



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA  
E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS  
DE AUTOMATIZACIÓN**

**Tema:**

---

“CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE DOSIFICADO DEL  
POLÍMERO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
DEL CASIGANA DE AMBATO (EMAPA)”

---

Proyecto de Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**AUTOR:** Araujo Guerrero Isacc Israel

**TUTOR:** Ing. Edwin Morales

Ambato - Ecuador

Abril-2014

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: Control automático para el proceso de dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del Casigana de Ambato (EMAPA), elaborado por el señor Isacc Israel Araujo Guerrero, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo IV, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Abril 2014

**EL TUTOR**

-----  
Ing. Edwin Morales

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: “CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE DOSIFICADO DEL POLÍMERO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CASIGANA DE AMBATO (EMAPA)”. Es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Abril 2014

## **EL AUTOR**

---

Isacc Israel Araujo Guerrero  
C.I. 180459534-4

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Edison Álvarez, Presidente y los señores Miembros del Tribunal de Calificación Ing. Patricio Encalada e Ing. Danilo Trujillo, revisó y aprobó el informe Final del trabajo de graduación titulado “Control automático para el proceso de dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del Casigana de Ambato (EMAPA)”, presentado por el señor Isacc Israel Araujo Guerrero de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Edison Álvarez Mayorga, Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Patricio Encalada  
DOCENTE CALIFICADOR

-----  
Ing. Danilo Trujillo  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

A:

*Dios por guiar mis pasos y protegerme durante toda mi trayectoria estudiantil, por llenarme de sabiduría y bendecirme en los buenos y malos momentos.*

*Mis padres y hermana por el respaldo incondicional, por el ejemplo que me inculcaron, por el deseo de superación que siempre me mostraron. Muchas gracias porque lo que soy, lo que hago es por ustedes que con sus consejos guiaron mi camino.*

*Y a toda mi familia que siempre ha estado pendiente de mí por su ayuda desinteresada.*

*Israel Araujo*

## **AGRADECIMIENTO**

A:

*Dios por ser partícipe del día a día de mi vida, por la salud y la fuerza que me brinda para seguir superándome.*

*La Universidad Técnica de Ambato espacio de formación académica, a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, a la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado EMAPA, por permitirme desarrollar el trabajo de investigación, a los profesores que impartieron sus conocimientos, en especial al Ing. Edwin Morales que confió en mi trabajo para el desarrollo del presente proyecto.*

*Finalmente a mis amigos y familiares en especial a Jesús Rodríguez y a mi novia Viviana Jácome, quienes supieron brindarme su ayuda e incondicional apoyo en todo momento.*

*Israel Araujo*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPITULO I.....	17
PROBLEMA.....	17
1.1 Tema de Investigación .....	17
1.2 Planteamiento del Problema.....	17
1.2.1 Contextualización.....	17
1.2.2 Análisis Crítico .....	20
1.2.3 Prognosis .....	20
1.2.4 Formulación del Problema .....	20
1.2.5 Preguntas Directrices .....	21
1.2.6 Delimitación del Problema.....	21
1.3 Justificación.....	21
1.4 Objetivos .....	22
CAPÍTULO II .....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Antecedentes Investigativos.....	23
2.2 Fundamentación Legal .....	23
2.3 Categorías Fundamentales .....	25
2.3.1 Red de inclusiones conceptuales.....	25
2.3.2 Constelación de Ideas.....	26
2.3.3 Automatización .....	28
2.3.4 Sistemas de Control .....	31
2.3.5 Clasificación de las técnicas de control .....	34
2.3.6 Lógica Difusa.....	37

2.3.7 Tratamiento de agua potable .....	43
2.3.8 Procesos de Potabilización .....	44
2.3.9 Polímero .....	45
2.3.10 Dosificado del Polímero.....	46
2.4 Hipótesis.....	48
2.5 Señalización de las Variables .....	48
2.5.1 Variable Independiente .....	48
2.5.2 Variable Dependiente.....	48
CAPÍTULO III.....	49
METODOLOGÍA .....	49
3.1 Enfoque de la Investigación .....	49
3.2 Modalidad de la Investigación .....	49
3.2.1 Investigación Aplicada.....	49
3.2.2 Investigación Bibliográfica .....	49
3.2.3 Investigación de Campo .....	50
3.3 Tipos de Investigación .....	50
3.3.1 Investigación Deductiva.....	50
3.3.2 Investigación Descriptiva.....	50
3.4 Población y Muestra.....	50
3.5 Operacionalización de las Variables .....	51
3.6 Plan de Recolección de la Información.....	53
3.7 Plan de Procesamiento de la Información .....	53
CAPITULO IV.....	55
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
4.1 Análisis e Interpretación de los Resultados de la Encuesta .....	55
CAPITULO V .....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1 Conclusiones .....	63
5.2 Recomendaciones.....	64
CAPITULO VI.....	65
PROPUESTA.....	65
6.1 Datos Informativos.....	65
6.2 Antecedentes de la Propuesta.....	66
6.3 Justificación.....	67
6.4 Objetivos .....	68
6.4.1 General .....	68

6.4.2 Específicos .....	68
6.5 Análisis de Factibilidad.....	68
6.5.1 Factibilidad Tecnológica .....	69
6.5.2 Factibilidad Económica – Financiera.....	69
6.6 Fundamentación .....	69
6.6.1 Proceso de Potabilización en la Planta de Tratamiento del Casigana..	69
6.7 Desarrollo de la Propuesta .....	75
6.7.1 Proceso Actual .....	76
6.7.2 Componentes del Controlador .....	83
6.7.3 Diagrama P&ID .....	90
6.7.4 Programación del controlador .....	93
6.7.5 Diseño de la Interfaz (HMI).....	134
6.7.6 Funcionamiento de la Interfaz del Controlador .....	137
Módulo de Pruebas del Controlador Difuso para el Proceso de Dosificado	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	160
Conclusiones .....	160
Recomendaciones.....	161
BIBLIOGRAFÍA .....	162
Libros: .....	162
Linkografía:.....	162
ANEXO 1.....	164
Diagrama de recorrido del operador en el proceso. ....	164
ANEXO 2.....	166
Conexiones de los medidores de .....	166
Caudal y turbiedad .....	166
ANEXO 3.....	168
Diagrama P&ID. ....	168
ANEXO 4.....	170
Conexiones de los medidores de caudal y turbiedad con la PC.....	170
ANEXO 5.....	172
Plano Hidráulico de la Electroválvula.....	172
ANEXO 6.....	173
Módulo de Pruebas.....	173
ANEXO 7.....	178
Diagrama esquemático de la tarjeta de control para la simulación del medidor de caudal. ....	178

ANEXO 8.....	180
Simulador de medidor de caudal.....	180
ANEXO 9.....	182
Simulador de medidor de turbiedad .....	182
ANEXO 10.....	183
Diagrama esquemático de la tarjeta de control para la simulación del medidor de turbiedad.....	183
ANEXO 11.....	185
Diagrama de bloque para la conexión de la sirena.....	185
ANEXO 12.....	187
Conexión entre la Tarjeta y la electroválvula. ....	187
ANEXO 13.....	189
Plano Hidráulico de la Electroválvula para el módulo de pruebas .....	189
ANEXO 14.....	191
Conexión entre las tarjetas y la PC .....	191
ANEXO 15.....	193
Mecanismo Electroválvula.....	193
ANEXO 16.....	195
Chasis Electroválvula.....	195
ANEXO 17.....	198
Diseño de la servo válvula .....	198
ANEXO 18.....	202
Reporte General .....	202
ANEXO 19.....	207
Manual de Usuario .....	207

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Relación Causa-Efecto.....	19
Ilustración 2: Categorías fundamentales .....	25
Ilustración 3: Constelación de ideas de Variable Independiente .....	26
Ilustración 4: Constelación de ideas de Variable Dependiente.....	27
Ilustración 5: Variables del sistema de control .....	31

Ilustración 6: Diagrama de bloques del control de lazo abierto.....	33
Ilustración 7: Diagrama de Bloques de un controlador lazo cerrado .....	33
Ilustración 8: Diagrama de bloque de un controlador PID .....	37
Ilustración 9: Estructura Interna de un Controlador Difuso.....	38
Ilustración 10: Proceso de Fusificación .....	39
Ilustración 11: Proceso de potabilizacion .....	44
Ilustración 12: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 1. ....	56
Ilustración 13: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 2. ....	57
Ilustración 14: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 3. ....	58
Ilustración 15: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 4. ....	59
Ilustración 16: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 5. ....	60
Ilustración 17: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 6. ....	61
Ilustración 18: Gráfica estadística porcentual de la pregunta 7. ....	62
Ilustración 19: Proceso de Potabilización de Agua.....	70
Ilustración 20: Llegada de agua cruda a la planta .....	71
Ilustración 21: Accionamiento mecánico para el bombeo desde la Estación de Miraflores.....	71
Ilustración 22: Chorro continuo para la inyección de Policloruro de aluminio ...	72
Ilustración 23: Sedimentadores .....	73
Ilustración 24: Cámara de Filtros .....	74
Ilustración 25: Cámara de Filtros .....	74
Ilustración 26: Etapas del desarrollo .....	76
Ilustración 27: Proceso actual del dosificado.....	77
Ilustración 28: Dosificado de polímero.....	77
Ilustración 29: Proceso actual del dosificado.....	78
Ilustración 30: Medidor e indicador de Caudal.....	79
Ilustración 31: Medidor e indicador de Turbiedad.....	80
Ilustración 32: Procedimiento correcto del dosificado de polímero .....	82
Ilustración 33: Transmisor de caudal .....	83
Ilustración 34: Indicador de Turbiedad .....	84
Ilustración 35: Medidor de caudal MULLTRONICS OCM-3.....	85
Ilustración 36: NI myDAQ.....	87
Ilustración 37: Electroválvula proporcional Danfoss EV260B.....	89

Ilustración 38: Diagrama P&ID .....	91
Ilustración 39: Creación de Proyecto en Labview .....	94
Ilustración 40: Creación de Proyecto en Labview .....	94
Ilustración 41: Creación de un VI .....	95
Ilustración 42: Paleta de Control Design & Simulation.....	96
Ilustración 43: Cargar archivo difuso.....	96
Ilustración 44: Adquisición de la información difusa .....	96
Ilustración 45: Modelo de direccionamiento .....	98
Ilustración 46: Configuración del puerto serial.....	100
Ilustración 47: Lectura del puerto .....	101
Ilustración 48: Lectura del puerto .....	101
Ilustración 49: Adquisición de datos del controlador sc100 .....	102
Ilustración 50: Código para cerrar la comunicación del puerto .....	102
Ilustración 51: Configuración preliminares .....	105
Ilustración 52: Adquisición de datos.....	106
Ilustración 53: Adquisición de datos.....	106
Ilustración 54: Adquisición de datos.....	107
Ilustración 55 : Componentes del controlador difuso .....	107
Ilustración 56: Diagrama de bloque del controlador difuso.....	108
Ilustración 57: Sistema fusificación para la turbiedad .....	109
Ilustración 58: Sistema fusificación para el caudal.....	111
Ilustración 59 : Sistema fusificación para el tiempo .....	113
Ilustración 60: Creación de las reglas difusas.....	114
Ilustración 61: Selección del método de defusificación.....	116
Ilustración 62: Rectas a ser analizados.....	117
Ilustración 63: Rectas a ser analizados.....	120
Ilustración 64: Diagrama de tiempo .....	122
Ilustración 65: Diagrama de tiempo para determinar el centroides .....	123
Ilustración 66: Diagrama para determinar el centroides .....	123
Ilustración 67: Diagrama para cálculo de centroides .....	124
Ilustración 68: Diagrama para cálculo de centroides .....	124
Ilustración 69: Rectas a ser analizados.....	126
Ilustración 70: Rectas a ser analizados.....	127
Ilustración 71: Diagrama de tiempo para determinar el centroides .....	129

Ilustración 72: Diagrama para determinar el centroides .....	129
Ilustración 73: Análisis mediante el software para el caso uno .....	131
Ilustración 74: Análisis mediante el software para el caso uno .....	132
Ilustración 75 : Código para cargar el controlador caudal.fs .....	133
Ilustración 76: Adquisición del valor de salida del controlador .....	133
Ilustración 77: Código para el envío de la señal de control .....	134
Ilustración 78: Flujograma del HMI .....	135
Ilustración 79: Graficas para sistemas HMI.....	136
Ilustración 80: Pantalla principal del controlador .....	136
Ilustración 81: Pantallas del controlador.....	137
Ilustración 82: Registro en Access .....	138
Ilustración 83: Registro de operadores.....	138
Ilustración 84: Funcionamiento del controlador .....	139
Ilustración 85: Sistema de Registro.....	140
Ilustración 86: Código para el sistema de registro .....	140
Ilustración 87: HMI.....	141
Ilustración 88: Historial de datos .....	143
Ilustración 89: Código para el registro de datos.....	143
Ilustración 90: Plantilla reporte de Datos.....	144
Ilustración 91: Código para crear el reporte.....	145
Ilustración 92: Difusor .....	145
Ilustración 93: Código del difusor.....	146
Ilustración 94: Servo Válvula.....	146
Ilustración 95: Código para servo válvula .....	147
Ilustración 96: Alarma.....	147
Ilustración 97: Código para ejecución de la pestaña Alarma.....	148
Ilustración 98: Diseño del controlador de caudal.....	150
Ilustración 99: Diseño del controlador de turbiedad. ....	151
Ilustración 100: sección de la válvula .....	157
Ilustración 101: Gráfica tiempo vs caudal .....	157
Ilustración 102: Circuito de control de la servo válvula .....	159

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y Desventajas de la Automatización .....	30
Tabla 2: Variable Independiente Control Automático .....	51
Tabla 3: Variable Dependiente Dosificado del Polímero. ....	52
Tabla 4: Plan de recolección de la información .....	53
Tabla 5: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 1. ....	55
Tabla 6: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 2. ....	56
Tabla 7: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 3. ....	57
Tabla 8: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 4. ....	58
Tabla 9: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 5. ....	59
Tabla 10: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 6. ....	60
Tabla 11: Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 7. ....	61
Tabla 12: Tiempo de referencia con un caudal constante. ....	81
Tabla 13: Especificaciones técnicas del medidor de caudal. ....	86
Tabla 14: Código de colores para diagrama P&ID. ....	90
Tabla 15: Instrumentos y equipos del proceso de dosificado. ....	91
Tabla 16: Tipo de comunicación de los elementos de entrada del controlador. ...	97
Tabla 17: Mapa de memoria de Medidor de Turbiedad sc100. ....	98
Tabla 18: Configuraciones de la comunicación del Medidor de Turbiedad sc100. .....	100
Tabla 19: Pines del conector RS232. ....	103
Tabla 20: Tipos de control de transferir datos. ....	104
Tabla 21: Configuraciones de comunicación. ....	104
Tabla 22: Parámetros a establecer en la variable de entrada Turbiedad. ....	108
Tabla 23: Parámetros a establecer en la variable de entrada Caudal .....	110
Tabla 24: Parámetros a establecer en la variable de salida .....	111
Tabla 25: Reglas difusa.....	114
Tabla 26: Cálculo de Centroides y Áreas.....	125
Tabla 27: Cálculo de Centroides y Áreas.....	129
Tabla 28: Comparación entre análisis matemático y el controlador .....	132
Tabla 29: Comparación entre análisis matemático y el controlador .....	144
Tabla 30: Descripción del motor a pasos .....	153

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente proyecto titulado “CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE DOSIFICADO DEL POLÍMERO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CASIGANA DE AMBATO (EMAPA)”, permite control y monitorear de mejor manera el proceso de dosificado, de esta manera mejorando el desempeño dentro de la Planta de Tratamiento.

El desarrollo del presente proyecto hace referencia al control del dosificado utilizando Lógica Difusa y las herramientas de Labview para el diseño del controlador y el Interfaz Maquina Humano.

El contenido de la investigación esta detallada en 6 capítulos descritos a continuación.

Capítulo I: Se analiza la problemática del proceso, se desarrolla un análisis crítico de los inconvenientes que existen dentro del mismo, se deducen los objetivos que se piensan alcanzar con la investigación.

Capítulo II: Se realiza una recopilación de información necesaria para el controlador, tomando en cuenta los antecedentes investigativos e investigaciones similares.

Capítulo III: Comprende la metodología que se emplea en el desarrollo del proyecto.

Capítulo IV: Interpretación de resultados que arrojaron las encuestas personales que se realizó dentro de la Planta.

Capítulo V: Consta las conclusiones y recomendaciones que se obtuvo durante la investigación y que ayudan al desarrollo de la propuesta.

Capítulo VI: Se desarrolla y se diseña un control automático para el dosificado de polímero que va a tener la capacidad de controlar el tiempo de dosificado, monitorear las variables inmiscuidas dentro del proceso, utilizando un control alternativo a los tradicionales como es la Lógica Difusa.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente proyecto se realizó observaciones y análisis en el sistema actual de Dosificado de Polímero que dispone la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana, los sistemas y procesos obsoletos que disponen para el dosificado provoca un deficiente desenvolvimiento de los operadores dentro de la Planta.

El diseño del controlador para el dosificado está basado en un control alternativo al normal, se optó por utilizar Lógica difusa para el controlador.

El controlador tiene la capacidad de dosificar automáticamente el polímero cuando las variables de entrada hayan cambiado, el tiempo correcto de dosificado está elaborado a base de reglas lo que hace q se minimice las perturbaciones.

El sistema diseñado permite almacenar los datos y visualizar el proceso de una forma amigable, de la misma manera se puede gestionar alarmas y elegir la forma que se desea controlar.

Es así que este proyecto pretende dar solución a muchos de los problemas generados en el dosificado, utilización de tecnología actual y al diseño de sistemas automáticos, que tienen como objetivos primordiales optimizar el procesos y sobre todo permitir que las empresas se desarrollen tecnológica y económicamente y que exista un mejor desenvolvimiento de los operadores dentro de la Planta.

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA**

#### **1.1 Tema de Investigación**

Control automático para el Proceso de Dosificado del Polímero en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana de Ambato (EMAPA).

#### **1.2 Planteamiento del Problema**

##### **1.2.1 Contextualización**

El agua es el servicio básico más importante en el mundo, el buen uso y eficientes sistemas para procesarla contribuye un pilar fundamental en el desarrollo de las grandes metrópolis. El objetivo principal de los procesos y operaciones utilizados en las plantas de tratamiento de agua potable es la remoción de impurezas presentes en el agua, tornándola apropiada al consumo humano, garantizando condiciones de salud e higiene. Debido a estos principios el control automático en los diferentes procesos es cada vez más importante para cumplir las exigencias en la calidad de agua y el ahorro económico de las empresas.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato EMAPA es la encargada de abastecer agua potable a todos los barrios de la ciudad. Desde las fuentes de captación del Río Ambato ubicadas en la represa de Aguaján es canalizado a través de túneles que atraviesan la montaña hasta la planta de tratamiento CASIGANA donde se asegura agua potable para 80 mil habitantes durante las 24 horas del día.

