit	1@B6
<b>7</b>	Relleno Ablandador	00007	I9	%M6	Bit	1@B7
<b>8</b>	Enjuague Ablandador	00008	I10	%M7	Bit	1@B8
<b>e</b>	Falla Relé Térmico	00009	I11	%M8	Bit	1@B9
<b>SALIDAS</b>						
<b>Z</b>	Zumbador	00010	Q2	%M9	Bit	1@B10
<b>M1</b>	Motor Válvula Filtro Rápido	00011	Q3	%M10	Bit	1@B11
<b>M2</b>	Motor Válvula Ablandador	00012	Q4	%M11	Bit	1@B12
<b>MIX</b>	Agitador	00013	Q5	%M12	Bit	1@B13
<b>MB</b>	Bomba	00014	Q6	%M13	Bit	1@B14

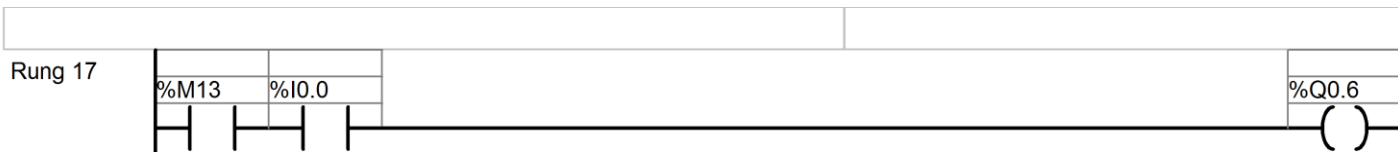
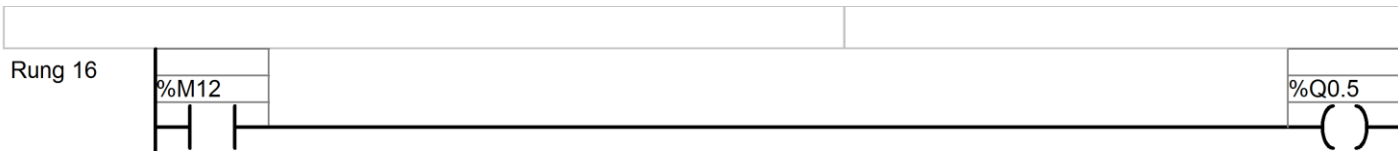
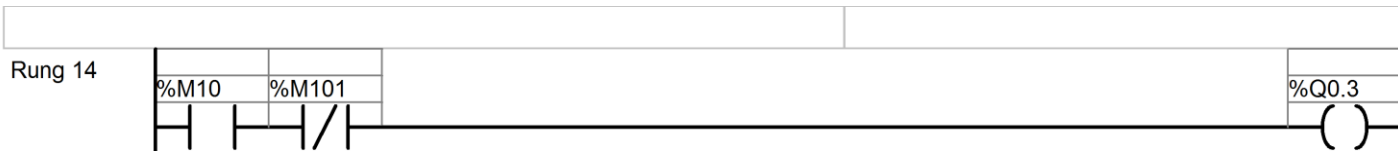
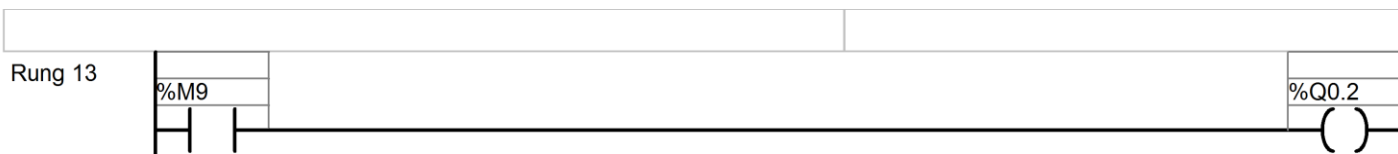
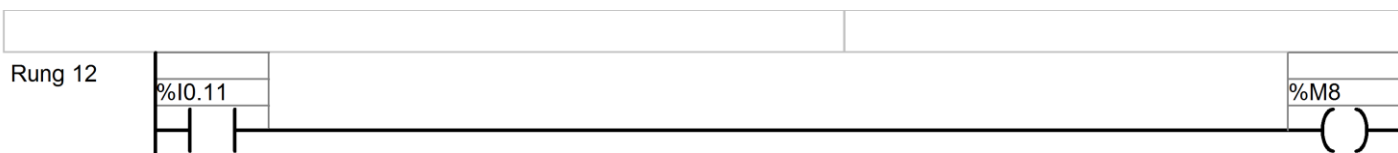
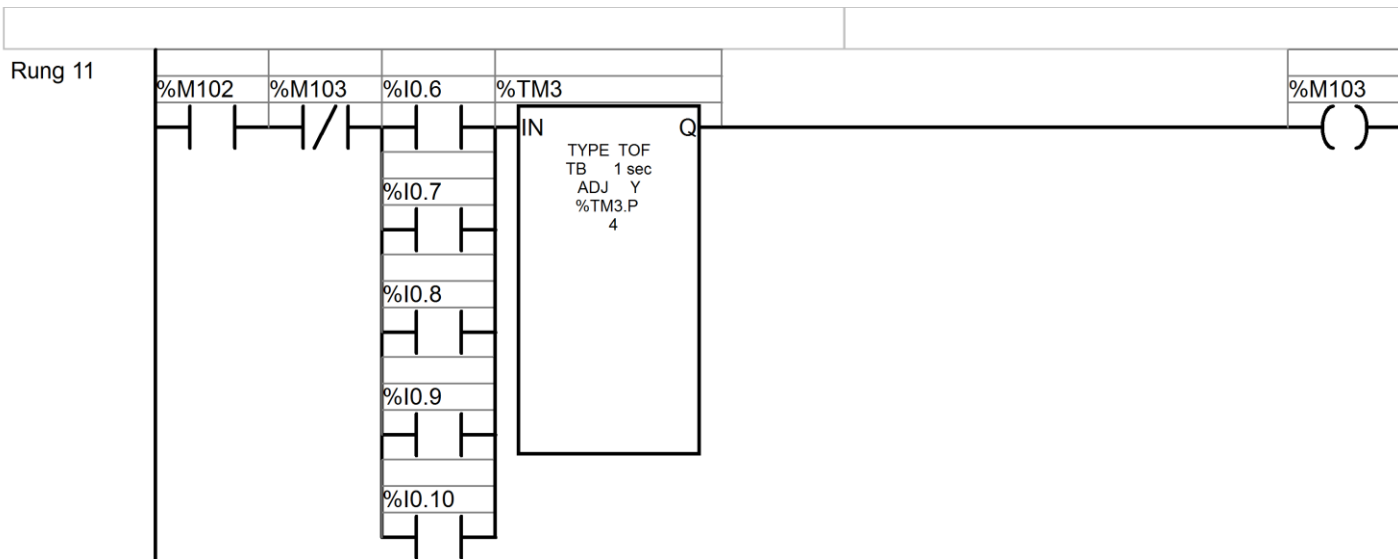