Tradicionalmente en la Planta de tratamiento del Casigana el proceso de dosificación del polímero se realiza de una manera manual. Este proceso tiene en cuenta un histórico de datos obtenidos mediante pruebas físico-químicos, estas

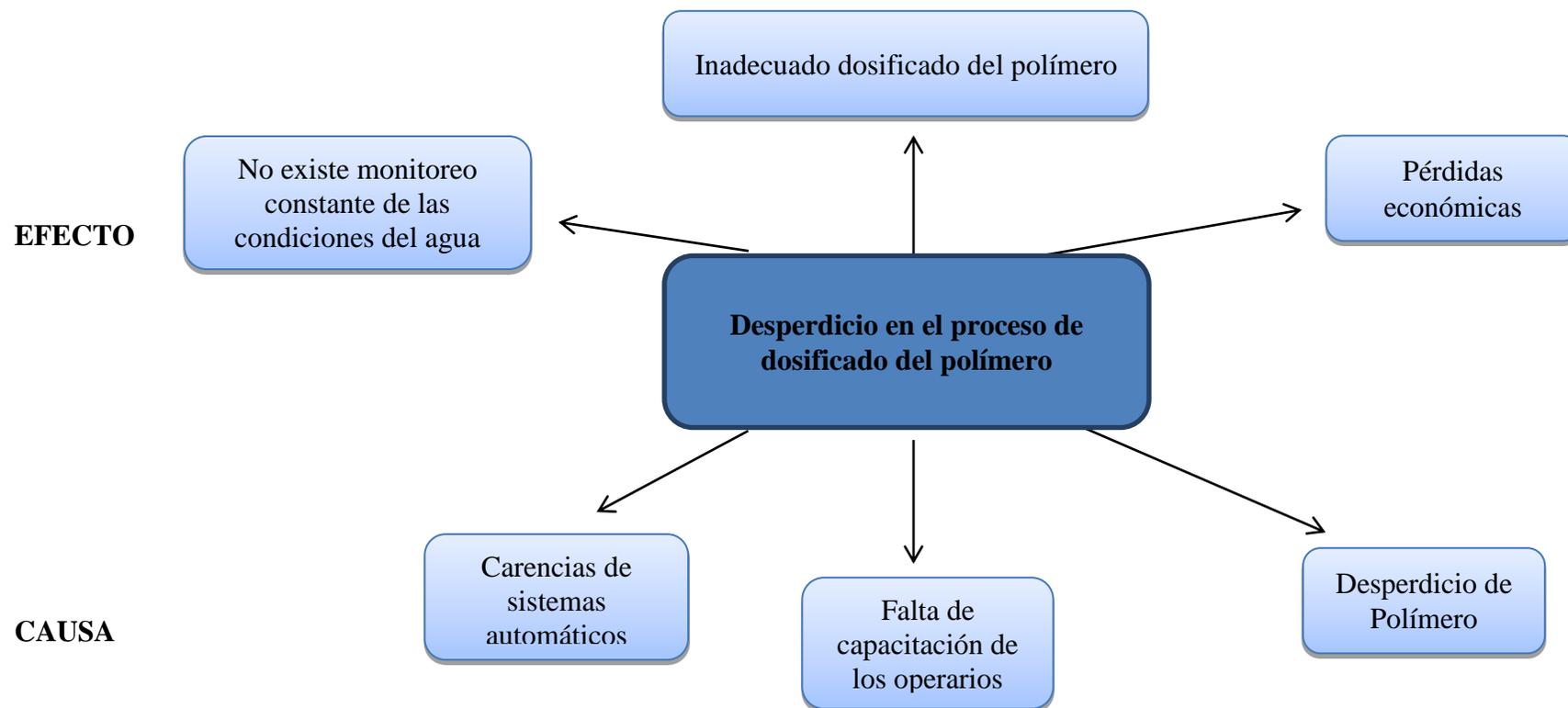
pruebas tienen como principales variables el caudal y la turbiedad, las cuales se mantiene constantemente monitoreada.

El sistema de dosificado carece de un control continuo que cambie continuamente mientras varíe las condiciones de entrada, esto sumado a que en determinadas épocas del año el agua llega con un determinado color lo que provoca descoordinación en la dosificación, esto da como resultado un desperdicio en el químico y pérdidas económicas para la empresa.

En la planta de tratamiento del Casigana, todo el proceso de tratamiento de agua potable lo controlan 8 operarios divididos en 3 turnos diariamente.

La lógica difusa es una técnica que en los últimos años se ha venido utilizando para diversas aplicaciones una de ellas es automatizar procesos, la cual se basa en reglas que generalmente son provenientes de la experiencia del operario, esta técnica facilita la implementación de un control automático en el dosificado del polímero.

## Árbol del problema



**Ilustración 1:** Relación Causa-Efecto

**Elaborado por:** Israel Araujo

### **1.2.2 Análisis Crítico**

El desperdicio en el proceso de dosificado de polímero produce grandes pérdidas económicas a la empresa debido al alto costo del químico utilizado. Es así que la carencia de sistemas automáticos ocasiona que no exista una regulación continua y que se ajuste a cualquier cambio (más o menos polímero de acuerdo con el agua cruda).

Este proceso es crítico y crucial en cualquier planta de tratamiento de agua potable lo que hace difícil para los operarios ajustarlo manualmente durante todo el tiempo de funcionamiento de los equipos, debido a los constantes cambios en las condiciones del agua.

Este proceso se lo realiza en forma manual y depende en gran medida de la experiencia y el método del operador, la empresa al tener turnos rotativos provoca una diversidad de criterios a la hora de realizar la dosificación del polímero, esto acompañado con los continuos cambios en el agua entrante da como resultado desperdicio de químicos, disminución en la calidad de agua, pérdidas económicas e insatisfacción de los clientes.

### **1.2.3 Prognosis**

Al no sustituir el control manual del sistema de Dosificado del Polímero por un sistema automático, el perjuicio resultante será significativo con el pasar de los días y con los cambios repentinos en las condiciones del agua provocaría una reducción en la calidad del mismo, ocasionando pérdidas económicas debido a constantes desperdicios de polímero.

### **1.2.4 Formulación del Problema**

¿Cómo influye la aplicación de la lógica difusa en la optimización del proceso de dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del Casigana de Ambato (EMAPA)?

### **1.2.5 Preguntas Directrices**

¿Qué sistema utiliza la Planta de Tratamiento del Casigana para el Dosificado del Polímero?

¿Es eficiente el sistema de Dosificado del Polímero?

¿Es factible aplicar un control automático para el Dosificado de Polímero?

### **1.2.6 Delimitación del Problema**

#### **Delimitación del Contenido**

- Campo: Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización
- Área: Electrónica
- Línea de Investigación: Automatización
- Sublínea: Sistemas de control automatizado e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

#### **Delimitación Espacial**

- La presente investigación se realizará en la Planta de Tratamiento del Casigana de Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato.

#### **Delimitación Temporal**

- La presente investigación se realizará en el período de seis meses a partir de la aprobación del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

### **1.3 Justificación**

Actualmente el sistema de dosificado del polímero depende de dos factores que son la turbidez del agua y el caudal del mismo, dichos factores están expuestos a continuos cambios, esto sumado a la diversidad de criterios al momento de la dosificación por parte de los operarios ocasiona que el sistema tenga sus falencias. El control manual crea la necesidad de tener personal encargado de actividades que se vuelven monótonas con el tiempo, como la toma de datos constante de la

turbidez, la visualización del color del agua, entre otras, cada cierto intervalo de tiempo y con ello controlar el perfecto funcionamiento del sistema.

Con la elaboración de un control automático mediante lógica difusa, podrá contribuir al mejor desempeño en el dosificado de polímero, gracias a la sencillez en la implementación del sistema, ya que al describir el comportamiento del controlador mediante reglas no es necesario realizar una modelización exacta, sino que basta con entender conceptualmente su comportamiento, contar con un modelo muy simplificado o con un operador experimentado que pueda describir cómo realiza la tarea de control manualmente.

Su importancia radica en el monitoreo constante de las condiciones del agua y sus cambios inmediatos en la cantidad de polímero necesario para la óptima calidad del agua, lo cual facilita la supervisión de los operarios.

Mediante la aplicación de un sistema de control automático en la dosificación de agua potable se logrará que la empresa adquiera mejores estándares de calidad, menor desperdicio de polímero.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar la influencia del sistema manual de Dosificado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana de Ambato (EMAPA).

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- Evaluar la situación actual del sistema de Dosificado del Polímero en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana.
- Analizar las variables que intervienen en el proceso de Dosificado del Polímero.
- Plantear una propuesta para un controlador automático en el Proceso de Dosificado del Polímero para la Planta de Tratamiento del Casigana.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Investigativos**

Luego de una breve investigación se puede concluir que dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, existen varias tesis de automatización, pero ninguna referente con lógica difusa, algunos temas similares son:

- **Tema:** “Diseño e Implementación de un sistema automatizado de adquisición de datos a través de Labview para el control de peso de macro y micro ingredientes para la fábrica Bioalimentar.”

**Autor:** David Santiago Córdova Salazar

**Fecha:** Octubre/2008

- **Tema:** “Sistema Automatizado para el Control, Monitoreo y Almacenamiento de Datos del Módulo Fotovoltaico de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial”.

**Autor:** Mónica Alexandra Tisalema Guamanquispe

**Fecha:** Junio/2011

#### **2.2 Fundamentación Legal**

##### **NORMAS INEN**

Normas para estudio y diseño de sistemas de Agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

##### **Cuarta parte**

##### **Calidad del Agua**

**5.2.1 Calidad física.-** El valor máximo de color se fija en 300 unidades de color, una cifra menor señala una calidad aceptable para el tratamiento, si se sobrepasa dicha cifra puede ser necesario un tratamiento especial para que el agua satisfaga las normas de agua potable.

No se fija límite para la turbiedad pues este problema y su tratamiento se decidirán especialmente en cada caso.

**5.3.8** Las normas de calidad organoléptica del agua potable.

## **Sexta parte**

### **Potabilización del agua.**

**4.1.13** Las pruebas de jarras para determinar parámetros óptimos de una alternativa de tratamiento seleccionada, deben enfocar principalmente lo siguiente:

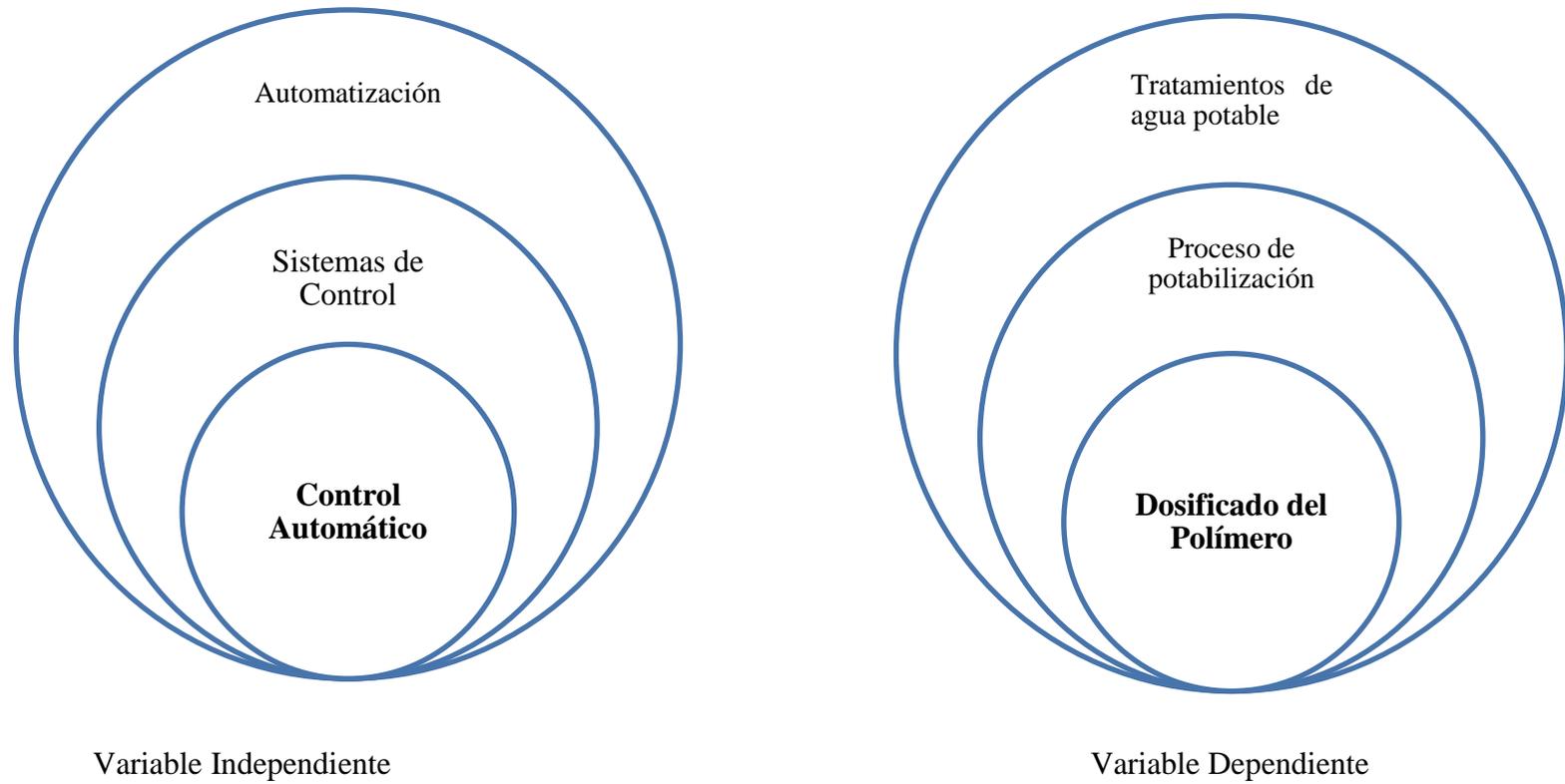
b) Dosis óptima de coagulante: es aquella dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permite la formación de un flóculo pesado y compacto, que pueda ser retenido en los sedimentadores y si pasa a los filtros no se rompa. En general, los resultados de esta prueba permitirán definir una dosis de coagulante para cada turbiedad del agua cruda.

c) Concentración óptima de coagulante: puesto que la concentración de la solución del coagulante influye en la mezcla rápida y cambia los resultados de la coagulación, es importante encontrar el punto óptimo.

**5.16.1** Una regla general de buena práctica para asegurarse de la remoción de fibras de asbesto, cualquiera sea el proceso de tratamiento a implementarse o existente, es que la turbiedad del efluente debe ser igual o menor a 0,1 UNT.

## 2.3 Categorías Fundamentales

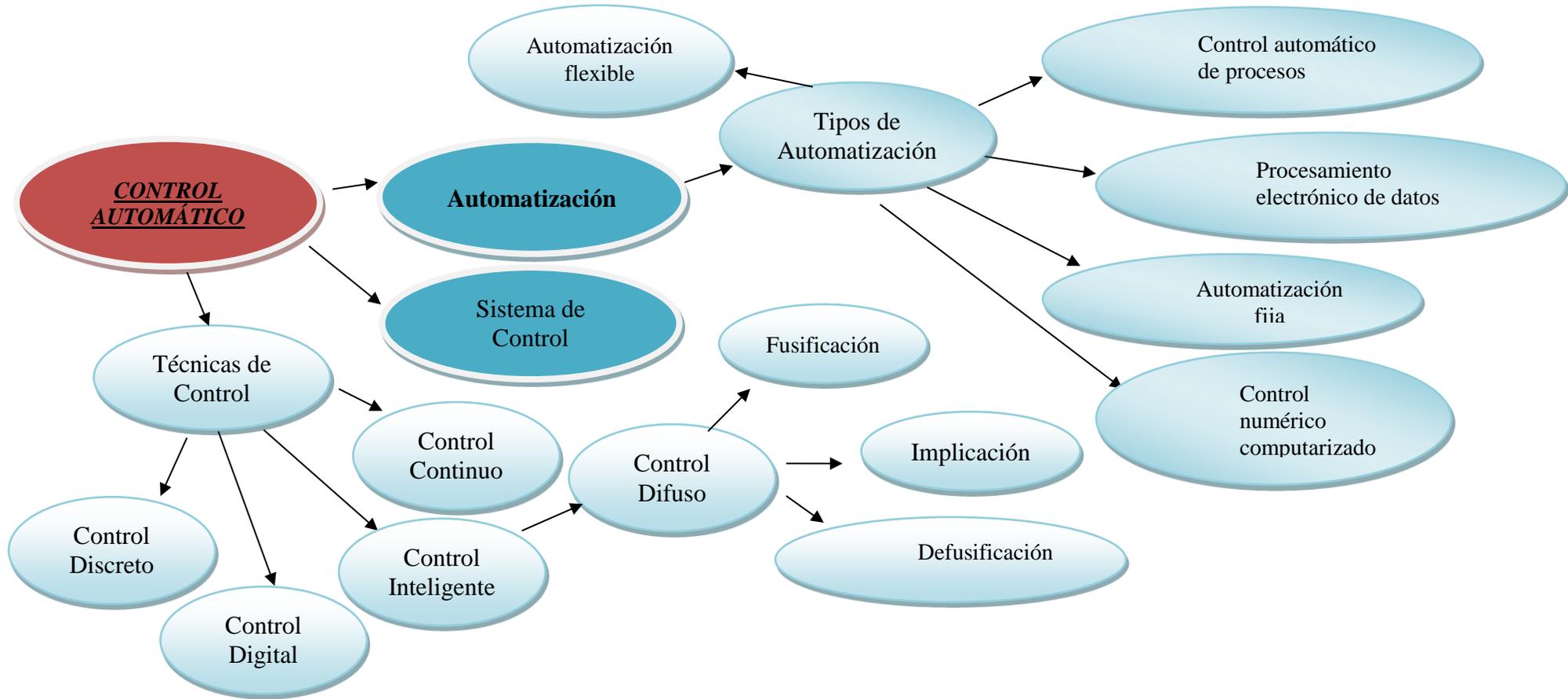
### 2.3.1 Red de inclusiones conceptuales