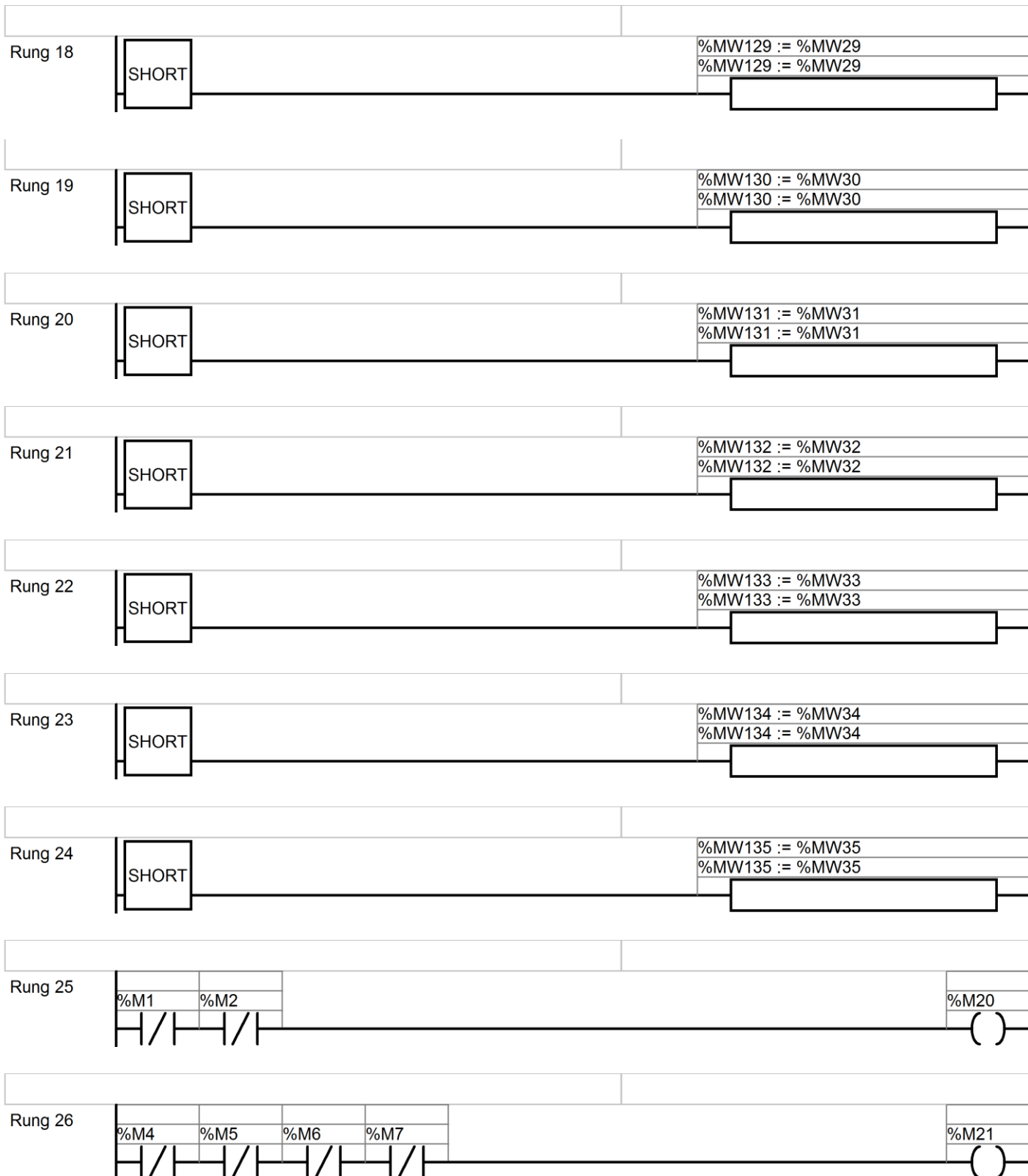
## ANEXO J-2

### PROGRAMACIÓN LADDER

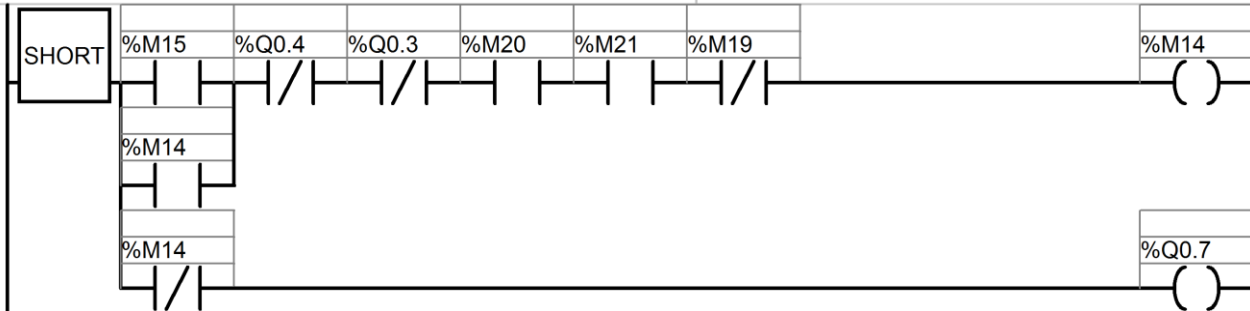








Rung 27

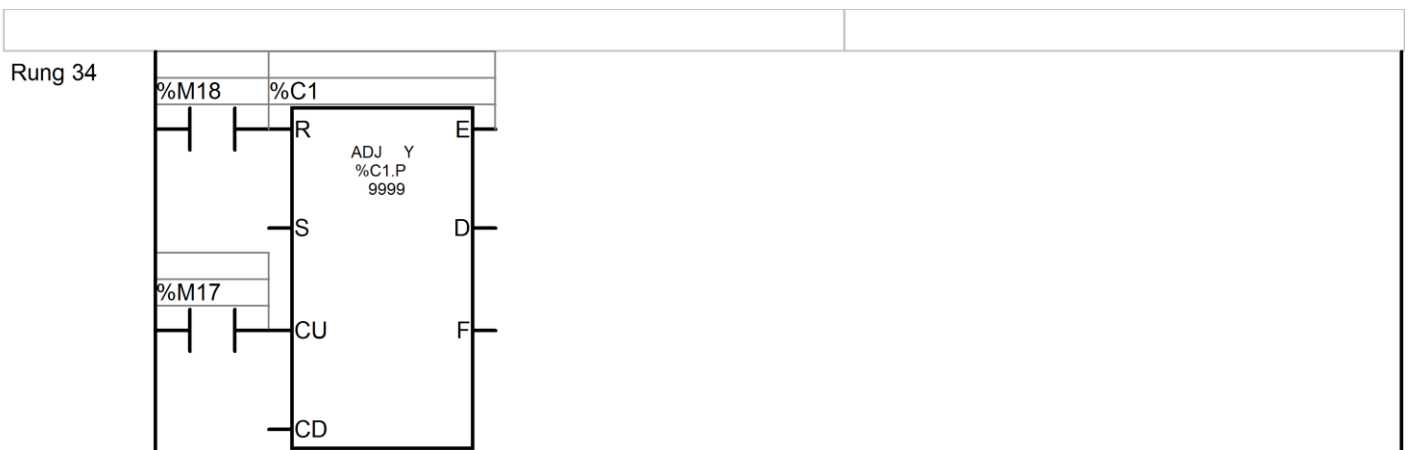
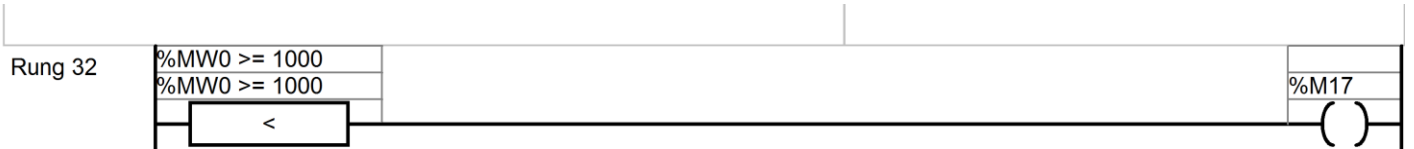
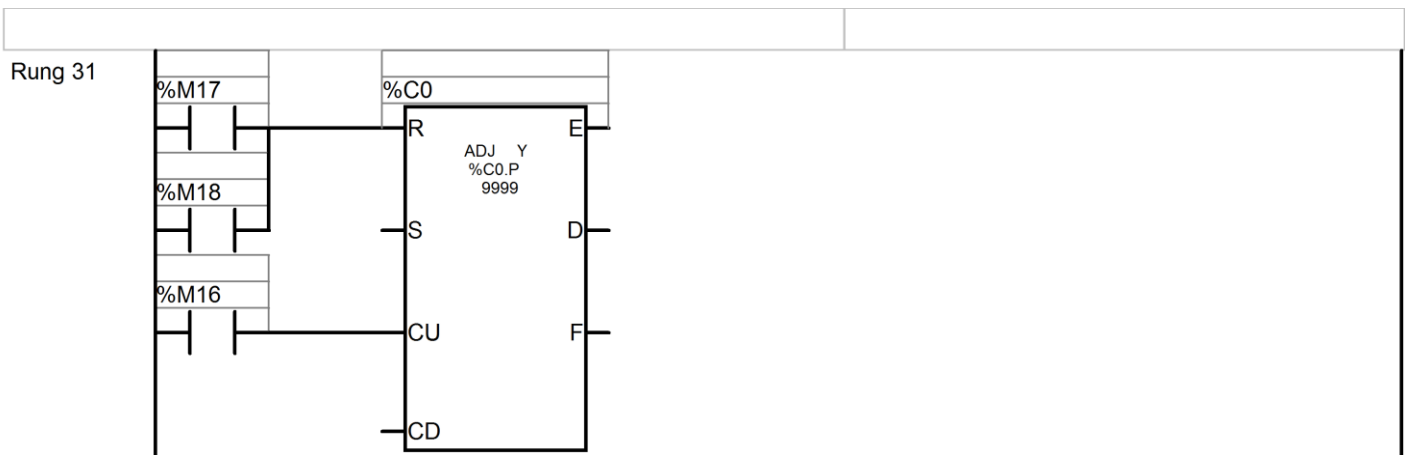
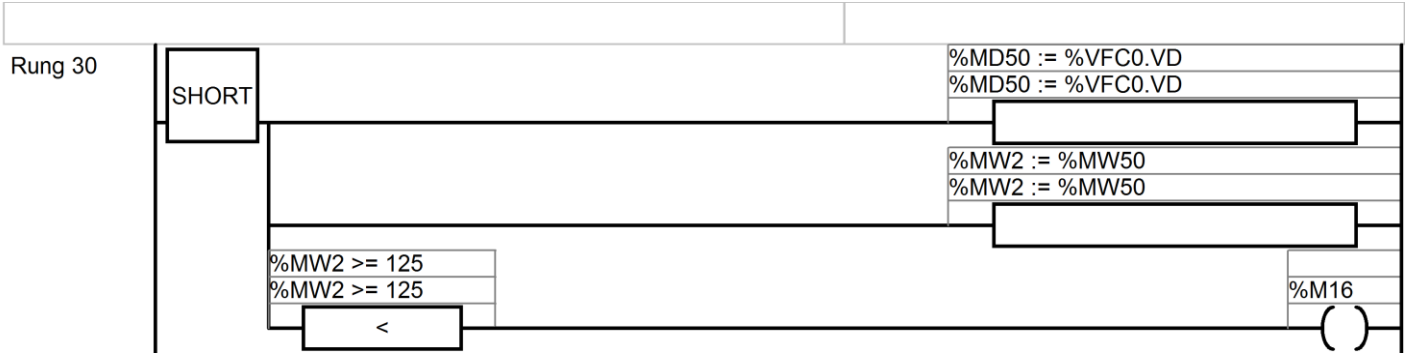


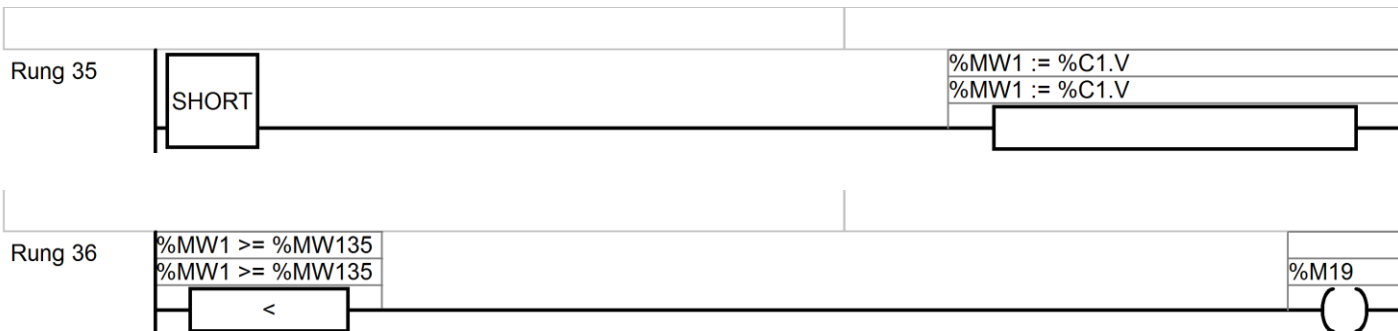
Rung 28



Rung 29







## ANEXO K-1

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE APORTE A LA ENTRADA



Vaca Mena Químicos y  
Servicios Cia. Ltda.

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

COMPañÍA: UTE

ATENCIÓN: SR. DANIEL ROGELIO SEGURA GUEVARA

FECHA DE MUESTREO : 07/12/2011

FECHA DE ANALISIS: 09/12/2011

ANALISIS EN: MUESTRA DE AGUA

PARAMETROS		
COLOR		5
TURBIDEZ		4
ALCALINIDAD P en ppm de CaCO <sub>3</sub>		0
ALCALINIDAD TOTAL		150
POR BICARBONATOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		150
POR CARBONATOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		0
POR HIDROXIDOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		0
DUREZA TOTAL en ppm CaCO <sub>3</sub>		98
DUREZA CALCICA en ppm CaCO <sub>3</sub>		66
DUREZA MAGNECICA en ppm CaCO <sub>3</sub>		32
HIERRO en ppm de Fe		0,4
SILICE en ppm SiO <sub>2</sub>		78
CONDUCTIVIDAD, micro-ohms		280
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS en ppm		80
CLORURO en ppm de Cl		0
pH		6,47

## AGUA DE ABLANDADOR

CONDICIONES FISICOQUIMICAS CON PRESENCIA DE DUREZA, ALCALINIDADES  
LIGERAMENTE ELEVADAS

ING. ANGEL VACA G.  
REPRESENTANTE TECNICO



## ANEXO K-2

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE APORTE A LA SALIDA



Vaca Mena Químicos y  
Servicios Cia. Ltda.

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

COMPañÍA: UTE

ATENCIÓN: SR. DANIEL ROGELIO SEGURA GUEVARA

FECHA DE MUESTREO : 22/06/2012

FECHA DE ANALISIS: 25/06/2012

ANALISIS EN: MUESTRA DE AGUA

PARAMETROS		
COLOR		4
TURBIDEZ		3
ALCALINIDAD P en ppm de CaCO <sub>3</sub>		0
ALCALINIDAD TOTAL		150
POR BICARBONATOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		150
POR CARBONATOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		0
POR HIDROXIDOS en ppm CaCO <sub>3</sub>		0
DUREZA TOTAL en ppm CaCO <sub>3</sub>		0,3
DUREZA CALCICA en ppm CaCO <sub>3</sub>		0,2
DUREZA MAGNECICA en ppm CaCO <sub>3</sub>		0,1
HIERRO en ppm de Fe		0,4
SILICE en ppm SiO <sub>2</sub>		45
CONDUCTIVIDAD, microohms		238
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS en ppm		8
CLORURO en ppm de Cl		15
pH		7,6

AGUA DE ABLANDADOR

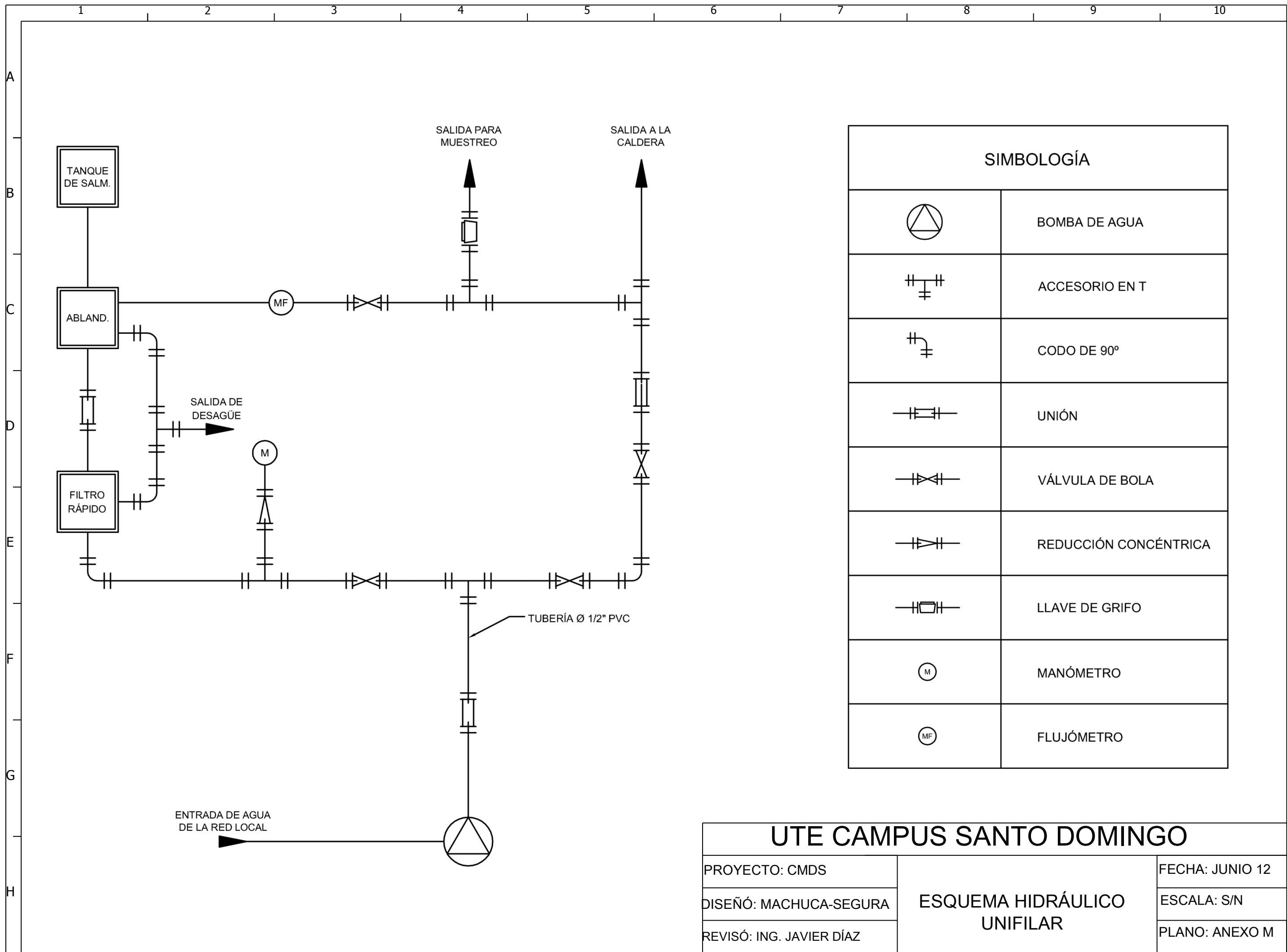
CONDICIONES FISICOQUIMICAS ACEPTABLES

ING. ANGEL VACA G.  
REPRESENTANTE TECNICO

## ANEXO L

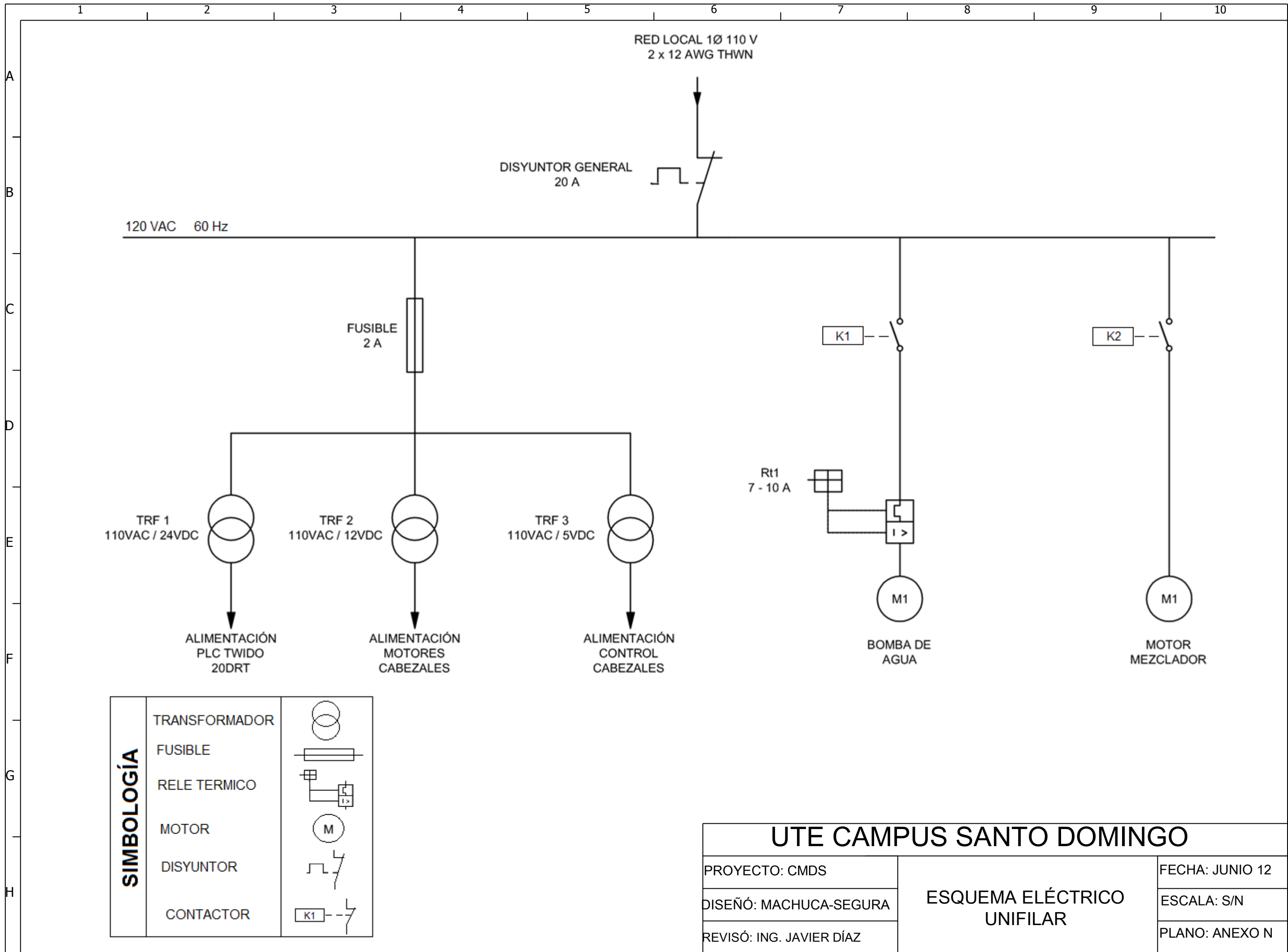
**TABLA COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE ABLANDAMIENTO DE  
AGUA.**

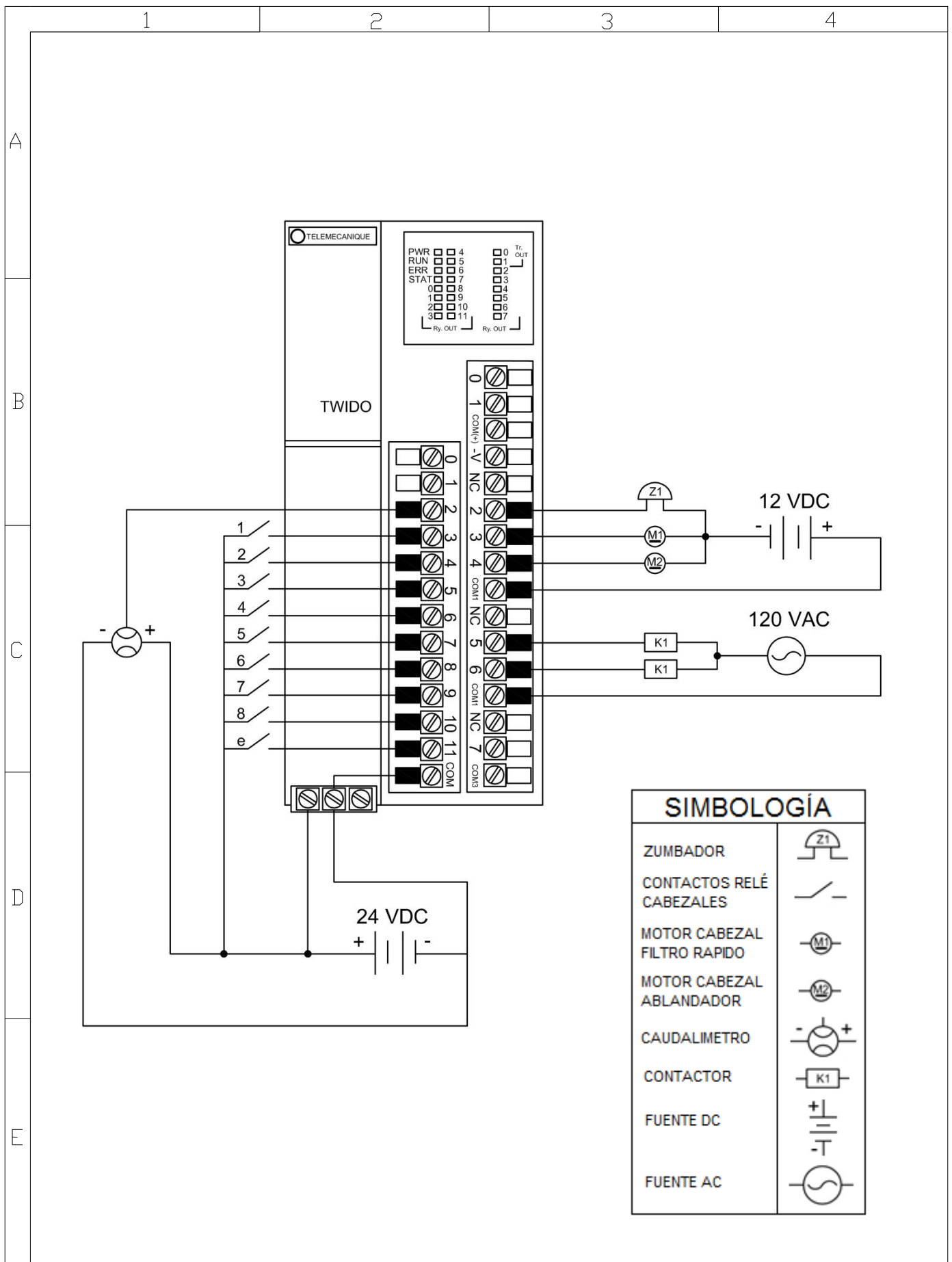
Método	Costo	Mantenimiento	Eficiencia	Vida útil	Ecológica	Disponibilidad	Instalación
<b>Intercambio Iónico</b>	Medio	Medio	Alta	Alta	Alta	Media	Media
<b>Osmosis Inversa</b>	Alto	Bajo	Alta	Media	Alta	Baja	Media
<b>Nano filtración</b>	Alto	Bajo	Alta	Media	Alta	Baja	Difícil
<b>Tratamiento con químicos</b>	Bajo	Alto	Baja	Baja	Baja	Alta	Fácil