**Ilustración 2:** Categorías fundamentales  
**Elaborado por:** Israel Araujo

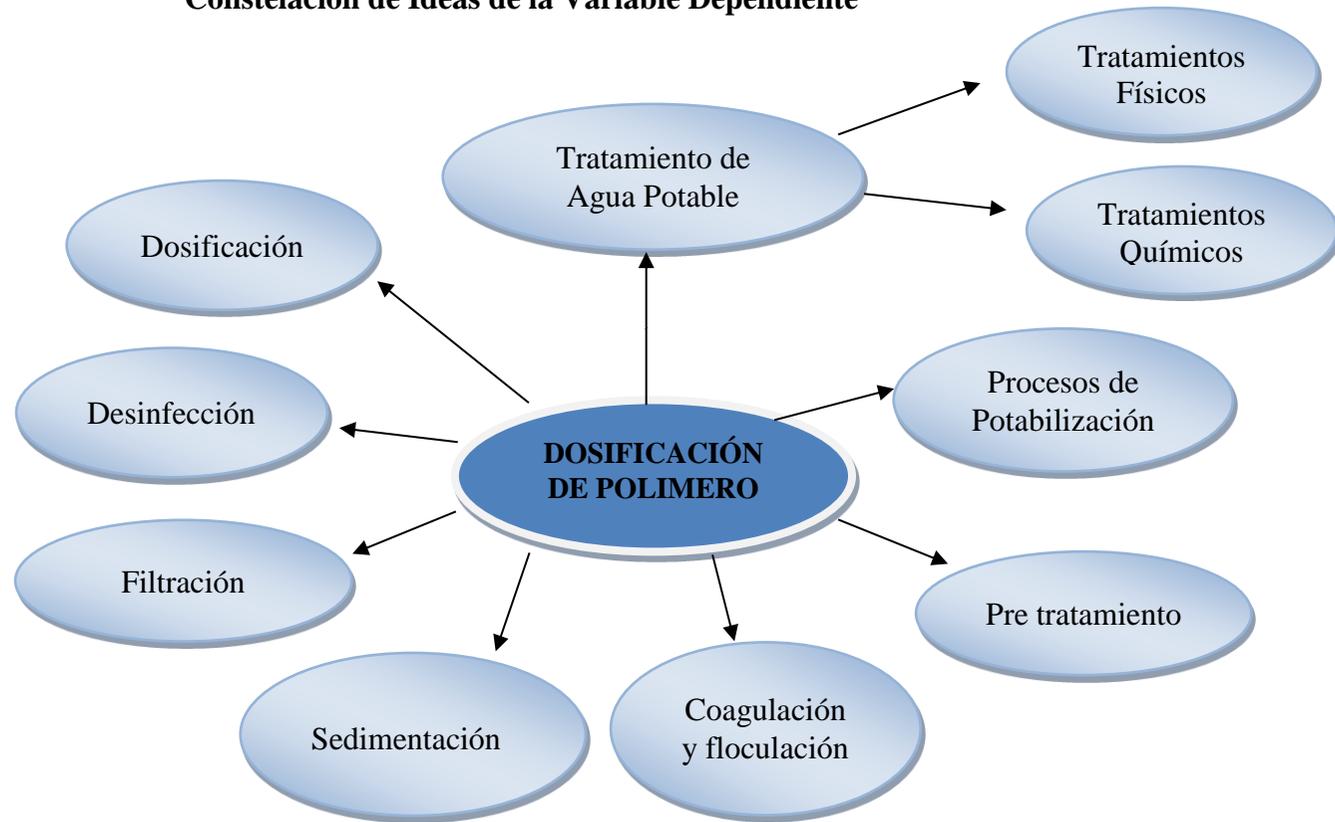
### 2.3.2 Constelación de Ideas

#### Constelación de Ideas de la Variable Independiente



**Ilustración 3:** Constelación de ideas de Variable Independiente  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Constelación de Ideas de la Variable Dependiente



**Ilustración 4:** Constelación de ideas de Variable Dependiente

**Elaborado por:** Israel Araujo

### 2.3.3 Automatización

“La automatización ha pasado de ser una simple herramienta de trabajo a una herramienta indispensable para competir en el mercado. En la actualidad en el ámbito empresarial, es el instrumento para aumentar la calidad de los productos, reducir tiempos de producción, realizar tareas complejas y sobre todo aumentar la rentabilidad.” (<http://es.scribd.com/doc/55928471/AUTOMATIZACION>)

La automatización es una técnica que permite a las industrias mejorar su productividad mejorando así la calidad del producto y disminuyendo los tiempos de fabricación del producto.

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas normalmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de mando
- Parte operativa

**La Parte de Mando** suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

**La Parte Operativa** es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada.

Los elementos que forman la parte operativa son los actuadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, etc., y los sensores como fotodiodos, finales de carrera, entre otros.

#### 2.3.3.1 Tipos de automatización

- Control automático de procesos
- El procesamiento electrónico de datos
- La automatización fija
- El control numérico computarizado.
- La automatización flexible.

#### **2.3.3.1.1 Control Automático de Procesos**

Se refiere al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

#### **2.3.3.1.2 Proceso Electrónico de Datos**

Es un proceso que se relaciona con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de inter fases y computadores.

#### **2.3.3.1.3 Automatización fija**

“La Automatización Fija, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los Controladores Lógicos Programables.”

*(<http://html.rincondelvago.com/automatizacion.html>)*

#### **2.3.3.1.4 Máquinas de Control Numérico Computarizado**

Poseen un mayor nivel de flexibilidad. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a máquinas de herramientas de control numérico (MHCN). Entre las MHCN podemos mencionar:

- Fresadoras CNC.
- Tornos CNC
- Rectificadoras CNC.
- Máquinas de Electro erosionado.
- Máquinas de Corte por Hilo.

El control numérico se refiere al control numérico de maquinaria. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de un computador y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado.

### 2.3.3.1.5 Automatización Flexible

“La Automatización Flexible consiste en procesos automáticos, reprogramables con mucha agilidad y con cambio muy rápido de herramientas, lo que permiten procesar en las mismas máquinas diversos productos en tandas de bajo volumen, logrando combinar así los efectos de la economía de escala, la economía de alcance y la flexibilidad de producción.” (<http://es.scribd.com/doc/51581807/Administracion-de-la-produccion-como-ventaja-competitiva>)

### 2.3.3.2 Ventajas y Desventajas

Existe un sin número de ventajas de la automatización, la cual la hacen realmente efectiva la implementación de estas técnicas en el ámbito laboral, pero así como existen ventajas también conlleva dificultades, a continuación se presenta ventajas y desventajas más importantes de la automatización:

**Tabla 1:** Ventajas y Desventajas de la Automatización

**Fuente:** [http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/954/7/Capitulo\\_2.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/954/7/Capitulo_2.pdf)

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Incremento productividad de Mano de Obra.</b>	Incremento de costos Fijos.
<b>Incremento de Calidad.</b>	Incremento de mantenimiento
<b>Reducción del ciclo de Fabricación.</b>	Reducción flexibilidad de Recursos
<b>Incremento de Capacidad</b>	-----
<b>Incremento de Ventas.</b>	-----
<b>Reducción de Inventarios.</b>	-----

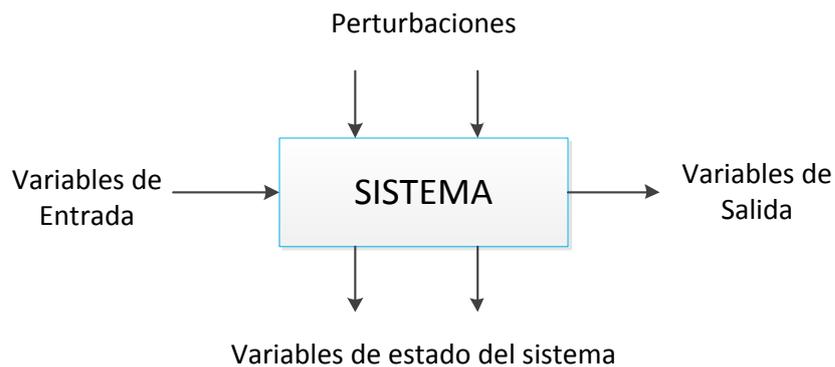
### 2.3.3.2 Influencia

Conociendo ya las ventajas y desventajas de la implantación de este sistema, ahora lo que nos toca ver es la influencia del mismo en las diferentes variables del

proceso productivo. Advertir que tanto es la repercusión de la automatización en las mismas nos puede salvar de considerables aprietos tales como gastos innecesarios y pérdidas de tiempo. He aquí algunos ejemplos de dicha influencia:

- Productividad de la Empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos.
- Seguridad Industrial, realiza las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Mantenimiento, lo simplifica de tal forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integra la Gestión y Producción.
- Eficiencia, ya que una máquina no toma descansos.
- Calidad, menos piezas defectuosas y desperdicio.

#### 2.3.4 Sistemas de Control



**Ilustración 5:** Variables del sistema de control

**Fuente:** Vives. A (2010, internet)

Un sistema es un conjunto de variables que interactúan y generan señales observables. Además un sistema se ve afectado por estímulos externos los cuales

se llaman entradas. En cualquier tipo de sistema de control se puede encontrar los siguientes elementos:

- **La planta** es el proceso o sistema sobre el que se pretende actuar para establecer el control.
- **El controlador** gestiona el valor de la salida de control a partir de la entrada de referencia.
- **La entrada de referencia** (o entrada de mando) es la señal externa aplicada a un controlador como un parámetro de ajuste.
- **La señal de control** es la variable, manipulada por el sistema de control, aplicada a la planta.
- **La salida controlada** es la variable de salida de la planta que está siendo controlada.

#### **2.3.4.1 Ventajas derivadas del uso de un sistema de control**

- Las técnicas de control automático tienen un campo prácticamente ilimitado de aplicación.
- Es útil contar con sistemas capaces de mantener todos los parámetros “controlados” sin la intervención humana.

En ocasiones se consigue optimizar la evolución del proceso

Situaciones de elevada complejidad

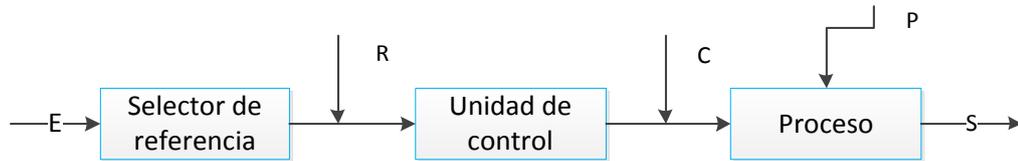
- Situaciones en las que se debe operar en tiempo de respuesta corto
- Pueden eliminar fallos (distracciones, cansancio, tensión...)

#### **2.3.4.2 Tipos de sistemas de control**

Los sistemas de control se clasifican habitualmente según su estructura.

- Sistemas de control de lazo abierto.
- Sistemas de control de lazo cerrado.

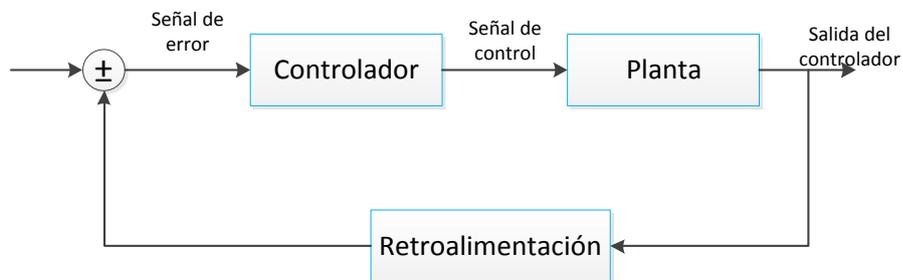
### 2.3.4.2.1 Sistemas de control de lazo abierto



**Ilustración 6:** Diagrama de bloques del control de lazo abierto  
**Fuente:** José M (2010, internet)

Los sistemas de control más sencillos que existen son los denominados controladores de lazo abierto. En ellos, la acción del controlador es independiente de la salida controlada de la planta. Así, los sistemas de control de lazo abierto están compuestos únicamente por el controlador, la planta, la entrada de referencia al controlador, la señal de control de la planta y la salida controlada.

### 2.3.4.2.2 Sistemas de control de lazo cerrado



**Ilustración 7:** Diagrama de Bloques de un controlador lazo cerrado  
**Fuente:** José M (2010, internet)

“En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas o/y integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre

implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.” ([http://novella.mhhe.com/sites/dl/free/8448156188/592196/8448156188\\_CapMuestra.pdf](http://novella.mhhe.com/sites/dl/free/8448156188/592196/8448156188_CapMuestra.pdf))

### **2.3.5 Clasificación de las técnicas de control**

- Control On-Off
- Control Proporcional
- Control Integral
- Control Derivativo
- Control Proporcional - Integral
- Control Proporcional – Integral - Derivativo
- Control Inteligente

#### **2.3.5.1 Sistema On – Off**

Bolton (2010) “Es en esencia un interruptor activado por la señal de error y proporciona solo una señal correctora tipo encendido y apagado” (p. 311).

#### **Características:**

- Es el tipo de control más rápido que existe.
- Este modo de control depende del signo del error.
- Posee una variación cíclica continua de la variable controlada.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo y velocidad de reacción lenta.
- Tienen un simple mecanismo de construcción, es por lo que este tipo de control es de amplio uso y mayormente utilizado en sistemas de control de temperatura.

### **2.3.5.2 Control Proporcional**

Bolton (2010) “Produce una acción de control que es proporcional al error. La señal de corrección aumentará en la medida en que lo haga el error. Si el error disminuye, también disminuye la magnitud de la corrección y el proceso de corrección es más lento” (p. 311).

#### **Características:**

- El parámetro de equilibrio depende del proceso a controlar.
- Provoca un error en el sistema.
- Es muy bueno para procesos con set point y carga constante.
- Acelera la respuesta del proceso controlado.
- Fácil de sintonizar ya que solo se controla un parámetro.
- Puede reducir pero no eliminar el error en estado estacionario.
- Es el control más estable de todos

### **2.3.5.3 Control Integral**

Bolton (2010) expresa que:

El Control Integral produce una acción de control que es proporcional a la integral del error en el tiempo. Entonces una señal de error constante producirá una señal de corrección creciente. La señal de corrección seguirá aumentando mientras el error persista. Se puede considerar que el control integral “mira hacia atrás”, suma todos los errores y responde a los cambios que ocurren (p. 312).

#### **Características:**

- Busca que el error en estado estable sea cero.
- Provoca que el proceso controlado se vuelva inestable.
- Produce respuestas arrastradas y largas oscilaciones.
- Eleva las desviaciones máximas.

- Elimina todo offset.

#### **2.3.5.4 Control Derivativo**

Bolton (2010) expresa que:

El Control Derivativo produce una acción de control que es proporcional a la rapidez con la que cambia el error. Cuando hay un cambio súbito en la señal de error, el controlador produce una señal de corrección de gran magnitud; cuando el cambio es gradual, sólo se produce una pequeña señal de corrección (p. 312).

#### **Características:**

- Controla las perturbaciones y el ruido.
- Hace lento al sistema.
- Mientras más rápido varia la variable controlada más rápido le frena.
- El control depende de la constante derivativa.

#### **2.3.5.5 Control Proporcional – Integral**

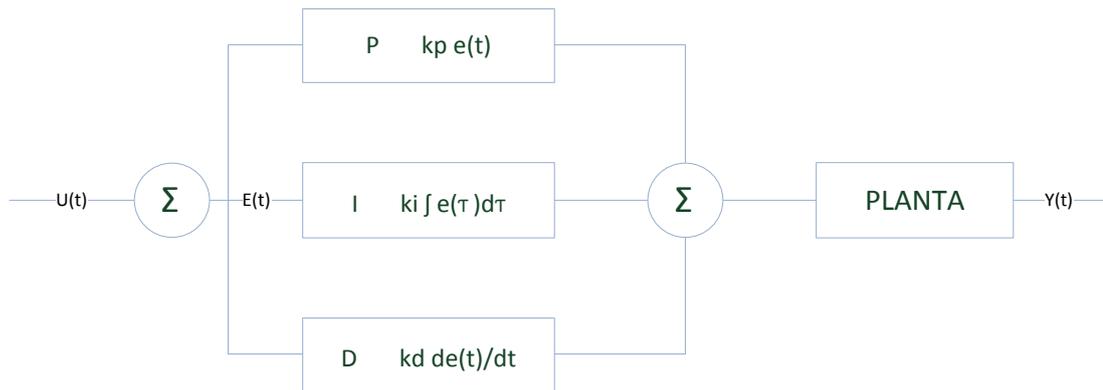
Bolton (2010) encontró que algunas veces es necesario combinar acciones de control.

Un control proporcional neutraliza una carga en el sistema sin ningún error. Un control integral puede proporcionar un error cero, pero suele suministrar una respuesta lenta. Para resolver este problema se utiliza el control PI, en donde el error de offset se reduce a cero y aumenta su rapidez.

Las características de este tipo de control son la combinación de las del control proporcional y del control integral.

#### **2.3.5.6 Control Proporcional – Integral – Derivativo**

Es la acción de control combinada que reúne las ventajas de cada uno de los tres controles individuales. Este tipo de control es de difícil sintonización debido a que se deben controlar tres parámetros al mismo tiempo.



**Ilustración 8:** Diagrama de bloque de un controlador PID

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional\\_integral\\_derivativo](http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo)

### 2.3.5.7 Control Inteligente

Es el desarrollo de métodos de control para emular características importantes de inteligencia humana:

- Adaptación
- Aprendizaje
- Tratamiento de grandes cantidades de datos
- Tratamiento de incertidumbre

### 2.3.6 Lógica Difusa

La lógica difusa es una extensión de la lógica tradicional (Booleana) que utiliza conceptos de pertenencia de sets más parecidos a la manera de pensar humana.

“La lógica difusa se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de una información de entrada ambigua, imprecisa o incompleta, en general la lógica difusa modela como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas, en esto se diferencia

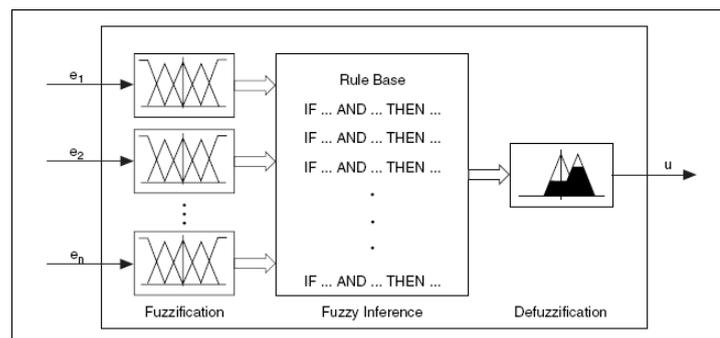
de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa.”([http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria\\_desarrollo/10/aplicacion\\_del\\_control\\_difusion.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/10/aplicacion_del_control_difusion.pdf))

### 2.3.6.1 Funciones de Pertenencia

Las funciones de pertenencia nos permiten representar un conjunto difuso. En el eje x que representa el universo en discurso, mientras que en el eje y se sitúa los grados de pertenencia en el intervalo [0,1].