SIMBOLOGÍA	
	BOMBA DE AGUA
	ACCESORIO EN T
	CODO DE 90°
	UNIÓN
	VÁLVULA DE BOLA
	REDUCCIÓN CONCÉNTRICA
	LLAVE DE GRIFO
	MANÓMETRO
	FLUJÓMETRO

UTE CAMPUS SANTO DOMINGO		
PROYECTO: CMDS	ESQUEMA HIDRÁULICO UNIFILAR	FECHA: JUNIO 12
DISEÑO: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: S/N
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: ANEXO M





# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

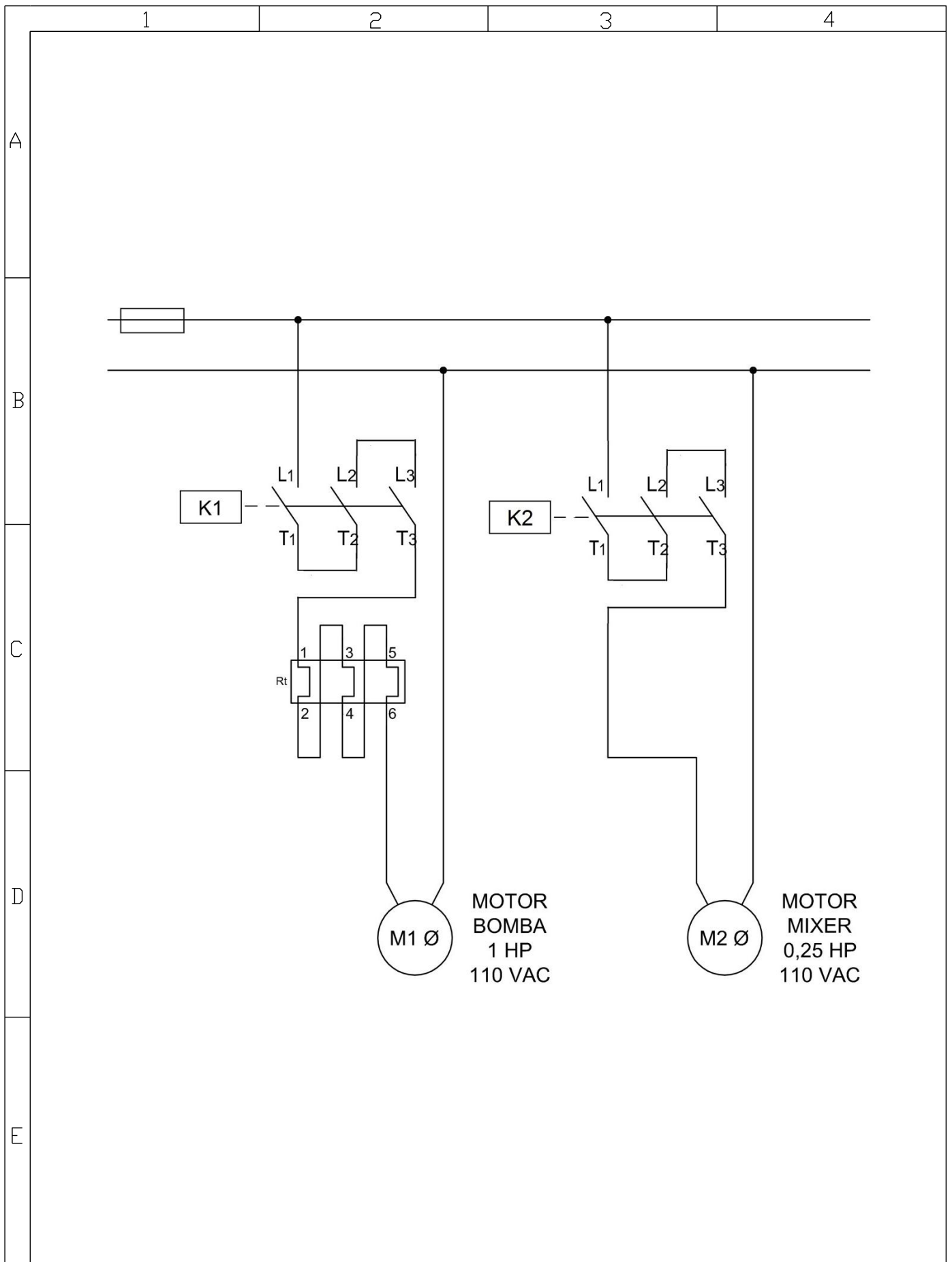
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

## DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC TWIDO

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: S/N

PLANO: ANEXO O



## UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑO: MACHUCA-SEGURA

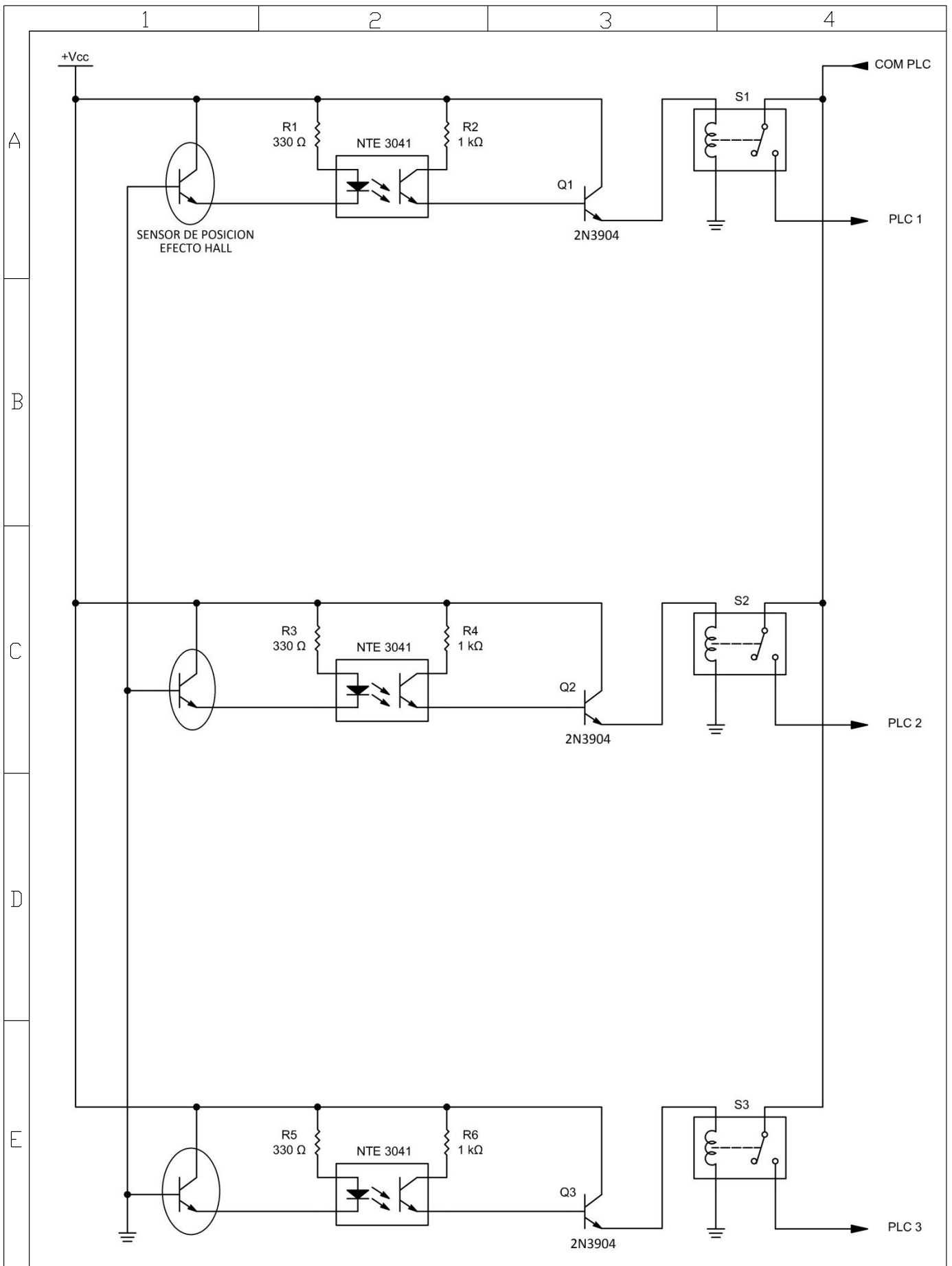
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

DIAGRAMA DE FUERZA

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: S/N

PLANO: ANEXO P



# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

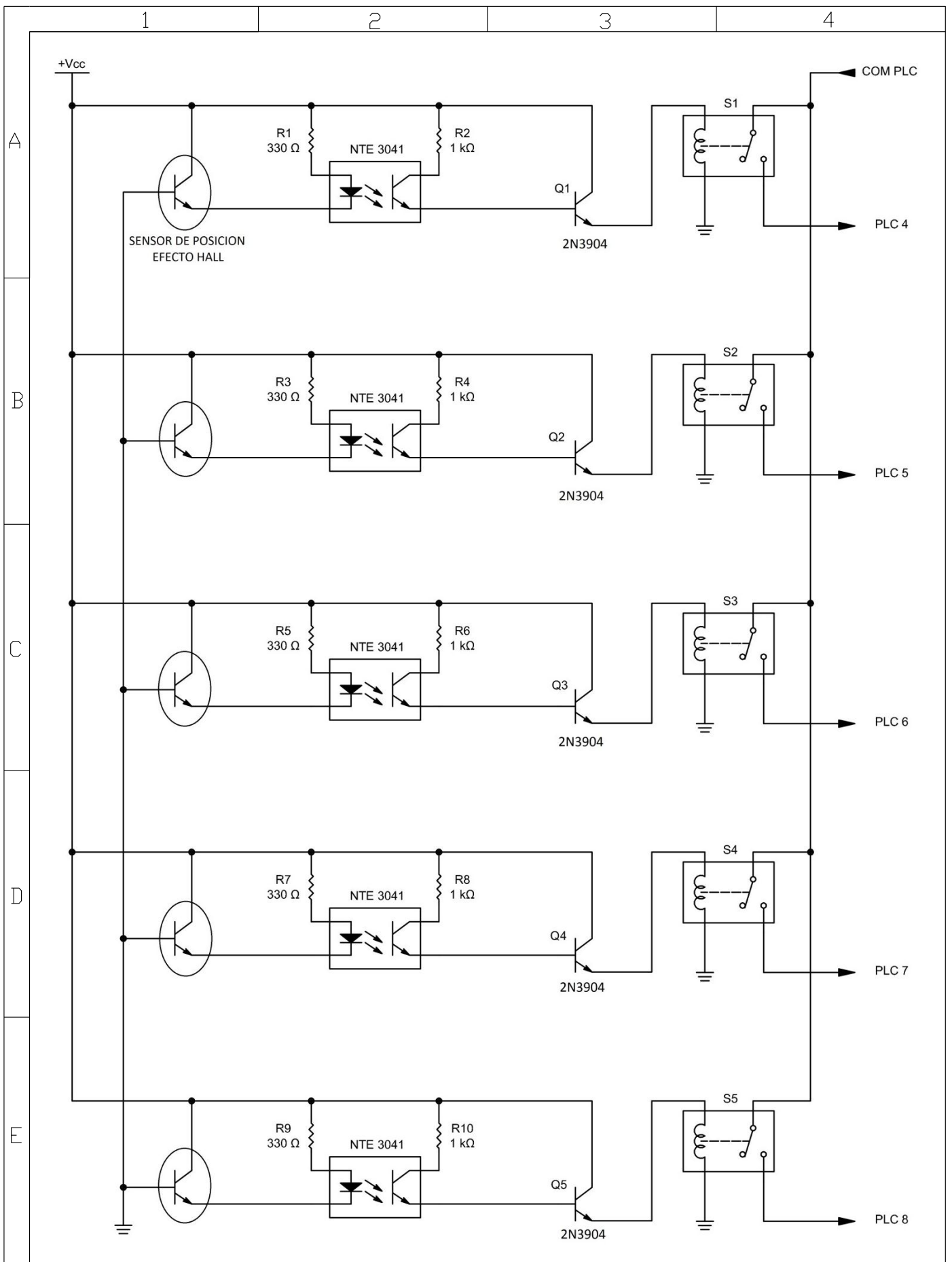
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