Para definir un conjunto difuso, se puede utilizar cualquier función, sin embargo, hay ciertas funciones que son más frecuentemente usadas debido a su simplicidad matemática, entre ellas podemos mencionar las funciones tipo triangular, trapezoidal, parabólicas y gaussiana.

### 2.3.6.2 Diseño de controladores difusos



**Ilustración 9:** Estructura Interna de un Controlador Difuso.  
**Fuente:** Pedro Cruz (2010, internet)

### Características del Control Difuso

Entre sus principales características están:

- **El control difuso es lógico.** El denominador de lógico significa que el algoritmo de control utiliza expresiones *IF-THEN*, con las que se pueden mencionar muchas condiciones, combinando expresiones lógicas con *IF* y *AND*.
- **El control difuso es disperso.** Esta característica, que diferencia básicamente los sistemas de control difuso de los sistemas de control

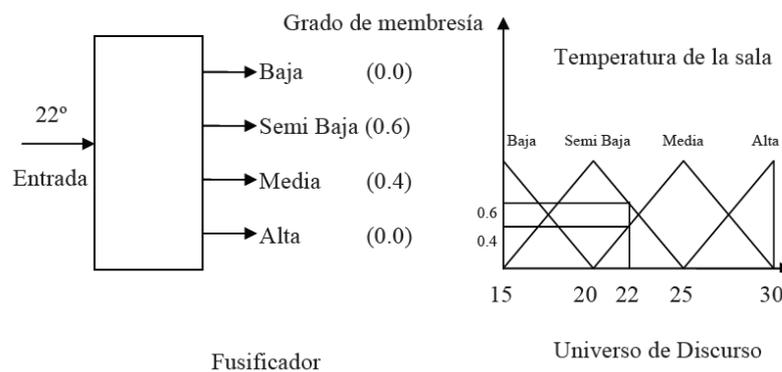
basados en una sola ecuación, admite la coexistencia de controladores con lógicas distintas y su actuación en paralelo.

- **El control difuso es lingüístico.** Permite el uso de variables lingüísticas imprecisas, en particular en los antecedentes de las reglas. Dicho lenguaje cualitativo es fácil de entender, permite efectuar el control por medio de un diálogo con los operadores, usando sus ojos experimentados en la observación del proceso como entradas externas, e introducir variables como las condiciones del proceso a modo de información útil para el control.
- Asimismo el algoritmo de control puede contener los procedimientos inusuales que hay siempre en las operaciones de un proceso real.

El proceso de diseño de controladores difusos está dividido en tres etapas fundamentales:

- Fusificación
- Base de conocimientos
- Implicación o inferencia
- Defusificación

### 2.3.6.2.1 Fusificación



**Ilustración 10:** Proceso de Fusificación  
**Fuente:** Rene Jimenez Madriagal (2007, Internet)

En esta etapa del proceso se realiza la traducción de la variable medida al lenguaje del controlador. Así, el valor encontrado será expresado en términos del conjunto difuso y su grado de pertenencia al mismo.

Para realizar el diseño de esta etapa se deben tener en cuenta varios factores, tales como:

- El universo de discurso o rango de trabajo sobre el cual operan los conjuntos difusos debe contener todos los valores posibles de la variable medida del sistema.
- Los conjuntos difusos pueden aceptar muchas formas, sin embargo, para escoger la más conveniente se debe tomar aquella que permita representar con mayor precisión el comportamiento del sistema y que al mismo tiempo pueda ser descrita a través de los dispositivos de hardware utilizados de la forma menos compleja.
- La posición y forma de los conjuntos debe estar en relación directa con el conocimiento adquirido del proceso, de tal manera que la información expresada por cada conjunto represente, con la mayor fidelidad posible, el comportamiento del sistema.

#### **2.3.6.2.2 Base de Conocimiento**

La base de conocimientos contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. En esta etapa se debe definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidirá la forma en que debe actuar el sistema.

##### **2.3.6.2.2.1 Base de Reglas**

La base de reglas puede ser de tipo MISO (Múltiple Input Single Output), Múltiples entradas y una salida, por sus siglas en inglés, o de tipo MIMO (Múltiple Input Múltiple Output).

### **2.3.6.2.3 Implicación**

La implicación define la etapa donde se evalúan las reglas de inferencia difusa con el fin de dar una respuesta adecuada del sistema ante los valores presentes.

Para la elaboración de las reglas se toman en cuenta cada una de las situaciones posibles, lo que lleva a inferir una respuesta para cada caso. El resultado de la inferencia difusa es una variable lingüística en la cual la forma de sus conjuntos difusos, además de haber sido definida previamente, es el resultado de relacionar la salida de cada regla con el conjunto asociado a su respuesta.

### **2.3.6.2.4 Defusificación**

La respuesta de la evaluación de las reglas difusas se encuentra contenida en el conjunto de salida, y está dada por los valores de pertenencia asignados a cada conjunto que determinan una nueva forma para cada uno de ellos. En este punto se tiene la respuesta del controlador en términos de cada conjunto de salida. Sin embargo, es necesario obtener un único valor de salida y que se encuentre en términos numéricos. Para obtener la respuesta deseada se debe llevar a cabo un proceso inverso a la fusificación, conocido como defusificación. Para realizar esta tarea existen varios métodos, pero ninguno se considera más apropiado que otro, por lo cual el usuario puede elegir su método de acuerdo a los requerimientos que exige el sistema.

Las técnicas de defusificación más usadas son:

- Centroide o Centro de las Áreas (COA o Center of Areas)
- Centro de las Sumas (COS o Center of Sums)
- Media de los Máximos (MOM o Mean of Maxima)
- Promedio de los Centros (CA o Center Average)

### 2.3.6.3 Ventajas y desventajas del control difuso

Una de las ventajas más importantes es la falta de ecuaciones complicadas tales como ecuaciones algebraicas, ecuaciones diferenciales necesarias cuando se tiene la función de transferencia que describa el proceso a ser automatizado.

El manejo de variables lingüísticas permite plantear el problema en las mismas expresiones en las que lo haría un experto humano facilitando el diseño y uso de sistemas difusos.

Algunas de las ventajas del control con lógica difusa son:

- Fácil ejecución de reglas expresadas verbalmente (si..., entonces...) sobre un computador para resolver un problema.
- El comportamiento de un sistema difuso es entendible para los seres humanos.
- En comparación con otros métodos, evita el costoso desarrollo de una descripción matemática.
- El control difuso cubre un amplio rango de parámetros del sistema y puede afrontar la mayoría de las perturbaciones.

Algunas de sus desventajas son:

- La definición de tareas sin suficiente conocimiento del sistema y poco o muy impreciso conocimiento del comportamiento del sistema resultan en malas, posiblemente inutilizables soluciones difusas.
- Usualmente no posee capacidad de adaptabilidad y aprendizaje si el comportamiento del sistema cambia.
- El diseño de un sistema de control difuso requiere experiencia debido a los muchos grados de libertad.
- Aún no están bien formalizadas las características necesarias para que el control difuso sea robusto y estable.

### **2.3.7 Tratamiento de agua potable**

La potabilización es el proceso consistente en la eliminación de los sólidos suspendidos, aglomeración, sedimentación de los coloides y desinfección de organismos patógenos mediante la coagulación, el ablandamiento, la eliminación de hierro y manganeso, la eliminación de olor y sabor, la sedimentación, la filtración, el control de corrosión, la evaporación y la desinfección, todo ello realizado en las estaciones de tratamiento de agua potable. La potabilización tiene por objetivo hacer el agua apta para su consumo.

La potabilización del agua se realiza para transformar el agua de ríos, lagos y pozos en un producto básico para la vida humana.

El agua potable es un producto costoso que requiere un largo proceso industrial. Se necesitan muchas personas, dinero, energía, moderna tecnología y grandes instalaciones para producirla y llevarla a cada hogar.

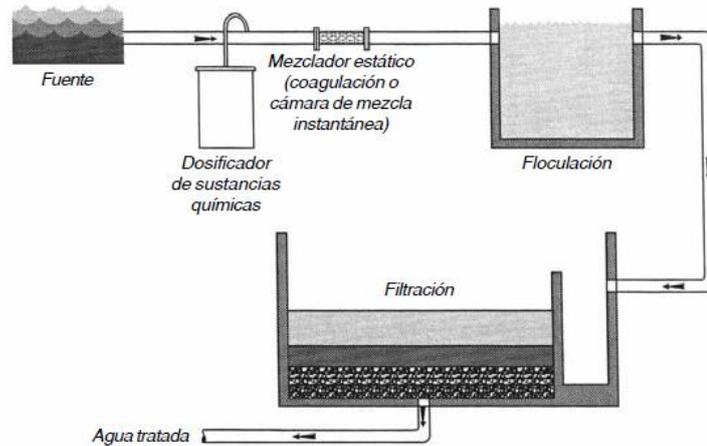
#### **2.3.7.1 Tratamientos Físicos**

Son los menos utilizados, dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor pero además de ser costoso, deja mal sabor ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua. Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil.

#### **2.3.7.2 Tratamientos Químicos**

Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono. Dentro de los que tenemos que el cloro en su forma gaseosa, su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión del agua.

### 2.3.8 Procesos de Potabilización



**Ilustración 11:** Proceso de potabilización  
**Fuente:** Anonimos (Internet, 2010)

El proceso de potabilización engloba etapas y tratamientos, y no es igual en todas las regiones del planeta, ya que el agua que circula por una región puede necesitar de un proceso menos complejo que el de otra región según los contaminantes que el agua contenga. A continuación se describe las etapas más relevantes.

#### 2.3.8.1 Pretratamiento

Se extrae los sólidos y residuos sólidos como las piedras y a continuación el agua cruza por rejas donde quedan retenidos grandes materiales sólidos. Esto con la finalidad de evitar los sólidos atasquen las bombas que son encargadas de trasladar el líquido a las etapas del tratamiento.

#### 2.3.8.2 Coagulación y floculación

“El proceso de coagulación, utilizado en la mayoría de las plantas de tratamiento, consiste en la aplicación de productos químicos para la desestabilización de suspensiones coloidales de partículas sólidas, que de otra manera, no podrían ser removidas por sedimentación, flotación o filtración, pasando o no por un proceso de floculación.

La coagulación y la floculación son parte de los procesos que integran una planta de filtración rápida. La coagulación se realiza inicialmente, mediante la mezcla rápida del coagulante con el agua y seguidamente, la floculación mediante agitación lenta del material coagulado para la formación de los flóculos.”  
(<http://www.capama.gob.mx/planta-potabilizadora.php>)

### **2.3.8.3 Sedimentación**

Proceso después de la coagulación y floculación para reducir la velocidad a fin de remover los sólidos sedimentables antes de la filtración.

### **2.3.8.4 Filtración**

Es el proceso en el cual el agua atraviesa un medio filtrante poroso que puede ser arena, antracita u otro material granulado para remover impurezas en partículas flóculos.

### **2.3.8.5 Desinfección**

Es un proceso de destrucción de organismos patógenos con cloro, ciertos compuestos que liberan cloro u otras sustancias o métodos con capacidad desinfectante.

### **2.3.9 Polímero**

“Los polímeros son compuestos químicos cuyas moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros, las cuales se enlazan entre sí como si fueran los eslabones de una cadena. Estas cadenas, que en ocasiones presentan también ramificaciones o entrecruzamientos, pueden llegar a alcanzar un gran tamaño, razón por la cual son también conocidas con el nombre de macromoléculas. Habitualmente los polímeros reciben, de forma incorrecta, el nombre de plásticos, que en realidad corresponde tan sólo a un tipo específico de polímeros, concretamente los que presentan propiedades plásticas (blandos, deformables y maleables con el calor).”(<http://www.elaguapotable.com/POLIMEROS%20AYUDANTES%20DE%20FLOCULACION%20Y%20ACRILAMIDA%20EN%20EL%20AGUA%20POTABLE.pdf>)

El químico que se utiliza en la dosificación es el policloruro de aluminio (abreviado generalmente como PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas. La materia prima para su fabricación es el hidróxido de aluminio y el ácido clorhídrico. Ambos productos son colocados en el reactor y mantenidos a determinadas temperaturas y presiones mientras son agitados producen el policloruro de Aluminio al cabo de cierto tiempo. Las características tecnológicas de cada fabricante pueden variar. Generalmente el producto resultante, es sometido a un filtro de bandas y luego almacenado para su uso.

Es usado como coagulante en el proceso de potabilización de las aguas para consumo humano, en el tratamiento de aguas residuales, en la industria del papel, en la industria del cuero entre otros. Es un producto corrosivo, por eso se almacena en tanques de cemento y las bombas que se utilizan son resistentes a este químico.

Está alistado como coagulantes provenientes de sales de aluminio junto con el tradicional sulfato de aluminio anteriormente utilizado en la Planta de Tratamiento. Sin embargo, tiene algunas ventajas frente a este:

- Mayor potencia de coagulación.
- Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- Menor gasto de coagulante (especialmente a altas turbiedades).
- No aporta aluminio disuelto al agua.
- Menor turbiedad final en el proceso.
- Efectividad en un amplio rango de pH.
- Igual rendimiento con distintas temperaturas.
- Remoción de color.

### **2.3.10 Dosificado del Polímero**

Estos sistemas son comunes en las plantas de tratamiento y pueden usarse para dosificar coagulantes, oxidantes, inhibidores de la corrosión, sustancias químicas para el ajuste del pH, control de sabor y olor, desinfectantes, fluoruro, etc.

El objetivo principal de este procesos es la remoción de impurezas presentes en el agua, tornándola apropiada al consumo humano, garantizando condiciones de salud e higiene.

El proceso incluye coagulación, floculación y sedimentación seguida de filtración. Generalmente, estas plantas usan compuestos de aluminio o hierro en los procesos de coagulación; sin embargo, también se pueden usar polímeros para mejorar los procesos de coagulación y filtración. En la mayoría de casos, se usan filtros de gravedad de arena, con algún otro medio filtrante o mezcla de ellos. Las tasas de filtración pueden oscilar entre  $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  ( $2 \text{ gpm}/\text{pie}^2$ ) para filtros de arena solamente y  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  ( $4 \text{ gpm}/\text{pie}^2$ ) para filtros con dos tipos de medios o mixtos.

Los polímeros son eficientes como acondicionadores químicos y son ampliamente utilizados en la deshidratación con centrífugas. Los polímeros tienen dos funciones en el acondicionamiento del lodo para deshidratación. La primera es desestabilizar las cargas de las partículas sólidas, para favorecer la aglomeración. La segunda función es aglomerar esas partículas en flocus, por medio de mecanismos de adsorción y formación de puentes entre las partículas y el polímero.

Para obtener la mejor eficiencia es muy importante tener una excelente mezcla en el punto de mezcla rápida donde se dosifica el coagulante. El primer segundo después de la dosificación es el tiempo más importante para el proceso de coagulación. En este respecto diferente coagulantes tienen diferentes velocidades de reacción, y pueden tener un buen comportamiento aún con una mezcla menor. Especialmente los productos PAC son conocidos por su alta velocidad de reacción y una coagulación más rápida.

Tradicionalmente la dosificación ha sido un proceso relativamente manual. Hoy en día existen equipos modernos de dosificación, con automatización tanto para productos sólidos como para productos líquidos. También se debe de conocer y medir las cantidades exactas y la calidad del influente, y estos datos se pueden computarizar y enviar como instrucciones directamente para el equipo de dosificación. Pero no importa que tan moderno sea el equipo de dosificación, aún

el operador siempre tiene que conocer el proceso y estar listo a actuar según las necesidades de la planta cuando la calidad del agua cambia.

## **2.4 Hipótesis**

La aplicación de un control automático optimiza el dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del Casigana.

## **2.5 Señalización de las Variables**

### **2.5.1 Variable Independiente**

Control Automático.

### **2.5.2 Variable Dependiente**

Dosificado del Polímero.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Enfoque de la Investigación**

Esta investigación tendrá un enfoque cualitativo y cuantitativo, por cuanto se analizará y se tomara decisiones basándose principalmente en los hechos bibliográficos existentes. Además, se apoyara en los datos de cada una de las personas involucradas en el problema, esto nos permitirá puntualizar correctamente al problema.

#### **3.2 Modalidad de la Investigación**

En la presente investigación se utilizará las siguientes modalidades de investigación: Bibliográfica y de Campo.

##### **3.2.1 Investigación Aplicada**

El presente trabajo de investigación va encaminado a proponer una solución para el proceso de dosificado del polímero para la Planta de Tratamiento de agua potable del CASIGANA, empleando un control automático en base a los principios de la lógica difusa.

##### **3.2.2 Investigación Bibliográfica**

Este tipo de investigación se aplica gracias a que nos permitirá enriquecer nuestros conocimientos sobre el tema objeto de estudio y sustentará toda la

información mediante la lectura de libros, tesis de grado, folletos, Internet y otros documentos.

### **3.2.3 Investigación de Campo**

Esta investigación nos ayudará a obtener datos precisos y claros acerca del problema en estudio mediante la aplicación de una encuesta que se realizará a los operarios de la Planta de Tratamiento del CASIGANA, la cual nos permitirá recolectar información veraz y oportuna.

## **3.3 Tipos de Investigación**

Para la ejecución de la presente investigación se utilizará:

### **3.3.1 Investigación Deductiva**

Se parte del estudio actual del sistema de dosificado del polímero en la Planta de Tratamiento de agua potable del CASIGANA, teniendo en cuenta las variables que constantemente se encuentran utilizando, para determinar los requerimientos que conllevan a la optimización del proceso de dosificado del polímero.

### **3.3.2 Investigación Descriptiva**

La presente investigación se realizara con el propósito desarrollar y describir como incide el control automático mediante lógica difusa para la reducción de polímero en el proceso de dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del CASIGANA, para así medir uno o más atributos del fenómeno descrito.

## **3.4 Población y Muestra**

El trabajo investigativo se realizara en la Planta de Tratamiento del CASIGANA, en el proceso de dosificado del polímero, motivo por el cual se considera una población total de 9 personas de las cuales encargado de la planta de tratamiento 1 y 8 operarios.