TARJETA CONTROL  
FILTRO RÁPIDO

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: S/N

PLANO: ANEXO Q



# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

TARJETA CONTROL  
ABLANDADOR

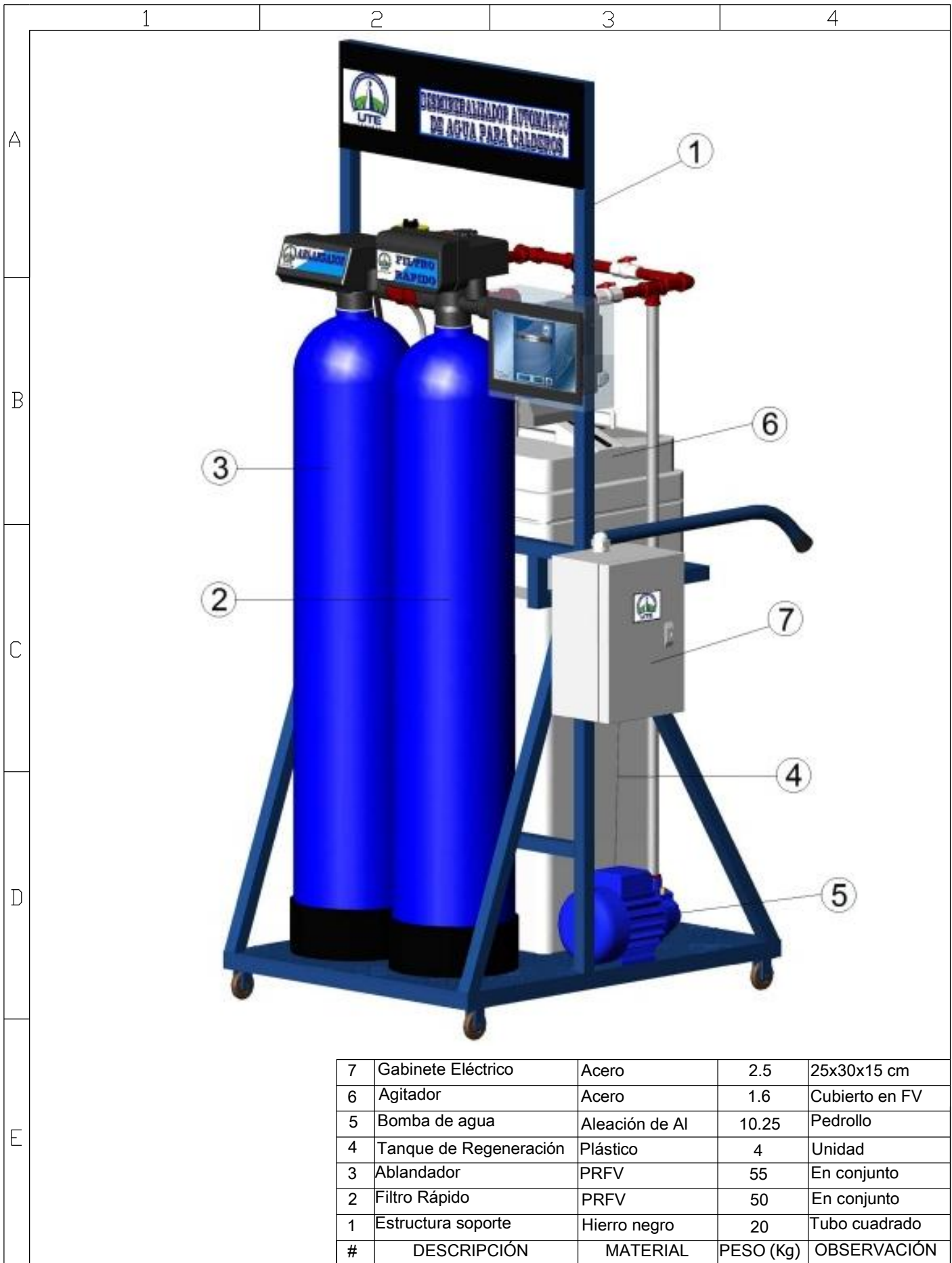
FECHA: JUNIO 25

ESCALA: S/N

PLANO: ANEXO R



**PLANOS**



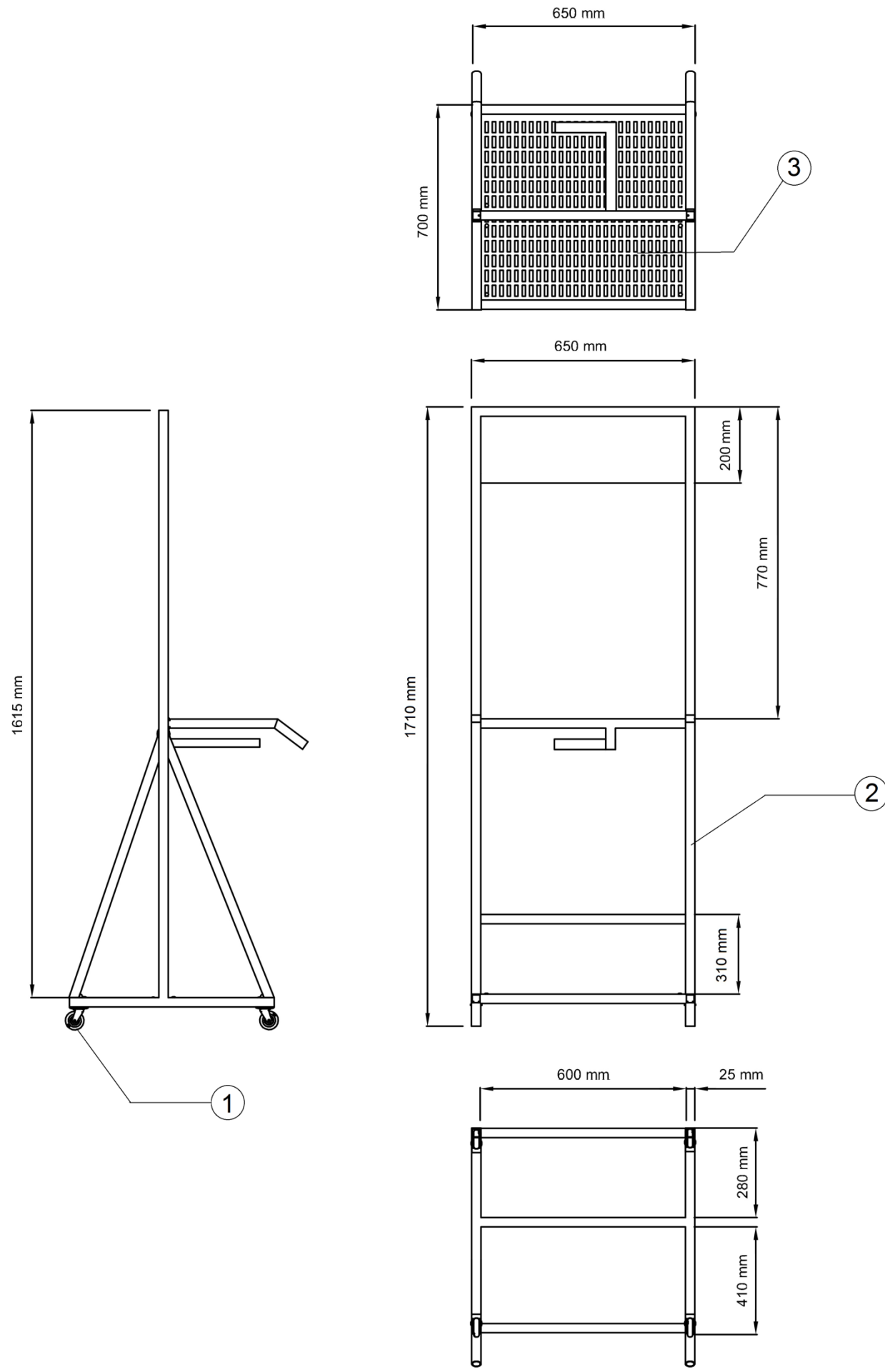
7	Gabinete Eléctrico	Acero	2.5	25x30x15 cm
6	Agitador	Acero	1.6	Cubierto en FV
5	Bomba de agua	Aleación de Al	10.25	Pedrollo
4	Tanque de Regeneración	Plástico	4	Unidad
3	Ablandador	PRFV	55	En conjunto
2	Filtro Rápido	PRFV	50	En conjunto
1	Estructura soporte	Hierro negro	20	Tubo cuadrado
#	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	OBSERVACIÓN

## UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

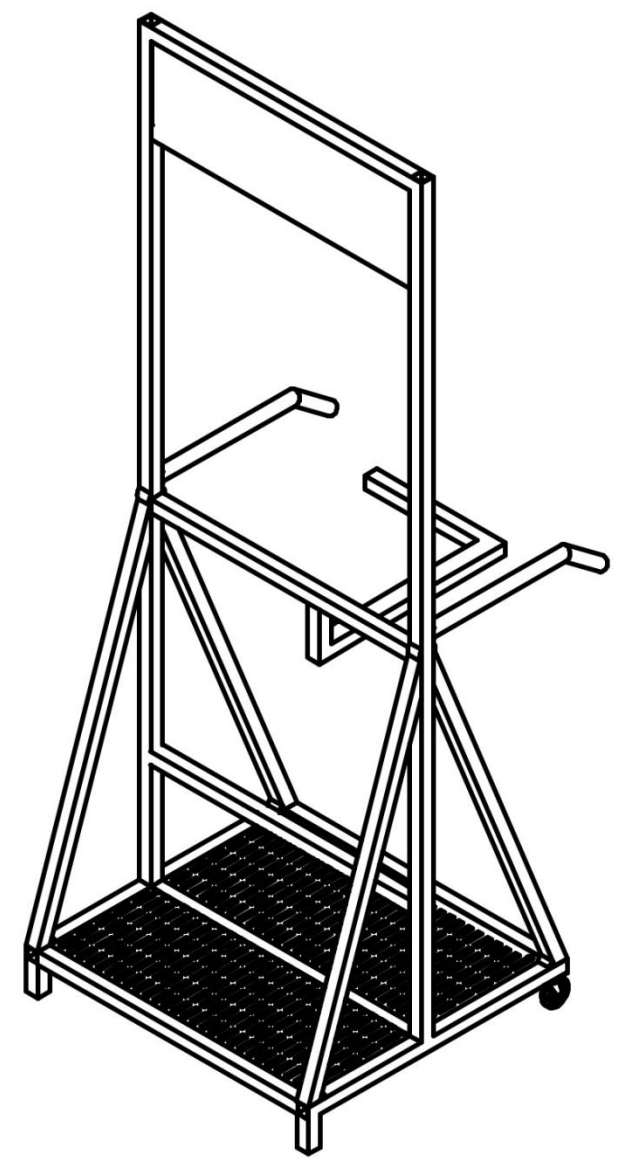
PROYECTO: CMDS	<b>DESMINERALIZADOR DE AGUA</b>	FECHA: JUNIO 25
DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: 1:10
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: 10.000

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H

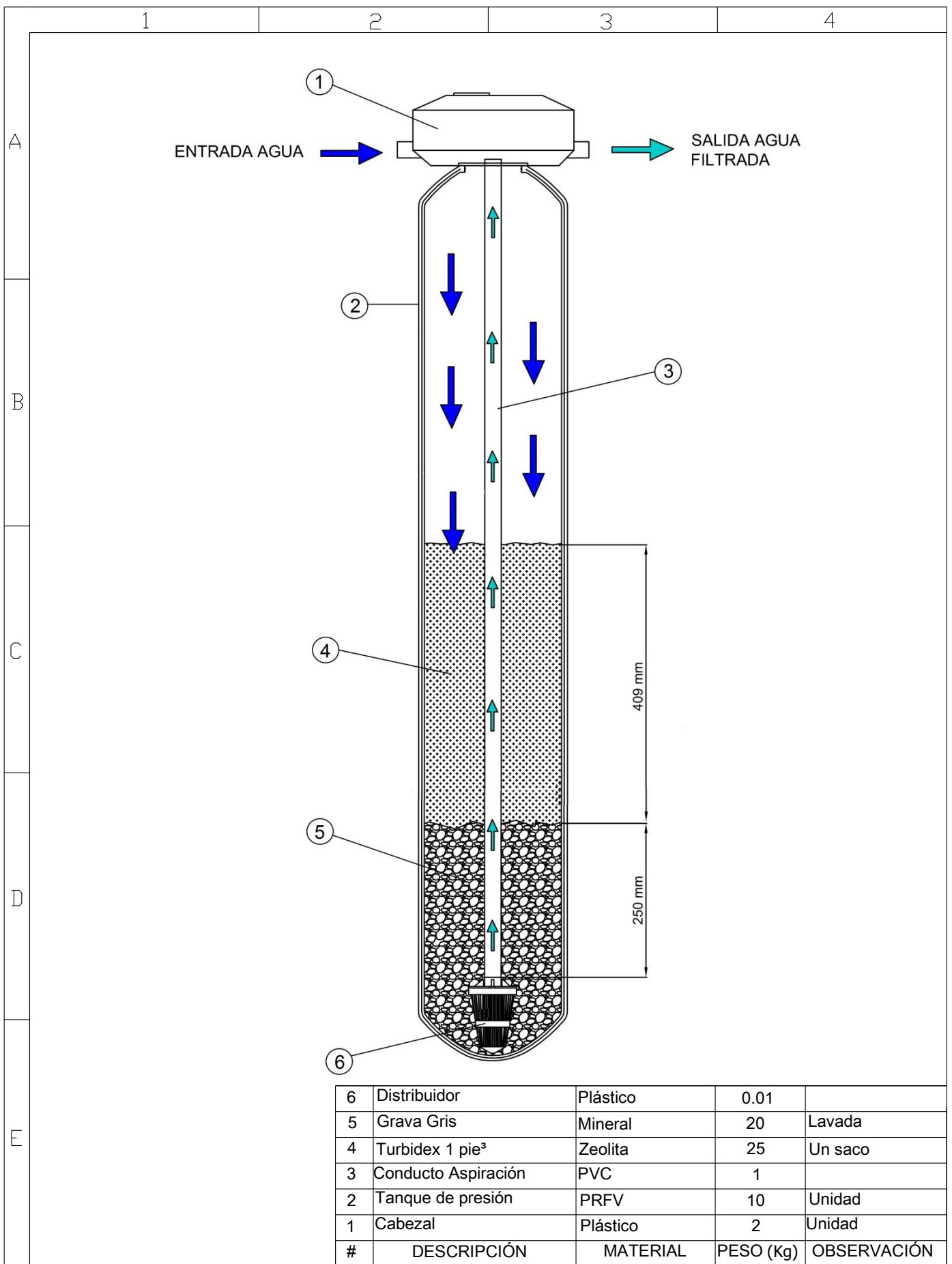


PERSPECTIVA



3	Plancha Corrugada	Aluminio	2	60x70 cm
2	Perfil de Estructura	Acero Negro	17	
1	Ruedas Metálicas	Acero	0.25	Rueda de 360°
#	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	OBSERVACIÓN

<b>UTE CAMPUS SANTO DOMINGO</b>		
PROYECTO: CMDS	<b>DISEÑO DEL SOPORTE</b>	FECHA: JUNIO 12
DISEÑO: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: 1:10
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: 10.001



## UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

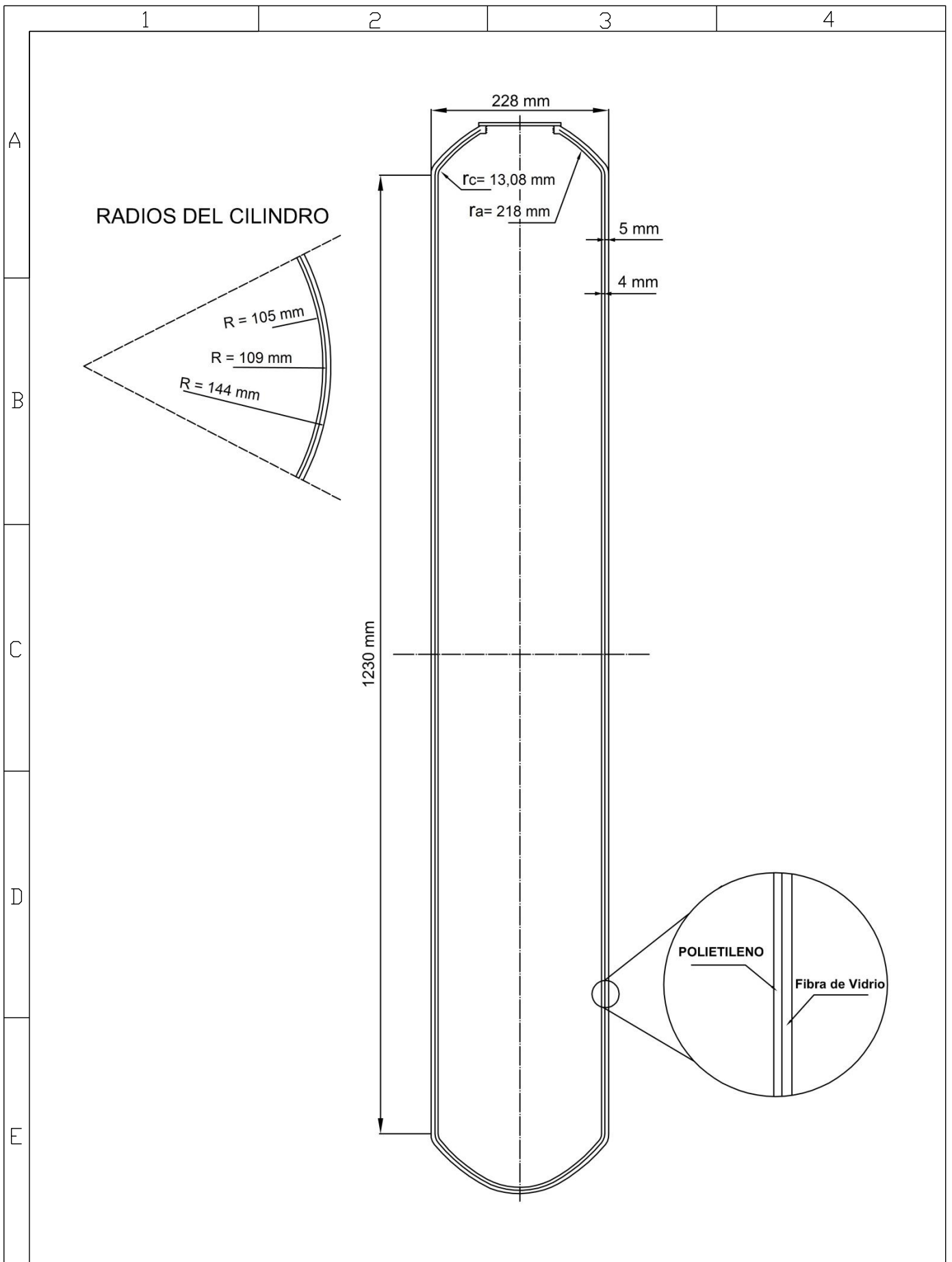
### FILTRO RÁPIDO

DISPOSICIÓN DE LA MEDIA FILTRANTE  
ZEOLITA (TURBIDEX)