### 3.5 Operacionalización de las Variables

**Tabla 2:** Variable Independiente Control Automático

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	INSTRUMENTO
Es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre si, de manera que regulen o dirijan un proceso por sí mismo.	Conjunto de Componentes	Equipos	¿Los equipos que se utilizan en la Planta de Tratamiento del Casigana para el Proceso de Dosificado del Polímero van acorde a la tecnología actual?	Encuesta Cuestionario
	Conectados entre si	Confiabilidad Interacción	¿Son confiables los sensores encargados del monitoreo de las variables del agua?	Encuesta Cuestionario
			¿Cómo se relacionan los distintos sensores para realizar un óptimo dosificado?	Observación Ficha de Observación
	Proceso	Métodos Control	¿Cuál es el método para el dosificado del polímero?	Observación Ficha de Observación
			¿Se cuenta con un control automático continuo para el proceso de dosificado?	Encuesta Cuestionario

**Elaborado por:** Israel Araujo

**Tabla 3:** Variable Dependiente Dosificado del Polímero.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	INSTRUMENTO
<p>Es encontrar la cantidad necesaria de polímero (policloruro de aluminio) de acuerdo a la turbiedad y caudal con la que está ingresando el agua, con el fin de remover las impurezas presentes en el agua.</p>	Cantidad	Volumen	<p>¿Cree usted que es óptimo el sistema actual de dosificado de polímero?</p> <p>¿Cómo se controla el volumen del polímero en el proceso?</p>	<p>Encuesta Cuestionario</p> <p>Observación Ficha de Observación</p>
	Turbiedad y caudal	Instrumentos	<p>¿Se implementa con frecuencia mantenimiento en los instrumentos necesarios en la dosificación?</p>	<p>Encuesta Cuestionario</p>
	Agua	Calidad Variables	<p>¿La calidad del agua resultante del proceso cumple con las normas de calidad exigida?</p>	<p>Encuesta Cuestionario</p>
			<p>¿Qué variables intervienen directa e indirecta en la dosificación del polímero?</p>	<p>Observación Ficha de Observación</p>

### 3.6 Plan de Recolección de la Información

**Tabla 4:** Plan de recolección de la información  
**Elaborado por:** Israel Araujo

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>1. ¿Dónde?</b>	En la Planta de Tratamiento del Casigana (EMAPA)
<b>2. ¿Sobre qué?</b>	Optimización del proceso de Dosificado del Polímero
<b>3. ¿Por qué?</b>	Porque es necesario implementar nuevas técnicas que ayuden a automatizar el sistema.
<b>4. ¿Para qué?</b>	Para reducir costos y mejorar el proceso de dosificado.
<b>5. ¿Quién?</b>	Un investigador junto con un personal de apoyo.
<b>6. ¿A quiénes?</b>	La Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana
<b>7. ¿Cuándo?</b>	En el periodo comprendido entre Noviembre de 2012 a Julio de 2013
<b>8. ¿Cuántas Veces?</b>	Una vez
<b>9. ¿Cómo?</b>	Mediante el diseño de un sistema para optimizar el proceso de dosificado del polímero.
<b>10. ¿Con que?</b>	Con la utilización de materiales y componentes obtenidos por autofinanciamiento.

### 3.7 Plan de Procesamiento de la Información

Los datos recogidos se transformarán de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
- Manejo de información (reajuste de cuadros con casillas vacías o con datos tan reducidos cuantitativamente, que no influyen significativamente en los análisis).
- Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis e Interpretación de los Resultados de la Encuesta

Para llegar a conocer las características del control actual que se utilizan en el procesos de dosificado de polímero; se determinó la necesidad de realizar una encuesta a todo el personal que labora en la planta de tratamiento del Casigana, quienes comprenden operarios y representante de la planta.

De la encuesta anteriormente mencionada se obtuvieron los siguientes resultados:

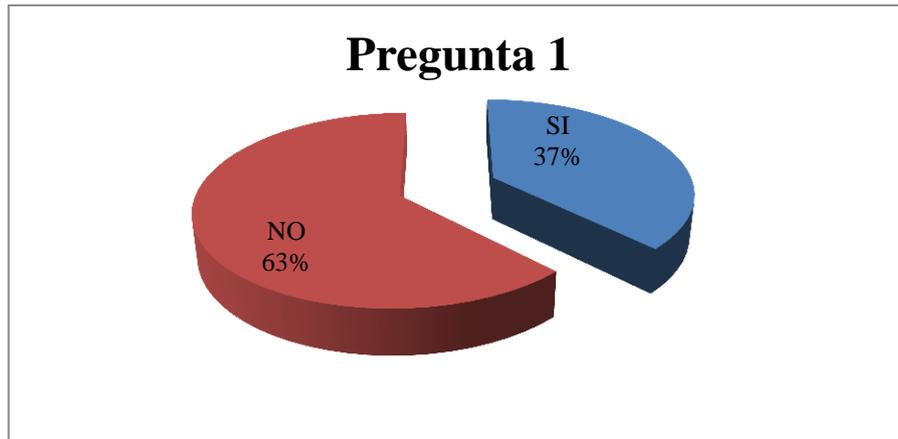
1. ¿Los equipos que se utilizan en la Planta de Tratamiento del Casigana para el Proceso de Dosificado del Polímero van acorde a la tecnología actual?

SI:

NO:

**Tabla 5:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 1.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	3	37%
NO	5	63%
TOTAL	8	100%



**Ilustración 12:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 1.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** Del total de la población encuestada, el 37% menciona los equipos para el proceso de dosificado son los acordes, mientras que el 63% restante considera que no todos los equipos cumplen con los niveles tecnológicos del mundo actual.

**Interpretación:** Con los resultados obtenidos nos podemos dar cuenta que los equipos y elementos que se utilizan para el dosificado de polímero no cumplen con los avances tecnológicos del momento.

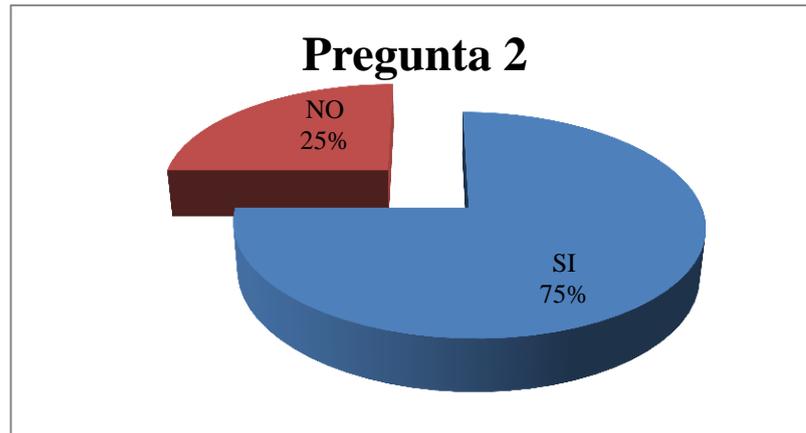
2. ¿Son confiables los sensores encargados del monitoreo de las variables del agua?

SI:

NO:

**Tabla 6:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 2.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	6	75%
NO	2	25%
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>



**Ilustración 13:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 2.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** Del total de la población encuestada, el 25% menciona los sensores no son confiables, mientras que el 75% restante considera que los sensores son óptimos en la medición de las variables del agua.

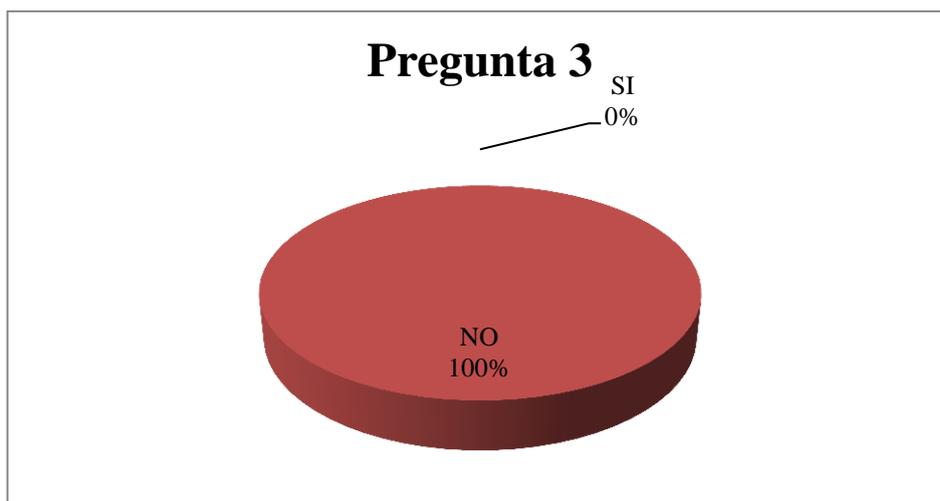
**Interpretación:** Con los datos obtenidos se deduce que los sensores que se encuentran instalados en la Planta de Tratamiento cumplen con la confiabilidad y la fiabilidad, para que los operadores puedan realizar sus respectivas actividades sin ningún contratiempo, sin olvidarse de realizar un mantenimiento periódico a dichos elementos.

3. ¿Se cuenta con un control automático continuo para el proceso de dosificado?

SI:                      NO:

**Tabla 7:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 3.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	0	0%
NO	8	100%
<b>TOTAL</b>	8	100%



**Ilustración 14:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 3.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** El 100% de la población encuestada, manifiesta que no se dispone de un control automático que permanezca continuo durante las 24 horas del día.

**Interpretación:** Se puede observar que todos los operadores de la Planta de Tratamiento están conscientes que no se dispone de un sistema continuo, lo que dificulta la realización de sus actividades y le resta valor al proceso de dosificado.

4. ¿Cree usted que es necesario implementar un sistema para optimizar el proceso de Dosificado del Polímero?

SI:

NO:

**Tabla 8:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 4.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	8	100%
NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	8	100%



**Ilustración 15:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 4.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** El 100% de la población encuestada considera que es necesario implementar un sistema automático para la optimización del proceso de dosificado.

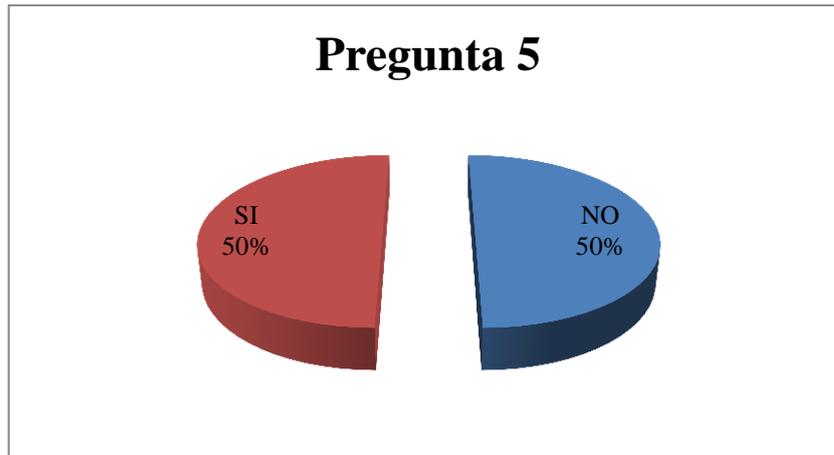
**Interpretación:** Esto nos revela que los operadores consideran que mediante un sistema automático ayudará a mejorar las actividades dentro de la Planta de Tratamiento y optimizar el proceso de dosificado, y así mejorar el desempeño y desenvolvimiento de ellos dentro de la planta.

5. ¿Cree usted que es óptimo el sistema de Dosificado del Polímero?

SI:                      NO:

**Tabla 9:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 5.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	4	50%
NO	4	50%
<b>TOTAL</b>	8	100%



**Ilustración 16:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 5.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** Del total de población encuestada, un 50% menciona que es óptimo el sistema que cuenta para el dosificado, mientras que el 50% restante considera que no es óptimo, debido a un desperdicio de químico.

**Interpretación:** Los datos muestran que la mitad del personal encargado de la Planta considera óptimo al proceso por los estándares de calidad con los que sale el producto final, mientras que la otra mitad considera que no es óptimo, porque se realiza de forma manual y con poco control durante el tiempo de ejecución.

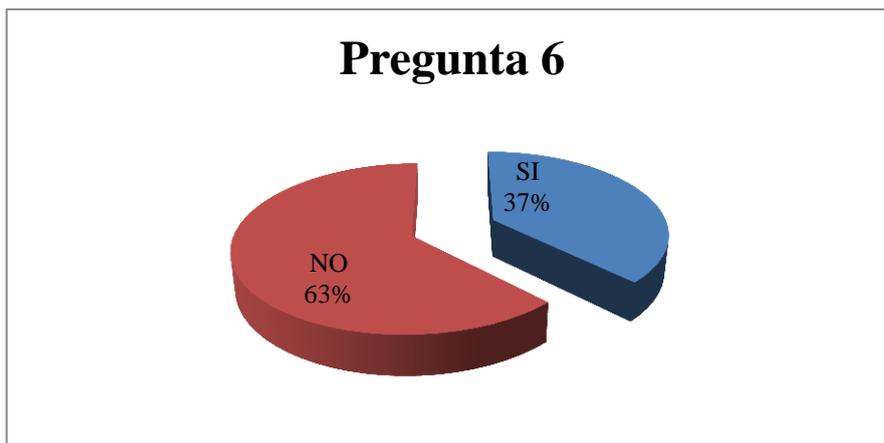
6. ¿Se implementa con frecuencia mantenimiento en los instrumentos necesarios en la dosificación?

SI:

NO:

**Tabla 10:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 6.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	3	37%
NO	5	63%
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>



**Ilustración 17:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 6.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** Del total de población encuestada, un 37% manifiesta que si se realiza un mantenimiento del instrumento de medición, y el 63% restante considera que no se realiza un mantenimiento constante de los equipos e instrumentos.

**Interpretación:** Esto nos indica que no se realiza un mantenimiento correcto y oportuno, por lo cual en reiteradas ocasiones los sensores marcan valores no óptimos, ocasionando una descoordinación y tienen que ocupar otros criterios para al momento de la dosificación.

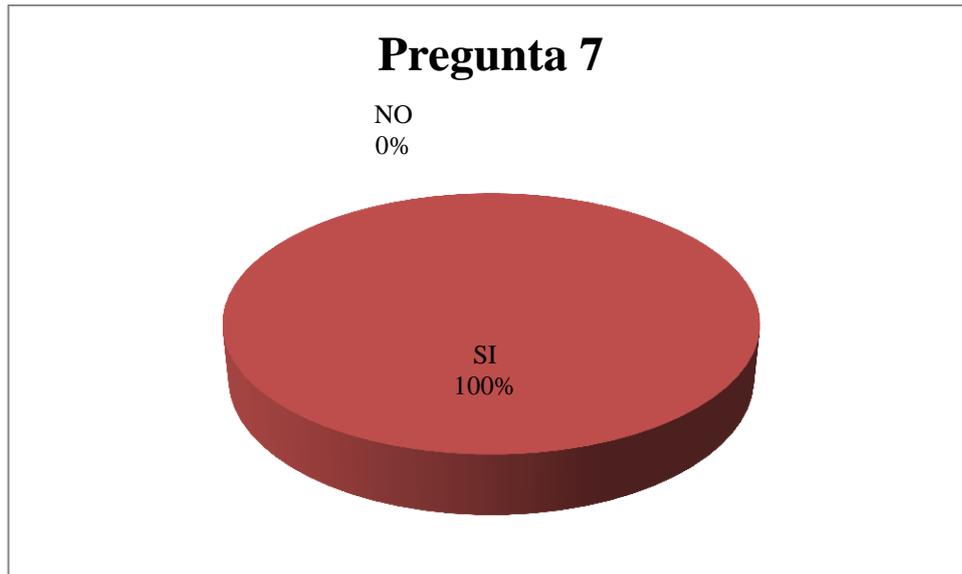
7. ¿La calidad del agua resultante del proceso cumple con las normas de calidad exigida?

SI:

NO:

**Tabla 11:** Cuadro estadístico porcentual de la pregunta 7.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	8	100%
NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	8	100%



**Ilustración 18:** Gráfica estadística porcentual de la pregunta 7.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Análisis:** El 100% de la población encuestada menciona que el agua que procesan dentro de la planta si cumple con los estándares de calidad exigidos por las normativas.

**Interpretación:** Los resultados demuestran que a pesar de no contar con un sistema automático para el dosificado los niveles de calidad de agua son acordes a los exigidos.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Al finalizar con la interpretación y análisis de resultados, se ha llegado a determinar las siguientes conclusiones:

- La Planta de Tratamiento de agua Potable del Casigana no cuenta con un sistema automático para el dosificado de polímero lo que ocasiona ciertas falencias al momento de determinar el tiempo idóneo de dosificado, dando como resultado un déficit o exceso en la cantidad del polímero.
- El procedimiento para verificar el tiempo de dosificado es deficiente, no se dispone de equipos, instrumentos y procedimientos que den la confiabilidad necesaria para cerciorarse de éste parámetro.
- La empresa cuenta con equipos aceptables, lo cual es idóneo para el desarrollo actual del proyecto, teniendo un nivel de partida muy bueno para el control automático del proceso de dosificado.
- El personal inmerso en la Planta de Tratamiento del Casigana están de acuerdo y muy conscientes de la necesidad de mejorar el control que se realiza en dicha planta, y mediante un controlador automático en el proceso de dosificado mejorará el desenvolvimiento del proceso y las actividades que se realizan dentro de la Planta.

## 5.2 Recomendaciones

- Al ser el policloruro de aluminio un químico de alto costo en el mercado, es necesario un control continuo, de esta manera se ayudaría a la empresa a la reducción de gastos y mejorar sus estándares de calidad.
- El inadecuado procedimiento para la dosificación influye en la potabilización del agua, por lo que es necesario actualizar los procedimientos tomando en cuenta nuevas tecnología que vendrán a facilitar el desenvolvimiento de los operadores dentro de la planta.
- El control manual en el proceso y la falta de monitoreo, conlleva perjuicio en las demás etapas de la potabilización, siendo necesario un monitoreo y control constante durante las 24 horas del día para un mejor desempeño.
- Es importante que la Planta de tratamiento del Casigana se mantenga en un desarrollo tecnológico constante, y se aplique nuevas técnicas de control de la planta.

## CAPITULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1 Datos Informativos

- **Título:**

“Diseño de un controlador automático difuso para el proceso de dosificado del polímero en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana de Ambato (EMAPA).”

- **Institución Ejecutora:**

Universidad Técnica de Ambato  
Facultad de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización.

- **Beneficiarios:**

Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana.

- **Ubicación:**

Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Vía al Casigana.

- **Tiempo Estimado Para la Ejecución:**

6 meses.

- **Equipo Técnico Responsable:**

Autor: Isacc Israel Araujo Guerrero

Tutor: Ing. Edwin Morales

- **Costo:**

\$ 1.360,7

## **6.2 Antecedentes de la Propuesta**

Luego de la investigación realizada se constató que en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana en muchas ocasiones no cumplen con procedimientos adecuados, ni la cantidad óptima para el dosificado del polímero, muchas veces por falta de un control constante de las variables que intervienen directamente en dicho proceso, el no contar con un sistema adecuado que determine de forma correcta los niveles idóneos de dosificado; lo cual conlleva a una pérdida económica al tener un desperdicio del químico.

En la actualidad la empresa se encuentra controlando el proceso de forma manual, los trabajadores deben estar pendientes a cada instante de las condiciones de entrada del agua cruda, limitándose a realizar sus demás actividades dentro de la planta. Con la observación y análisis realizado se notó que se puede mejorar sustancialmente el sistema que se utiliza para controlar las variables, y de esta manera optimizar el dosificado, reduciendo el esfuerzo de los operadores y permitiendo poder realizar las demás actividades que se encuentran a su haber.

Se tiene que mencionar que tanto los operadores como personal administrativo así como el gerencial están conscientes que se necesita un proceso de mejora continua y de innovación tecnológica, dado que la utilización de nuevas tecnologías permitirá disminuir las actividades que no agregan valor al sistema, y así lograr que la empresa pueda desarrollarse sin ninguna limitación llegando a satisfacer de mejor manera las necesidades y requerimientos de los clientes.

### **6.3 Justificación**

El creciente avance tecnológico que en la actualidad tienen las empresas hace que un control automático en el proceso de dosificado del polímero sea una necesidad primordial para el desarrollo de la Planta de Tratamiento del Casigana y de esta manera ir creciendo paulatinamente en el tratamiento de aguas dentro de la provincia y del país, mejorando así sus estándares de calidad exigidos en la actualidad.

Con un control automático se podrá contribuir en la disminución sustancialmente de las actividades que realizan los operarios dentro de la planta, que en su mayoría lo realizan de forma manual, logrando distribuir de mejor manera las actividades y mejorando el desempeño de cada uno de ellos y por ende de los procesos.

Uno de los principales beneficios del control automático es la disminución de químicos específicamente policloruro de aluminio utilizado en la dosificación, debido a un monitoreo constante de las variables de entrada y un ajuste automático del dosificado. El controlador se ajusta de acuerdo a las variaciones de las variables de entrada.

Al contar con un monitoreo de las variables necesarias para la dosificación, da la oportunidad de tener un control constante sobre el proceso, permitiendo observar el funcionamiento correcto del mismo, a su vez da la capacidad de reaccionar ante de un imprevisto, fallo o alteración en los parámetros para el dosificado.

Los representantes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana están de acuerdo con el control automático, debido a que beneficiará a los estándares de calidad, minimizará gastos en químicos, mejorará el desempeño del personal distribuyéndoles de mejor manera. Logrando un desarrollo y satisfacción tanto empresarial como humana.

## **6.4 Objetivos**

### **6.4.1 General**

- Diseñar un controlador automático difuso para el proceso de dosificado del polímero en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Casigana de Ambato (EMAPA).

### **6.4.2 Específicos**

- Determinar los sensores, actuadores y elementos de control necesarios para el control.
- Realizar el diagrama P&ID (Diagrama de Cañería e Instrumentación) para identificar el recorrido del fluido, interacción entre sensores, controladores y actuadores dentro del proceso.
- Establecer los parámetros fundamentales que se desea controlar dentro del proceso de dosificado.
- Desarrollar el diseño del sistema de control automático más conveniente para el proceso.
- Desarrollar una interfaz gráfica (HMI) que permita interactuar al operador entre el proceso y el controlador.
- Desarrollo de un módulo de pruebas para simular el controlador que fue diseñado para el proceso.

## **6.5 Análisis de Factibilidad**

Mediante un control automático para el sistema de dosificación la planta disminuirá la utilización del policloruro de aluminio logrando así un ahorro económico, mejorando la distribución de las actividades del personal dentro de la empresa, y se logrará tener un control continuo sobre el dosificado, lo cual hace que el proyecto sea factible.

### **6.5.1 Factibilidad Tecnológica**

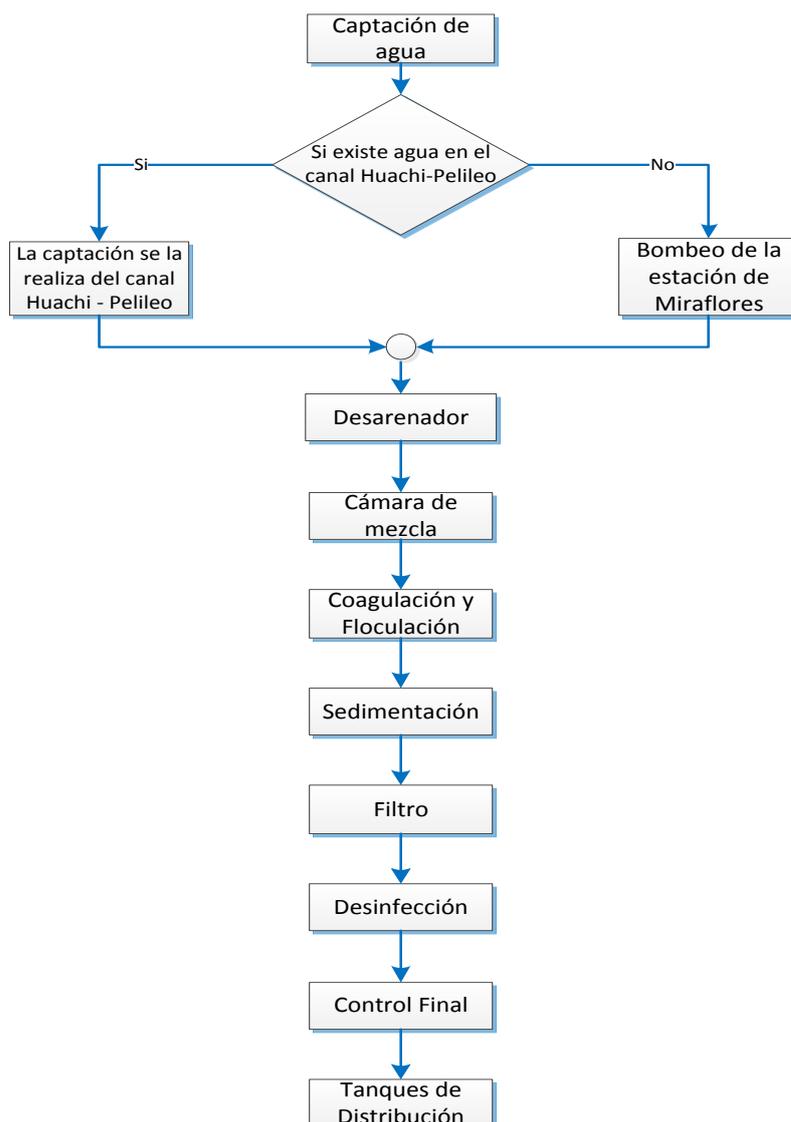
Tecnológicamente el proyecto es factible debido a que la planta de tratamiento cuenta con equipos para la medición de turbiedad y caudal, lo que es de gran beneficio para el desarrollo actual del proyecto, teniendo de ésta manera un punto de partida para el desarrollo de un control automático del proceso de dosificado.

### **6.5.2 Factibilidad Económica – Financiera**

Este proyecto es factible económicamente, ya que de llegar a implementar los beneficios que éste brindará al proceso de dosificado e indirectamente a los demás procesos de la planta, será una inversión que podrá recuperar a corto plazo al disminuir la cantidad de dosificado que se aplica en el control automático.

## **6.6 Fundamentación**

### **6.6.1 Proceso de Potabilización en la Planta de Tratamiento del Casigana.**



**Ilustración 19:** Proceso de Potabilización de Agua  
**Elaborado por:** Israel Araujo

El proceso de potabilización de agua potable esta detallado en la Ilustración 19; este proceso lo realizan ocho operadores divididos en tres turnos diarios, los mismos que laboran los 365 días del año.

El primer proceso dentro de la potabilización es la captación de agua, en la Ilustración 20 se observa la recepción del agua cruda, ésta se la toma de dos diferentes zonas, la primera es del canal de Huachi – Pelileo la cual se la realiza a

través de tuberías y gracias a la gravedad, no existe ningún mecanismo que bombee el agua hasta la planta.



**Ilustración 20:** Llegada de agua cruda a la planta  
**Fuente:** Planta del Casigana

Al no existir suficiente agua en el canal, la captación se la realiza mediante bombeo de la Estación de Miraflores, este subproceso se lo realiza en forma manual, teniendo el operario que accionar la válvula que se muestra en la Ilustración 21, para que ingrese el agua bombeada desde la estación.



**Ilustración 21:** Accionamiento mecánico para el bombeo desde la Estación de Miraflores  
**Fuente:** Planta del Casigana

En el proceso de desarenado separa las partículas relativamente gruesas que el flujo de agua trae en su recorrido para que ingrese a la siguiente fase de la potabilización.

En el proceso de mezcla es donde se agrega al agua productos químicos, como coagulantes (policloruro de aluminio).

Uno de los procesos más relevantes en el proceso de potabilización es el de Coagulación y Floculación. Donde se aplica productos químicos para desestabilizar las partículas sólidas permitiendo de ésta manera adsorción y la precipitación de compuestos en solución.

El proceso de coagulación se caracteriza por la alteración físico-química de partículas coloidales del agua, color y turbiedad, produciendo su aglomeración en partículas sedimentables.

El coagulante que ocupa la planta es el policloruro de aluminio, el mismo que es introducido al proceso mediante un chorro continuo, que se detalla en la Ilustración 22, esto permitirá su dispersión en el agua sea inmediato y uniforme. El chorro es proporcional al aumento de la turbiedad y al caudal que ingresa a la planta de tratamiento, este proceso es realizado en forma manual y en ocasiones solo toman en cuenta la experiencia de los operarios.



**Ilustración 22:** Chorro continuo para la inyección de Policloruro de aluminio  
**Fuente:** Planta del Casigana

La floculación es el proceso de unir partículas previamente coaguladas y desestabilizadas para formar mayores flóculos a fin de lograr su separación por sedimentación, flotación y/o filtración del agua tratada, especialmente para la

remoción de sustancias que producen turbiedad y color en el agua a tratar. La energía aplicada en la floculación, al igual que en la mezcla rápida se la realiza por medio mecánico. Estos Floculadores de potencia (mecánicos). La floculación aumenta con el número de cámaras en serie, en la planta se encuentran dos cámaras en serie.

En la Sedimentación se reduce la turbiedad y elimina sustancias en suspensión, en la Ilustración 23 se muestra los tanques sedimentadores. El proceso de sedimentación se realiza en unidades denominadas sedimentadores. Las unidades donde sedimentan partículas floculentas se denominan indistintamente sedimentadores o decantadores. También se conoce como el nombre de decantadores para el caso de sedimentación de partículas floculentas, indicando al proceso como “decantación”.



**Ilustración 23:** Sedimentadores  
**Fuente:** Planta del Casigana

En el proceso de filtración es el proceso de separar un sólido del líquido en el que está suspendido al hacerlos pasar a través de un medio poroso (filtro) que retiene al sólido y por el cual el líquido puede pasar fácilmente. Es empleado para obtener una mayor clarificación, generalmente se aplica después de la sedimentación para eliminar las sustancias que no salieron del agua durante su decantación.



**Ilustración 24:** Cámara de Filtros  
**Fuente:** Planta del Casigana

Uno de los procesos que brinda mayor seguridad en la potabilización es la colocación de cloro, el que permitirá eliminar el exceso de bacterias, esto es importante en el recorrido hacia cada una de las viviendas. Antes de proceder a la distribución del líquido vital hacia la ciudad es importante realizar un control minucioso de los químicos utilizados, en la Ilustración 25 se observa los tanques de cloro gas.



**Ilustración 25:** Cámara de Filtros  
**Fuente:** Planta del Casigana

El último paso es la colocación de agua potabilizada en tanques de distribución para posteriormente ser distribuida.

## 6.7 Desarrollo de la Propuesta

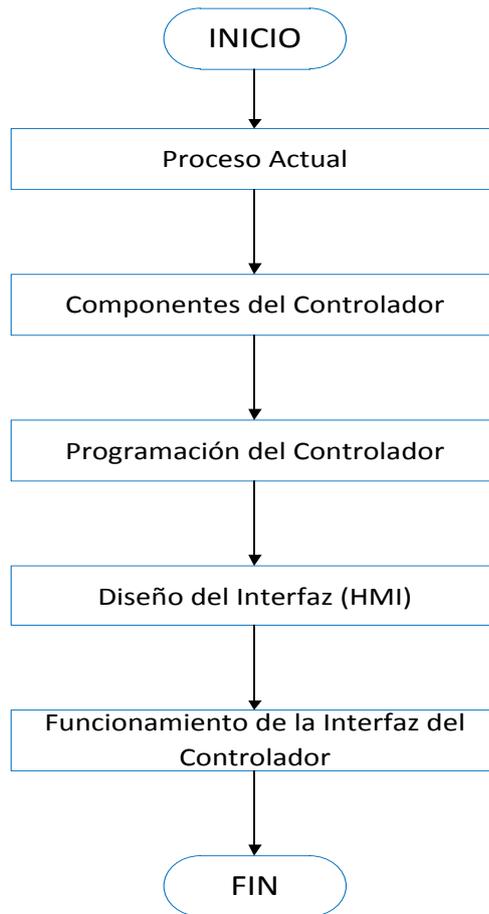
El control automático nació con la necesidad de eliminar las tareas innecesarias, peligrosas, para mejorar las condiciones de trabajo de los seres humanos, controlando de forma óptima y rápida las diferentes operaciones dentro de una industria.

En las industrias el control automático ha ido evolucionando a tal punto que en la actualidad pueden interactuar entre procesos, toman decisiones y son claves para mejorar los procesos, incrementa la productividad, mediante el control y monitoreo constante de todos los procesos dentro de una industria.

La necesidad de la Empresa de Agua Potable EMAPA por mejorar sus procesos y mejorar los niveles de calidad exigidos en la actualidad para la potabilización de agua potable.

Con estos antecedentes se procederá a diseñar un control automático para el proceso de Dosificado en la Planta de Tratamiento del Casigana, esto involucra el desarrollo de actividades secuenciales con el propósito de lograr un control automático óptimo para dicho propósito, en el **Anexo 1: Diagrama de recorriendo del operador en el proceso.**

La secuencia a seguir para desarrollar la propuesta se detalla en la Ilustración 26.



**Ilustración 26:** Etapas del desarrollo  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### 6.7.1 Proceso Actual

#### Proceso de Dosificado de Polímero

El dosificado de polímero es uno de los procesos más importante dentro de la potabilización, en la Ilustración 27 y 29 se describe las actividades que realizan dentro del proceso, el mismo que inicia simultáneamente con el cambio de turno de los operadores, el primer paso es la inspección visual de las características con las cuales ingresa el agua a la planta de tratamiento, mediante esta inspección se basan para las actividades posteriores dentro del proceso.

En el tanque de llegada del agua cruda proceden a verificar la altura de agua en el vertedero, esto se realiza para determinar el caudal de entrada.



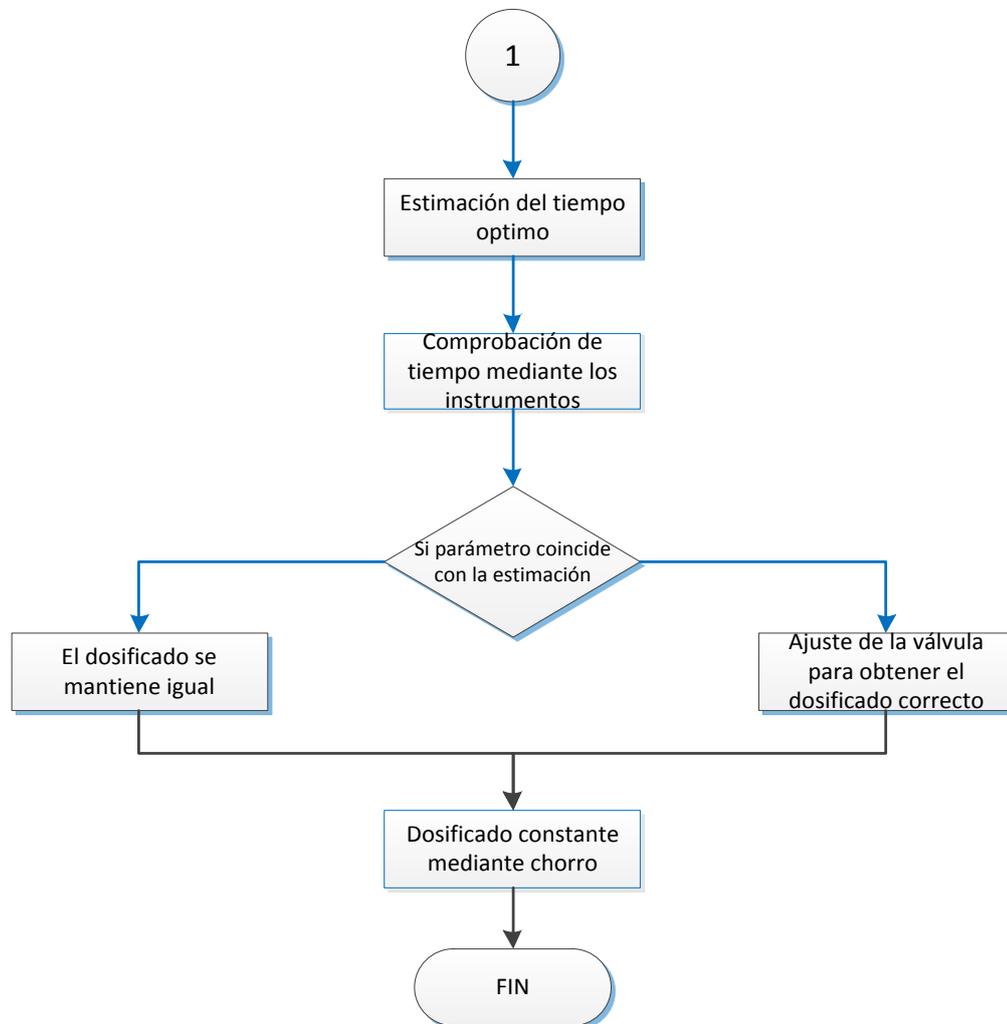
**Ilustración 27:** Proceso actual del dosificado  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Como último paso los operadores se dirigen al cuarto de máquinas donde se encuentra controladores y actuadores de diversos procesos, consta también del sistema de dosificado que se realiza en forma manual, como se muestra en la Ilustración 28.