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: 1:10

PLANO: 10.002



# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

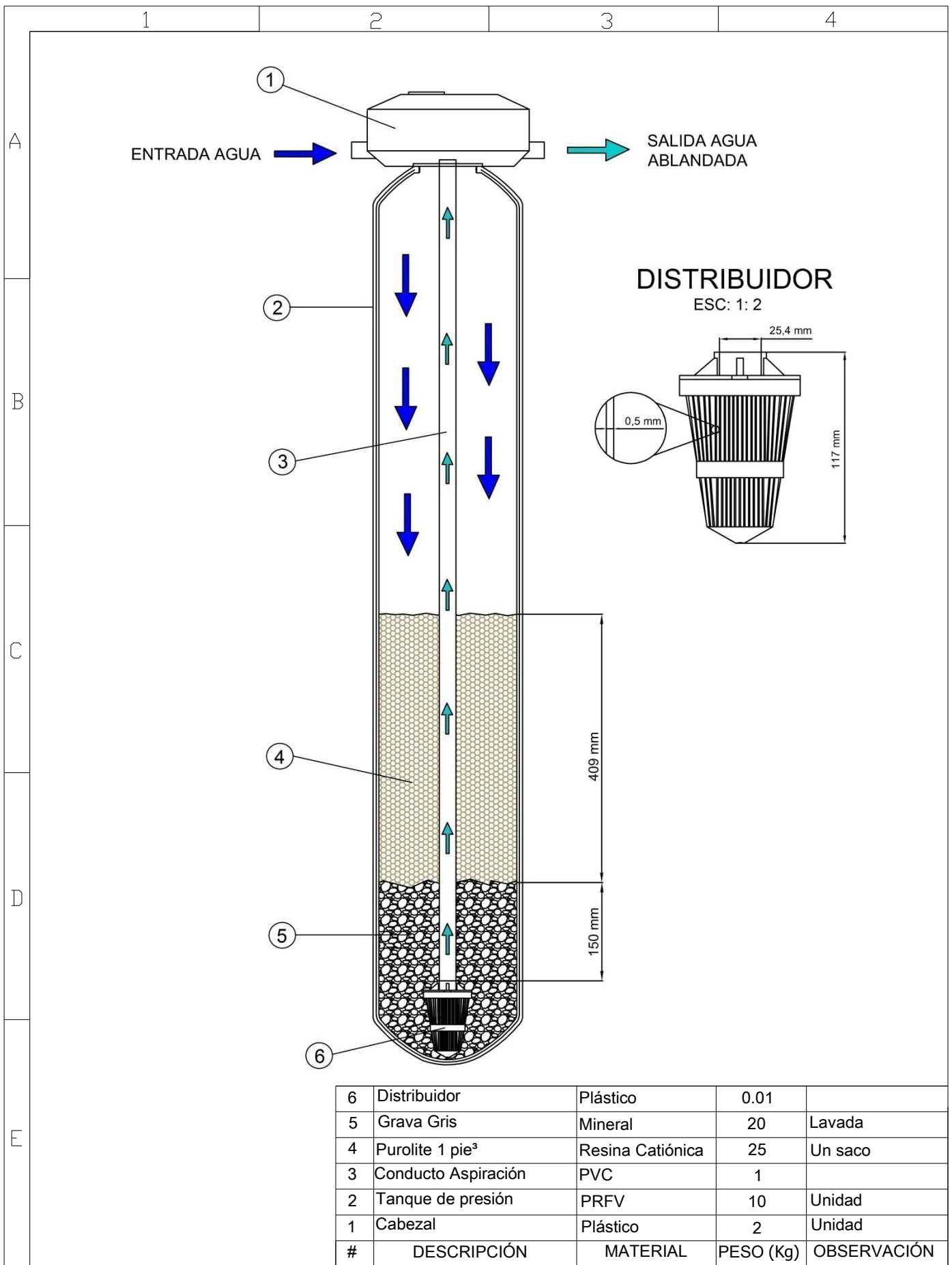
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

TANQUE DE PRESIÓN

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: 1:10

PLANO: 10.002.02



## UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

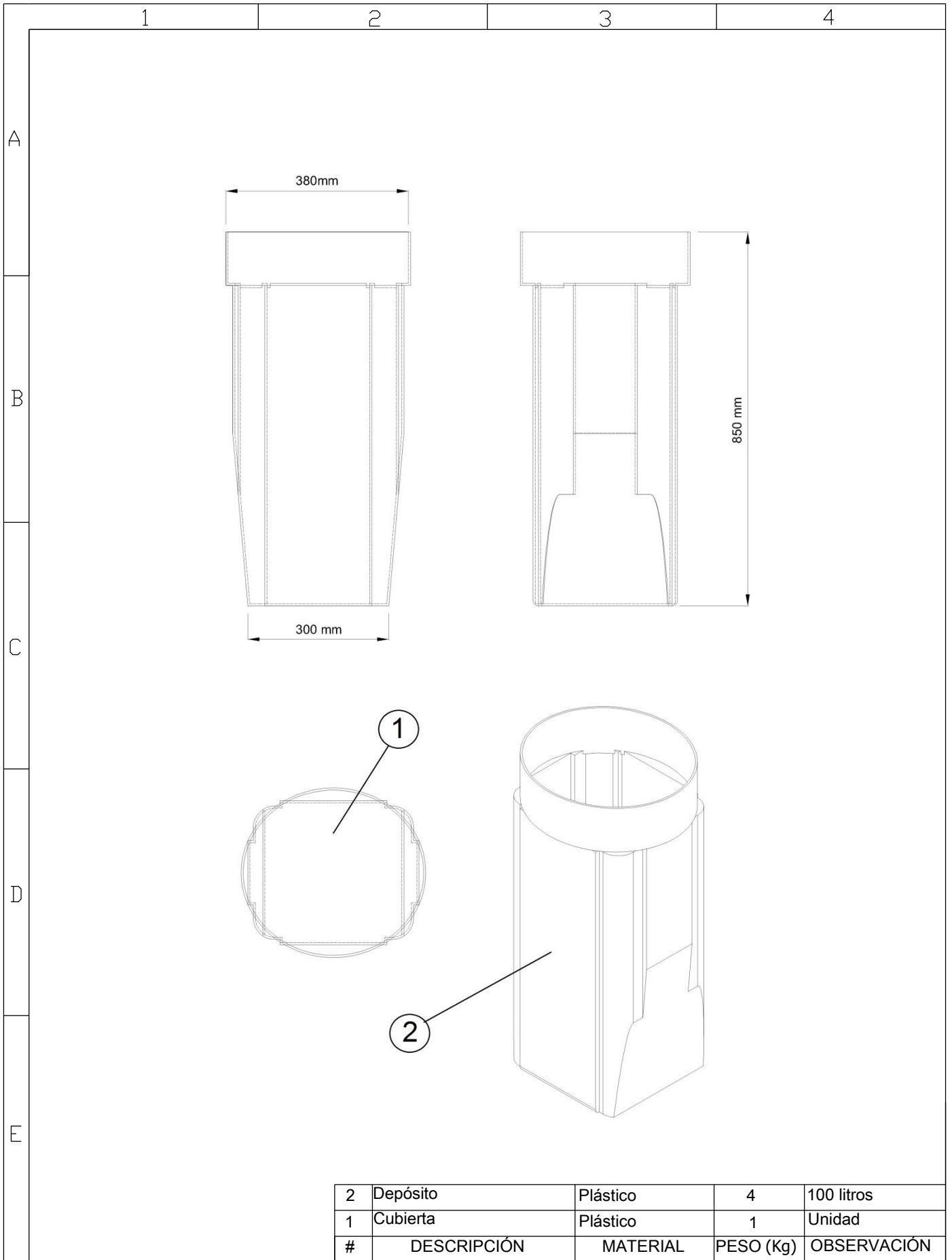
### ABLANDADOR

DISPOSICIÓN DE LA MEDIA FILTRANTE  
RESINA CATIONICA (PUROLITE)

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: 1:10

PLANO: 10.003



2	Depósito	Plástico	4	100 litros
1	Cubierta	Plástico	1	Unidad
#	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	OBSERVACIÓN

# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA

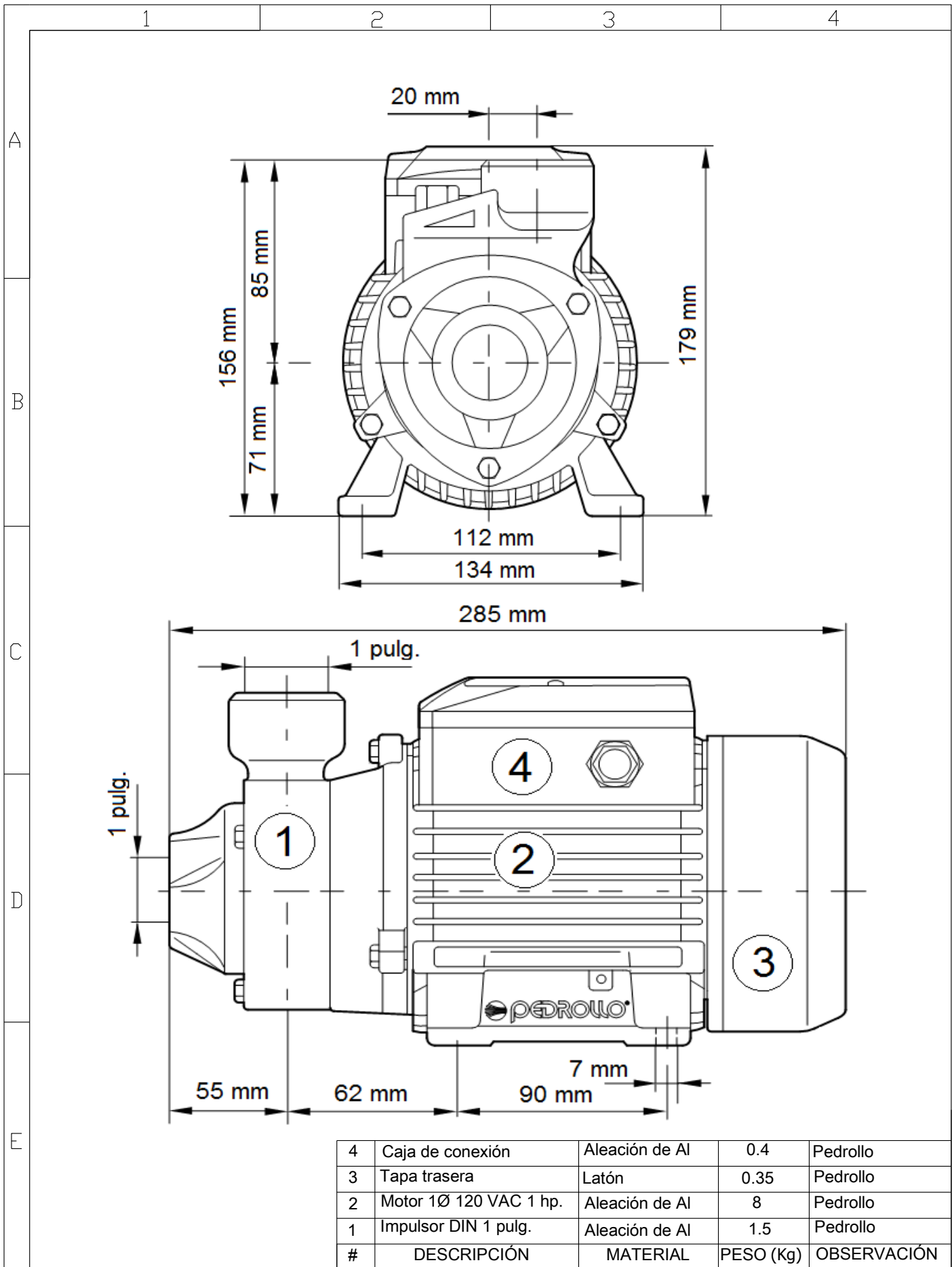
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