**Ilustración 28:** Dosificado de polímero  
**Fuente:** Planta del Casigana

El parámetro a controlar dentro del proceso el tiempo, el mismo que lo realizan variando la sección de la válvula para aumentar o disminuir el tiempo de dosificado, esto se lo realiza mediante un cronometro y un recipiente de 500 ml.



**Ilustración 29:** Proceso actual del dosificado  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Los procedimientos que se realizan para el dosificado son efectuados de forma errónea por parte de los operadores, puesto que varias actividades que no agregan valor al proceso, y actividades necesarias que no realizan, basándose únicamente en su experiencia.

Los operadores deberían realizar de forma correcta cada una de las actividades diseñadas, optimizando el proceso de potabilización, las actividades que se lleva a cabo son:

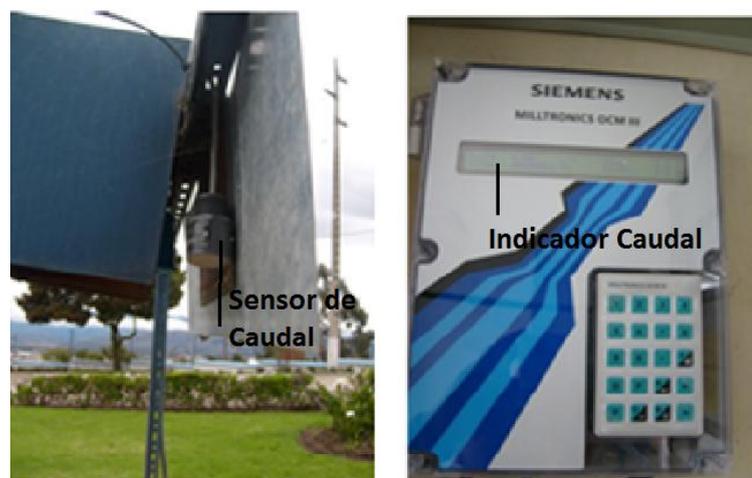
**Inspección Visual:** En esta actividad el operador inspecciona las condiciones iniciales del agua cruda, color, materiales suspendidos, entre otros. Esto ayuda a tomar correctivos en el proceso de potabilización.

**Inspección de Caudal:** La inspección y determinación del caudal con la que llega el agua cruda es muy importante en el proceso de dosificado, el primer paso para determinar el caudal es verificar el nivel del vertedero en la llega de agua cruda, mediante esta altura el operador procede a verificar el caudal que se encuentra tabulado en tablas mediante una fórmula matemática:

$$Q = h^{2,5} \times 0.0138$$

**Ec. (1)**

Posteriormente el operario verifica el caudal obtenido en tablas con el caudal que indica el sensor de caudal que se encuentra instalada a la llegada del agua cruda y se visualiza en el medidor, que se encuentra instalado en el cuarto de máquinas, como se ve en la Ilustración 30.



**Ilustración 30:** Medidor e indicador de Caudal  
**Fuente:** Planta del Casigana

**Medición de Turbiedad:** La medición de turbiedad se realizan mediante un sensor que se encuentra ubicado en el interior de un recipiente cónico y se visualiza en su central como se ve en la Ilustración 31, el operador toma ese valor y el valor de caudal para ser utilizado posteriormente en la dosificación.



**Ilustración 31:** Medidor e indicador de Turbiedad  
**Fuente:** Planta del Casigana

**Determinación del tiempo dosificar:** Los parámetros que intervienen en la dosificación es caudal y turbiedad, con estos valores el operador inspecciona datos tabulados, donde se encuentran inscritos valores de caudal, turbiedad y el respectivo tiempo que se debe aplicar para dichos valores, estos datos fueron realizados mediante pruebas de jarras fisicoquímicos y datos históricos.

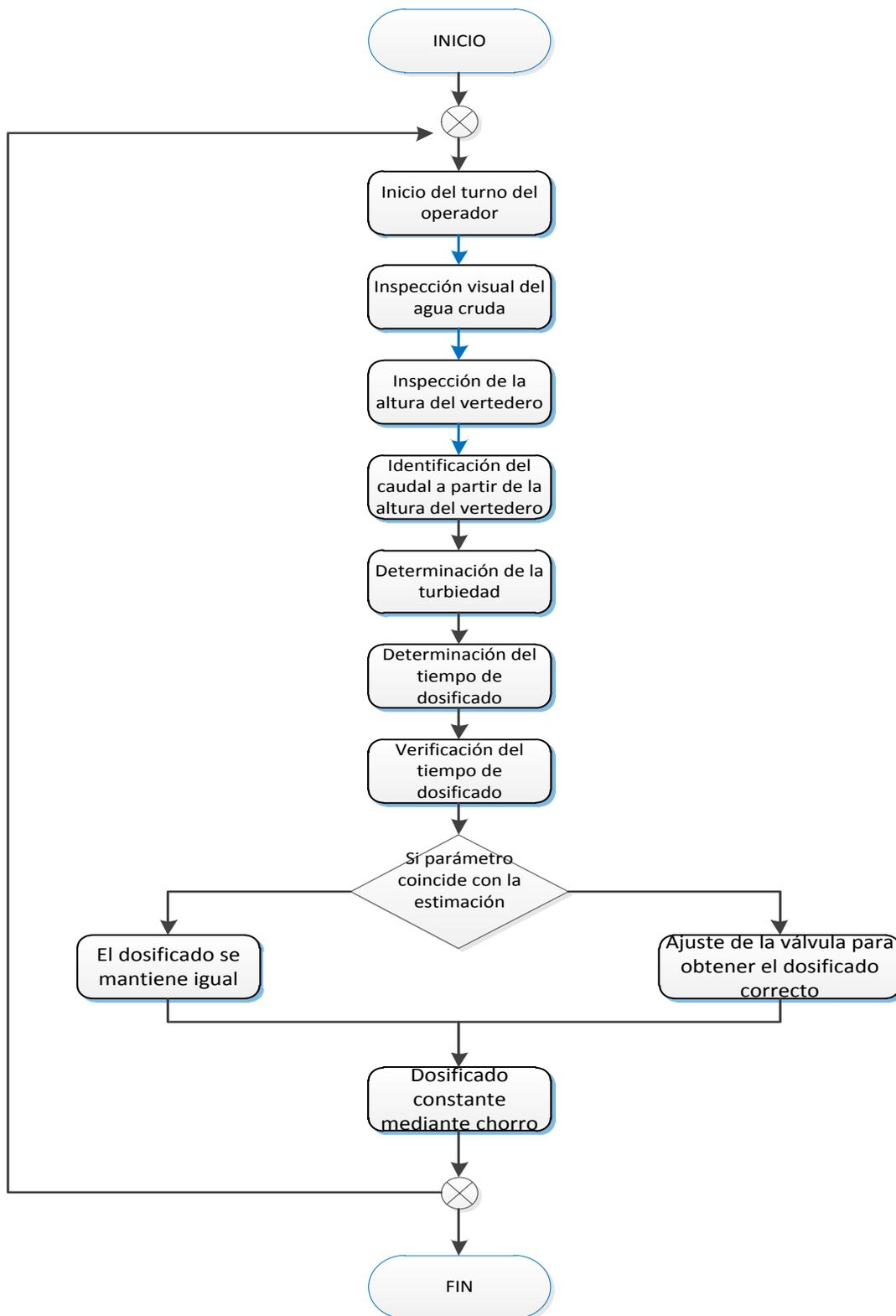
En el cuarto de máquinas los operadores a cargo del proceso de dosificado disponen de tablas en la que se muestra el tiempo exacto para la dosificación correcta tomando como referencia 500 mililitros de solución, los mismos que se detalla en la Tabla 12 para un caudal constante.

**Tabla 12:** Tiempo de referencia con un caudal constante.  
**Fuente:** Planta de Tratamiento del Casigana

Caudal	Turbiedad	Tiempo (seg)
220	10	6
220	20	5
220	30	4
220	40	4
220	50	4
220	60	4
220	70	4
220	80	3
220	90	3
220	>100	3

**Verificación del tiempo de dosificado:** El último paso dentro del proceso de dosificado es la verificación, que consiste en controlar el tiempo establecido en tablas con el tiempo que se encuentra empleando, para eso se utiliza un cronometro y un recipiente de 500 ml si el chorro de polímero coincide con dicho tiempo el operador no realiza ningún correctivo, caso contrario se procede a realizar un ajuste en la válvula con fin de que coincidan los tiempos de dosificado con los tabulados.

En la Ilustración 32 se detalla el procedimiento que se deberían realizar los operadores dentro de la planta.



**Ilustración 32:** Procedimiento correcto del dosificado de polímero  
**Elaborado por:** Israel Araujo

## 6.7.2 Componentes del Controlador

### 6.7.2.1 Medidor de Turbiedad

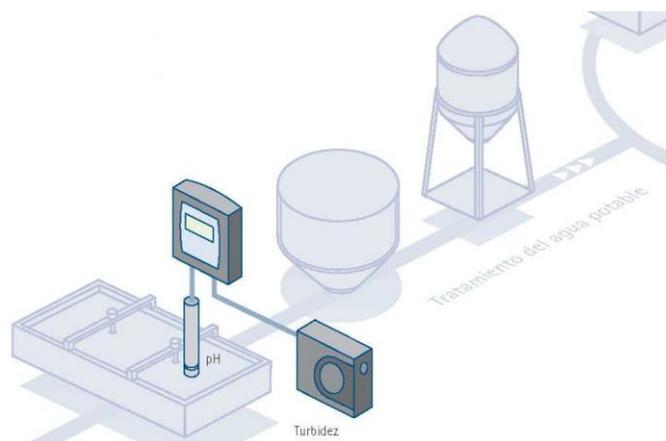
La turbiedad es un indicador importante en la potabilización del agua, es una medición cuantitativa de los sólidos no disueltos que en términos generales describe la claridad u opacidad del líquido, estos materiales pueden consistir de arcillas, limos, que se mantienen en suspensión por su naturaleza coloidal o por la turbulencia que genera el movimiento.

#### Transmisor Turbiedad Hach SC 100™.

“Para la medición de turbiedad y teniendo en cuenta que se trata de un proceso de potabilización de agua es necesario utilizar equipos de alta fiabilidad consiguiéndose con la ayuda del Turbidímetro SurfaceScatter® 7 sc el cual se trata de un instrumento sensible de monitoreo continuo para la medición de turbiedad en fluidos.

El sistema consiste de un controlador con su respectiva pantalla integrada y un sensor (electrodo con el capuchón del sensor) para mediciones en línea.”

<http://www.hach-lange.es>



**Ilustración 33:** Transmisor de caudal  
**Fuente:** © Hach Company (2013, Internet)

El controlador del medidor de turbiedad cumple con los requerimientos de impermeabilidad de agua NEMA 4X. Está construido de materiales resistentes a la corrosión. Se puede utilizar para aplicaciones interiores.

El controlador brinda una comunicación de los datos a una PC, a través de una tarjeta de salida digital mediante protocolos de comunicación ModBUS RS485 o ModBUS RS 232.



**Ilustración 34:** Indicador de Turbiedad  
**Fuente:** © Hach Company (2013, Internet)

### 6.7.2.2 Medidor de Caudal

La medición fiable del caudal de líquidos de la más diversa consistencia así como de gases y vapores juega un papel muy importante en la automatización de procesos. EMAPA ha adquirido para la medición de esta variable un caudalímetro ultrasónico que no tiene contacto con el fluido y es de alta exactitud, en el **Anexo 2:** Plano de conexiones de los medidores de caudal y turbiedad se muestra la conexión entre los sensores y los respectivos medidores.

## MULLTRONICS OCM-3



**Ilustración 35:** Medidor de caudal MULLTRONICS OCM-3  
**Fuente:** © Siemens Milltronics (2003, Internet)

“El medidor de caudal OCM-3 de Milltronics u Open Channel Meter (Medidor en Canal Abierto), es un instrumento electrónico de la marca de Siemens, diseñado para medir caudal en canales abiertos. Este instrumento funciona con un transductor ultrasónico (o sistema de medición auxiliar) y un sensor de temperatura.

La programación del OCM-3 permite al usuario seleccionar el cálculo de caudal específico para el dispositivo de medición principal (esclusa, acequia o tubería). El OCM-3 proporciona comunicación en serie para programación remota, copia e impresión del data logger para todo tipo de sistemas, como por ejemplo: PLCs e impresoras.”

*[http://cache.automation.siemens.com/dnl/zI2NTQxNwAA\\_18993840\\_HB/7ML19981AB21.2.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/zI2NTQxNwAA_18993840_HB/7ML19981AB21.2.pdf)*

En la Tabla 13 se muestra las especificaciones técnicas del medidor de caudal de la marca Siemens.

**Tabla 13:** Especificaciones técnicas del medidor de caudal.  
**Fuente:** © Siemens Milltronics (2003, Internet)

Alimentación	DC 9 a 30 V DC, 8 W máx. AC 100/115/200/230 VAC ±15%, 50/60 Hz, 20 VA máx.
Salidas	1 de corriente (0/4-20 mA.), 1 digital (<10KHz), 1 de relé (ó una salida digital)
Precisión	±1mm/m, error calculado < 0,02%
Calibración	Mediante el programador y el enlace de comunicación
Entradas	<b>Sensor de velocidad y altura auxiliar</b> <b>Rango:</b> 0 a 10 V DC <b>Resolución:</b> 2.7 mV
Salidas	<b>Transductor:</b> 44 KHz, pulsos de 400 Vpp de pico, duración típica de 0.1msec, velocidad de repetición 100 msec <b>Analógica:</b> Rango: 0-20 ó 4-20 mA. Resolución: 5 uA Máxima carga: 1Ohm Aislamiento: 300 VAC, continua <b>Relés:</b> 3 relés de control / alarma 1 contacto inversor (SPDT) por relé, capacidad nominal 5A, 250 VAC ó 30 VDC, carga óhmica <b>Salida dc:</b> +24 V dc Promedio de 20 mA.a 200 mA., 1/10 ciclo máx.
Comunicación	RS-232 ó bucle de corriente bipolar ±20 mA, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 ó 19200 baudios

### Principio de Funcionamiento

“Este medidor transmite una señal de impulsos al sensor. Esta señal es emitida como un impulso ultrasónico. Los impulsos son reflejados por la superficie del

agua y detectados por el transductor. El tiempo entre la emisión del impulso y su reflexión es compensado en temperatura y convertido en una medición de nivel.

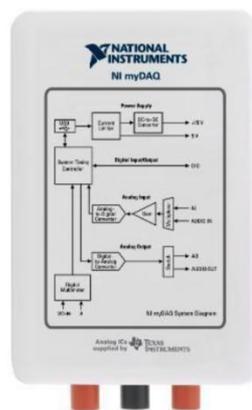
El OCM-3 convierte la medida de nivel en caudal, pero tiene una entrada de sensor de velocidad para aplicaciones en las que se necesita medir la velocidad para calcular el caudal.”

[http://cache.automation.siemens.com/dnI/zI2NTQxNwAA\\_18993840\\_HB/7ML19981AB21.2.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnI/zI2NTQxNwAA_18993840_HB/7ML19981AB21.2.pdf)

### 6.7.2.3 NI MyDAQ

La tarjeta de adquisición de datos portátil (DAQ) utiliza la plataforma NI Labview basado en los instrumentos de software, permitiendo medir y analizar las señales del mundo real.

La tarjeta de adquisición cuenta con entradas analógicas (AI), salidas analógicas (AO), entradas y salidas digitales (DIO), de audio, fuentes de alimentación, y un Multímetro digital (DMM) funciones en un compacto dispositivo USB.



**Ilustración 36:** NI myDAQ

**Fuente:** © National Instruments Corporation (2011, Internet)

### **Entrada Analógica (AI)**

La tarjeta contiene dos entradas análogas de voltaje de  $\pm 10$  V. Las entradas analógicas se pueden medir hasta 200 kS / s por canal, por lo que son útiles para la adquisición de forma de onda.

Estos canales pueden configurarse como tensión diferencial de uso general de alta impedancia de entrada o de entrada de audio.

### **Analógica (AO)**

La Ni myDAQ cuenta con dos salidas análogas. Estos canales pueden configurarse como la tensión de salida de propósito general o de salida de audio. Ambos canales tienen un convertidor digital dedicado a analógico (DAC), por lo que puede actualizar de forma simultánea. En el modo de uso general, puede generar hasta  $\pm 10$  V de señales. Las salidas analógicas se puede utilizar en hasta 200 kS / s por canal, lo que los hace útiles para la generación de forma de onda.

### **Entradas / Salidas Digitales (DIO)**

Existe ocho E / S digital (DIO) líneas. Cada línea es una Interfaz de funciones programables (PFI), lo que significa que se puede configurar como un software de propósito general-tiempo de entrada o salida digital, o puede actuar como una entrada de funciones especiales o de salida para un contador digital. Las salidas digitales también se las puede utilizarla con salidas pwm.

*<http://es.scribd.com/doc/72496726/MyDAQ-MANUAL-EN-ESPANOL>*

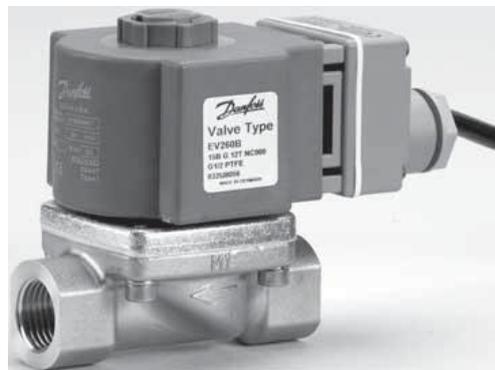
#### **6.7.2.4 Electroválvula para el dosificado de Polímero**

Para el control automático del dosificado es importante la utilización de electroválvulas, que permita regular el paso de polímero, respetando las características y condiciones destinadas para este fin.

Para la selección de la electroválvula se debe tener en cuenta los siguientes criterios que demanda el proceso.

- El fluido a controlar es una mezcla de agua con policloruro de aluminio, por este motivo tenemos que seleccionar una electroválvula que sea resistente a líquidos y a compuestos viscosos.
- Las tuberías a las que van a ser acopladas las electroválvulas son de pvc de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
- El voltaje de funcionamiento es de 110Vac /220Vac o 24Vcc.
- Deben ser electroválvulas normalmente cerradas.
- Deben ser regulables dependiendo de las necesidades.

Teniendo en consideración lo anteriormente mencionado, se ha decidido utilizar la electroválvula proporcional servoaccionada Danfoss, que se muestra en la Ilustración 37.