## TANQUE DE REGENERACIÓN

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: 1:20

PLANO: 10.004



## UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS

DISEÑO: MACHUCA-SEGURA

REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ

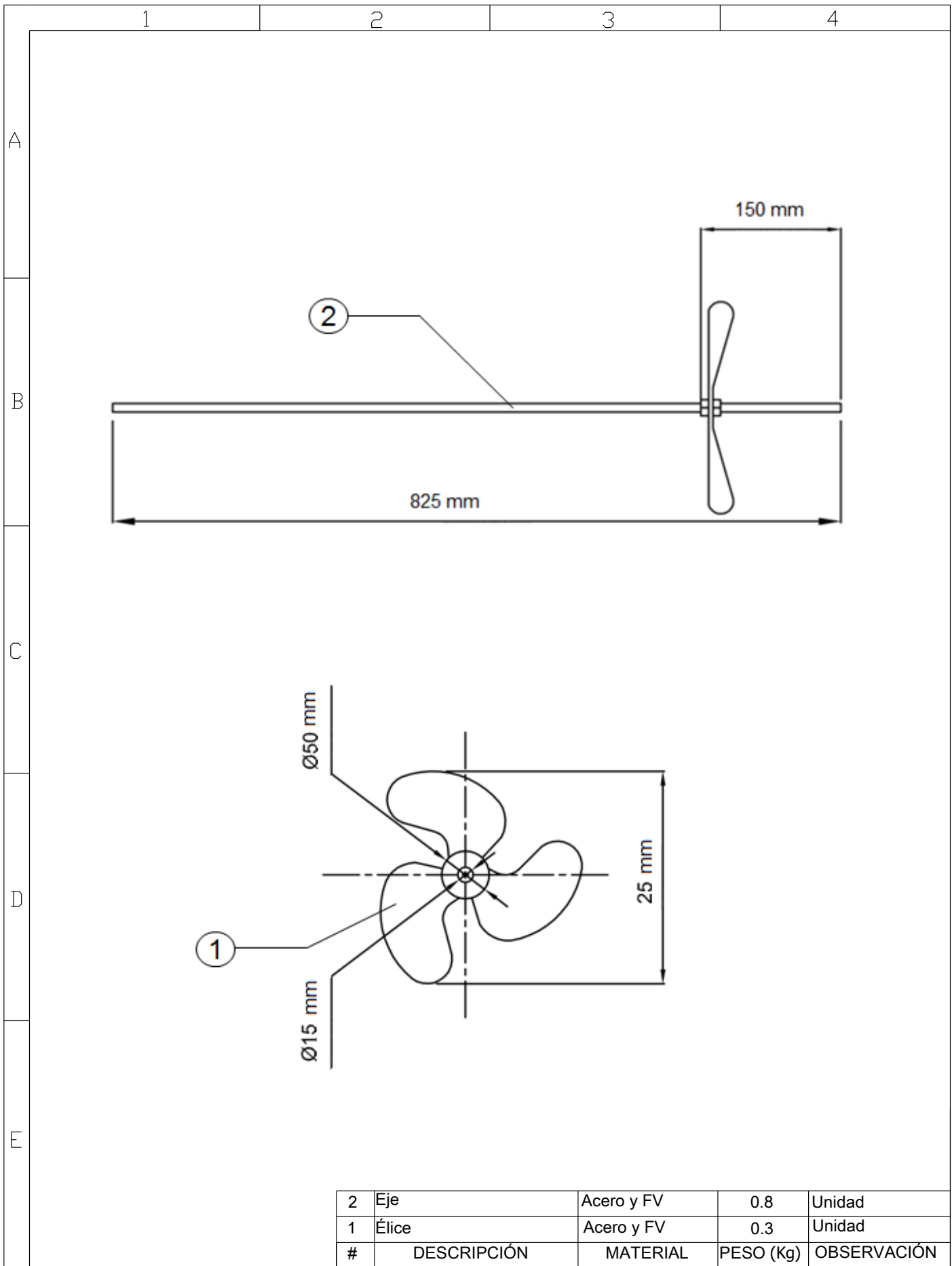
BOMBA DE AGUA

FECHA: JUNIO 25

ESCALA: 1:2

PLANO: 10.005

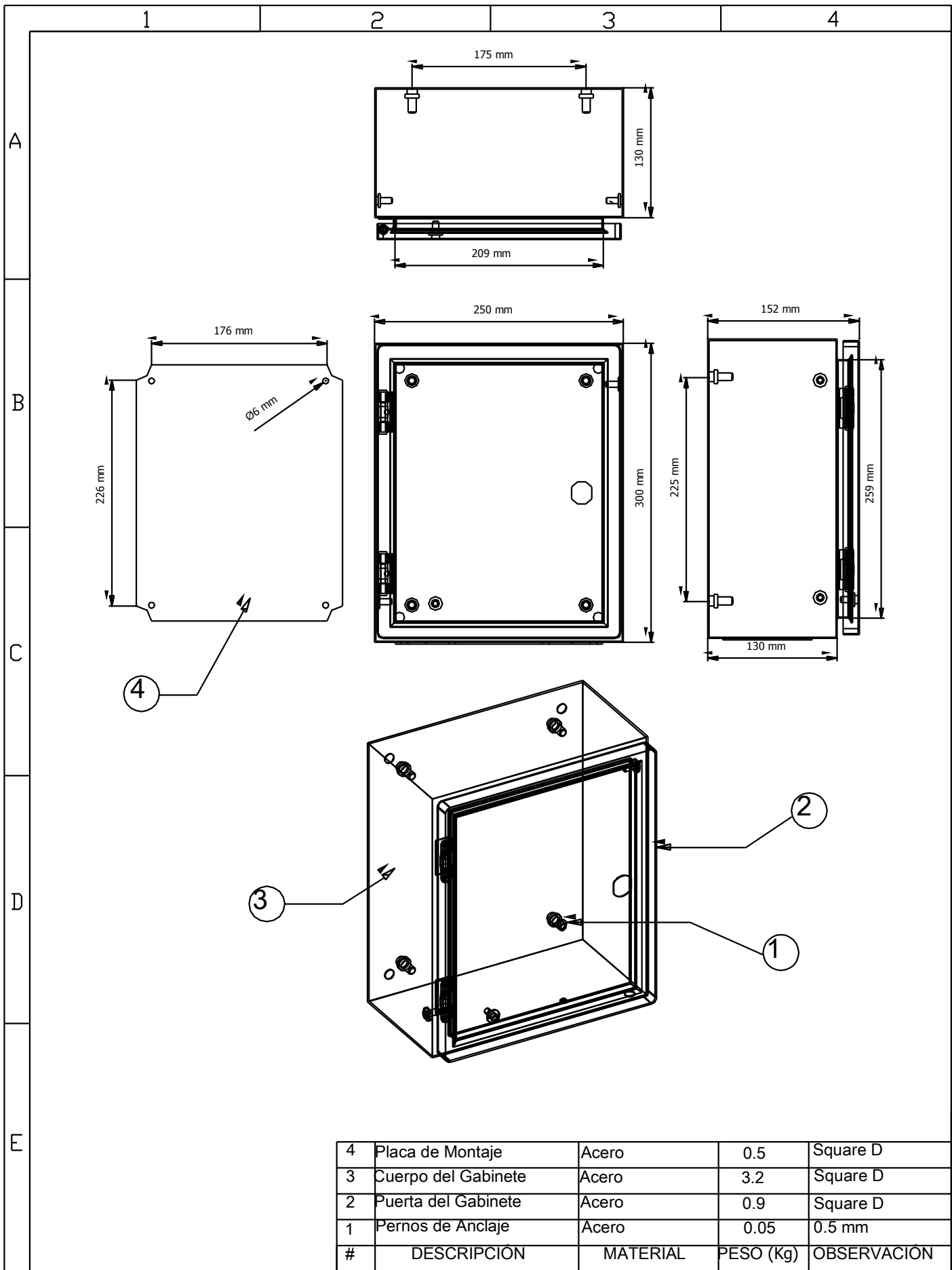




2	Eje	Acero y FV	0.8	Unidad
1	Élice	Acero y FV	0.3	Unidad
#	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	OBSERVACIÓN

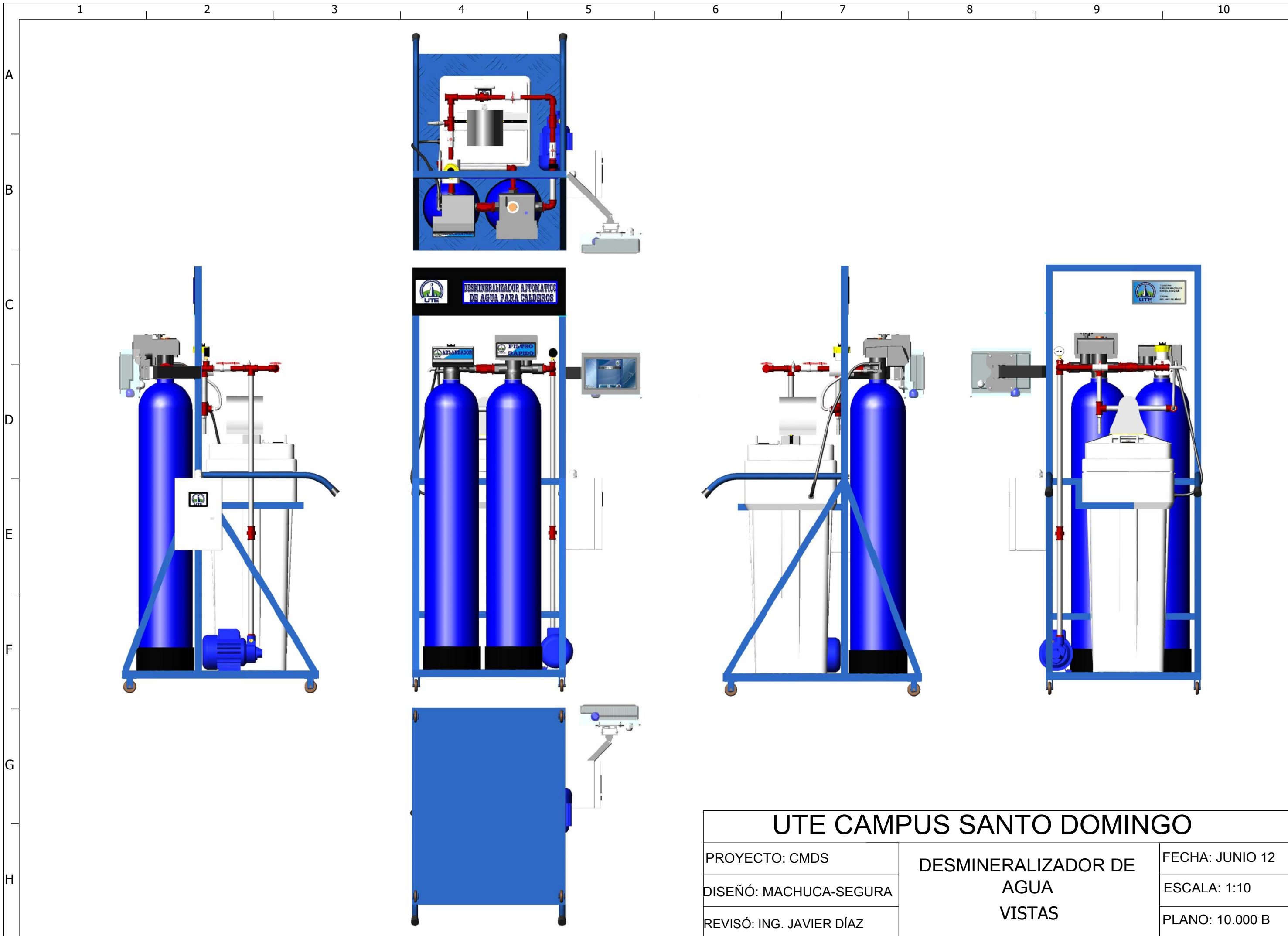
# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS	<b>AGITADOR</b>	FECHA: JUNIO 25
DISEÑÓ: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: 1:5
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: 10.006



# UTE CAMPUS SANTO DOMINGO

PROYECTO: CMDS	<b>GABINETE METÁLICO</b>	FECHA: JUNIO 25
DISEÑO: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: 1:5
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: 10.007



<b>UTE CAMPUS SANTO DOMINGO</b>		
PROYECTO: CMDS	<b>DESMINERALIZADOR DE AGUA VISTAS</b>	FECHA: JUNIO 12
DISEÑO: MACHUCA-SEGURA		ESCALA: 1:10
REVISÓ: ING. JAVIER DÍAZ		PLANO: 10.000 B