**Ilustración 37:** Electroválvula proporcional DanfossEV260B  
**Fuente:** © Danfoss (2005, Internet)

Esta electroválvula cumple con los requerimientos del proceso. Estas características son:

- Fabricado de acero inoxidable
- No requiere presión mínima de funcionamiento.

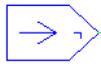
- Válvula de regulación proporcional.
- Señal de regulación de entrada: analógica: 0-10Vcc, 0-20mA, o 4–20mA.
- Histéresis < 5% ; Reproducibilidad < 3% ; Sensibilidad < 2%

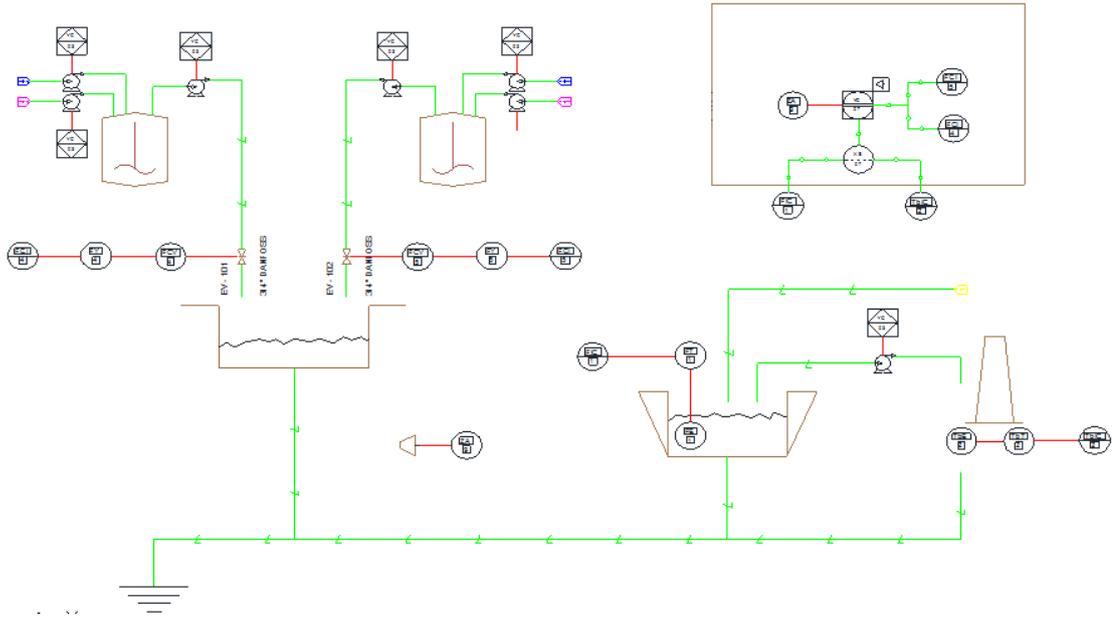
### 6.7.3 Diagrama P&ID

Se ha diseñado un diagrama P&ID, para determinar los equipos que intervendrán en el controlador, así también la interacción de los equipos y el recorrido del fluido y del polímero. El diagrama de P&ID del proceso de dosificado se detalla en el **Anexo 3: Diagrama P&ID**.

En este Diagrama podemos encontrar las conexiones e instrumentos, especificado con colores como se muestra en la Tabla 14 y la Ilustración 38.

**Tabla 14:** Código de colores para diagrama P&ID.  
Elaborado por: Israel Araujo

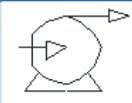
Descripción de Colores	
Color	Descripción
	Suministro de agua limpia
	Suministro de Polímero
	Suministro de Agua Cruda
	Flujo Hidráulico
	Señal Eléctrica
	Instrumentos
	Equipos

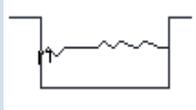
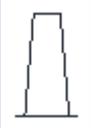
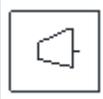
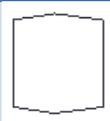


**Ilustración 38:** Diagrama P&ID  
**Fuente:** Israel Araujo

Los instrumentos y equipos que podemos encontrar en el diagrama P&ID se detalla en la Tabla 15.

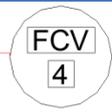
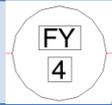
**Tabla 15:** Instrumentos y equipos del proceso de dosificado.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

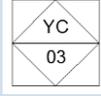
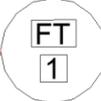
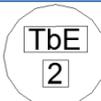
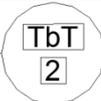
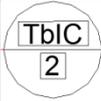
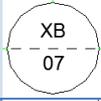
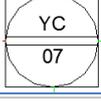
Codificación	
Símbolo	Descripción
	Línea de suministro
	Descarga a proceso de tratamiento
	Electroválvula Proporcional
	Bomba de agua centrífuga
	Agitador Mecánico

	Acumulador temporal de polímero
	Canal de agua cruda
	Tuba de turbiedad
	Cuarto de maquinas
	Alarma visual
	Alarma sonora
	Tanque de almacenamiento de polímero

Los instrumentos de control así como los equipos que se encuentran en el proceso se detallan en la Tabla 16.

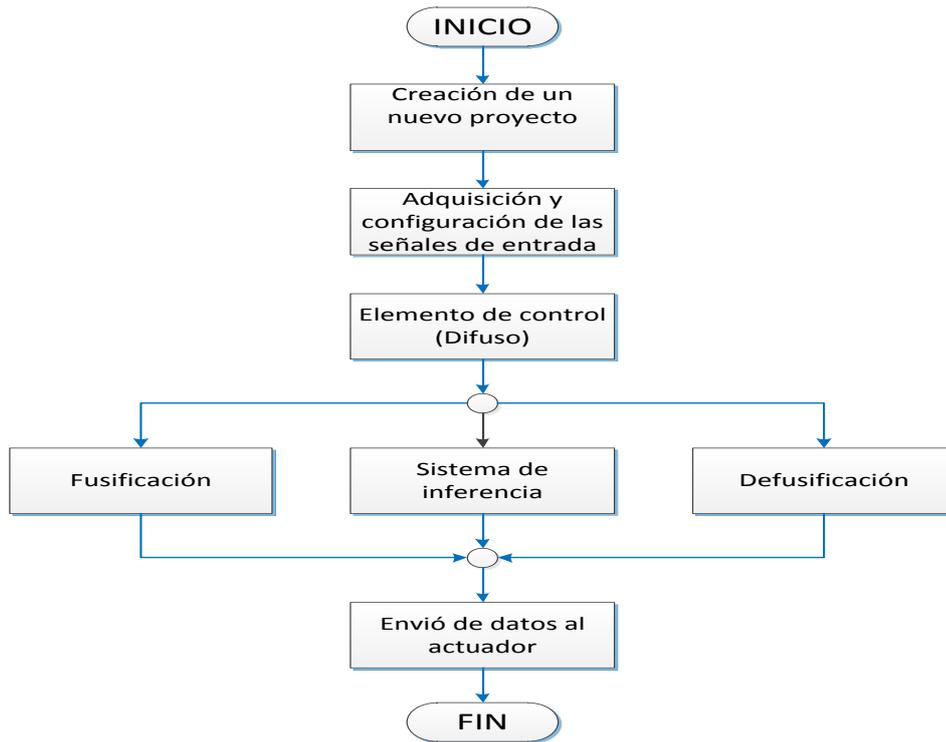
**Tabla 16:** Instrumentos y equipos del proceso de dosificado.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Codificación		
Símbolo	Código	Descripción
	FCV	Control de válvula de caudal
	FY	Transductor de caudal
	FCI	Control indicador de caudal montado en el panel frontal del cuarto de máquinas

	YC	Plc montado en el panel de control
	FE	Sensor primario de caudal
	FT	Transmisor de información de caudal
	FIC	Control indicador de caudal montado en panel frontal de cuarto de máquinas
	TbE	Sensor primario de turbiedad
	TbT	Trasmisor de información de turbiedad
	TbIC	Control, indicador de turbiedad montado en panel frontal del cuarto de maquinas
	ZA	Alarma montado localmente
	XB	Transeiver
	YC	Central HMI montado en panel frontal del cuarto de maquinas
		Control de alarma

#### 6.7.4 Programación del controlador

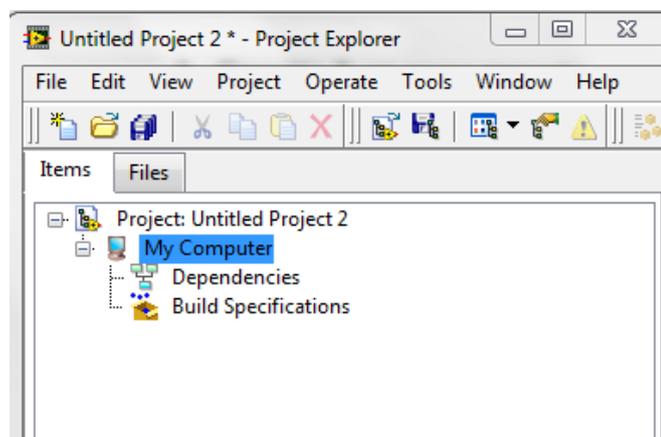
Para la programación del controlador automático, se debe seguir una serie de pasos que se detalla en la Ilustración 39.



**Ilustración 39:** Creación de Proyecto en Labview  
**Elaborado por:** Israel Araujo

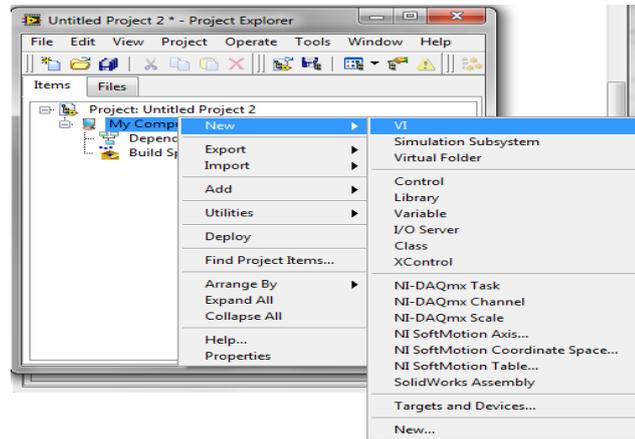
## 1. Creación de un nuevo proyecto

Para la creación de un nuevo proyecto en Labview se elige la opción Create Project, seguidamente Blank Project y Finish, como se puede apreciar en la Ilustración 40.



**Ilustración 40:** Creación de Proyecto en Labview  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

- En la Ilustración 41 se muestra la secuencia para genera un nuevo VI, para esto se procede a seleccionar My Computer se elige un nuevo VI donde procedemos a la programación gráfica.



**Ilustración 41:** Creación de un VI  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

## Entorno de programación

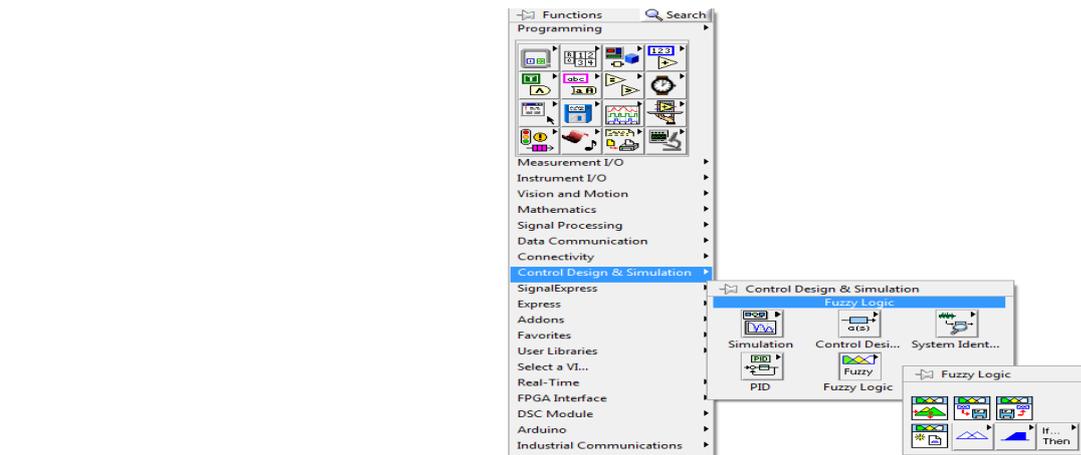
En el entorno de programación de Labview se tiene dos ventanas:

**Diagrama de Bloques:** Espacio dentro de Labview para la realización del código del controlador en forma de bloques.

**Panel Frontal:** Lugar donde se visualiza y se controla los diferentes elementos del sistema.

### Paleta de funciones

Labview dispone de un sin número de funciones, que facilita la programación. Para el control se utiliza entre otras la paleta de Control Design & Simulation como se ve en la Ilustración 42, específicamente se utilizará el bloque de Fuzzy Logic.



**Ilustración 42:** Paleta de Control Design & Simulation  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

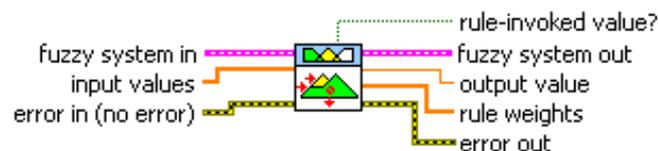
**Load Fuzzy System:** El código de la Ilustración 43 permite carga un sistema difuso de un archivo de fs.

Antes de ser utilizado debe ser guardado el proyecto realizado en el simulador y de ahí se puede utilizar en el panel de programación de Labview.



**Ilustración 43:** Cargar archivo difuso  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

**FL Fuzzy Controller VI:** Por defecto, este VI implementa un controlador de lógica difusa para un sistema difuso-salida única (SISO) de entrada única. Se debe seleccionar manualmente la instancia a utilizar. La que debe seleccionar es MISO (múltiple entrada simple salida).



**Ilustración 44:** Adquisición de la información difusa  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

## 2. Adquisición y configuración de las señales de entrada

Para el control automático se necesita los valores de caudal y turbiedad, para ello se sincroniza y se establece las respectivas comunicaciones con los controladores de cada uno de los medidores.

Los dos equipos responsables de la medición disponen de los siguientes protocolos de comunicación que se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17:** Tipo de comunicación de los elementos de entrada del controlador.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Medidor	Tipo de Comunicación
Turbiedad	MODBUS RS232
Caudal	RS232

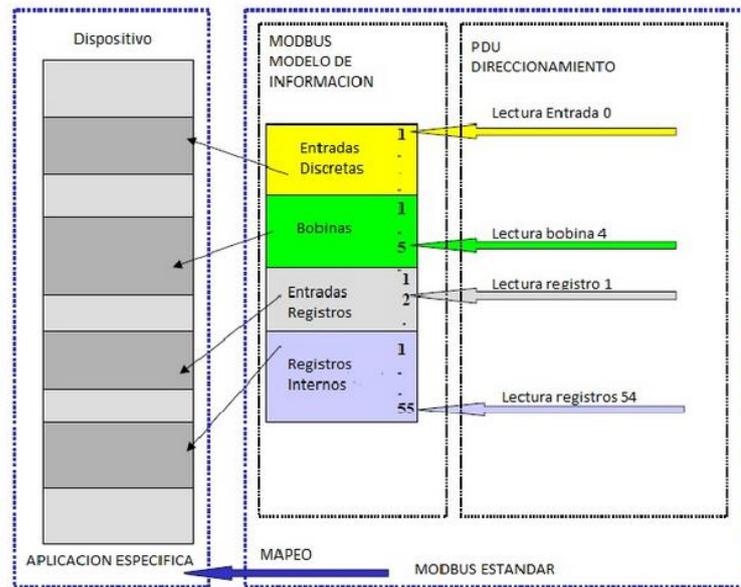
### Comunicación Modbus con Medidor de Turbiedad sc100

El protocolo Modbus se basa en una arquitectura maestro / esclavo. Sólo un único maestro está conectado al bus en cualquier momento dado. Los esclavos no transmiten información a menos que la solicitud se realice por el dispositivo maestro y los dispositivos esclavos no pueden comunicarse con otros dispositivos esclavos.

La comunicación Modbus entre el medidor de turbiedad sc100 y el controlador se lo puede realizar en modo ASCII o en modo RTU. En modo ASCII los bytes se envían codificados en ASCII, es decir, que por cada byte a transmitir se envían dos caracteres ASCII (2 bytes) con su representación hexadecimal (esto permite leer las tramas con un simple editor de texto). En modo RTU se envían en binario, tal cual. En el modo ASCII las tramas comienzan por 3AH (carácter ‘:’), y terminan en 0DH-0AH (CR LF Carrier Return Line Feed) y cada byte se envía como dos caracteres ASCII. En modo RTU no se utiliza indicador de inicio y final de trama.

El modelo de direccionamiento Modbus está integrado por 4 bloques de datos estos son:

- Bobinas (salidas discretas)
- Entradas discretas
- Registros internos
- Registros de entrada



**Ilustración 45:** Modelo de direccionamiento  
**Fuente:** Gamboa. J (2012, Internet)

A continuación se presenta el mapa de memoria del equipo sc100 medidor de turbiedad detallado en la Tabla 18.

**Tabla 18:** Mapa de memoria de Medidor de Turbiedad sc100.  
**Fuente:** © Hach Company (2013, Internet)

Nombre del Grupo	Nombre de la Etiqueta	# de Registro	Tipo de Datos	Longitud	R/W	Descripción
<b>Mediciones</b>	Valor Calculado	40001	Flotante	2	R	Valor calculado de la medición de dos sensores
<b>Montaje</b>	Formato de Fecha	40004	Número no asignado	1	R/W	Formato Actual de Fecha Mostrado (0 = DD/MM/YY; 1 = MM/DD/YY; 2 = MM/DD/YY; 2

						= DD-MM-YY; 3 = MM-DD-YY)
<b>Montaje</b>	Modo de Enclavar	40005	Número no asignado	1	R/W	Estado Modo de Sostener/Mantener Error (0 = Sostener/Mantener salidas; 1 = Transferir salidas a un valor predefinido)
<b>Montaje/Relé 2</b>	Selección del Sensor	40091	Número no asignado	1	R/W	Selecciona la fuente del sensor cuando la Fuente = Sensor (0 = sensor1; 1 = sensor2)
<b>Montaje/Relé 2</b>	Selección de la Medición	40092	Número no asignado	1	R/W	Selecciona la medición en el sensor (0 = Medic. 1; 3 = Medic.4)
<b>Montaje/Relé 2/Alarma</b>	Alarma Alta	40095	Flotante	2	R/W	Ajusta el punto de ajuste de alarma alta
<b>Montaje/Relé 2/Alarma</b>	Alarma Baja	40097	Flotante	2	R/W	Ajusta el punto de ajuste de alarma baja

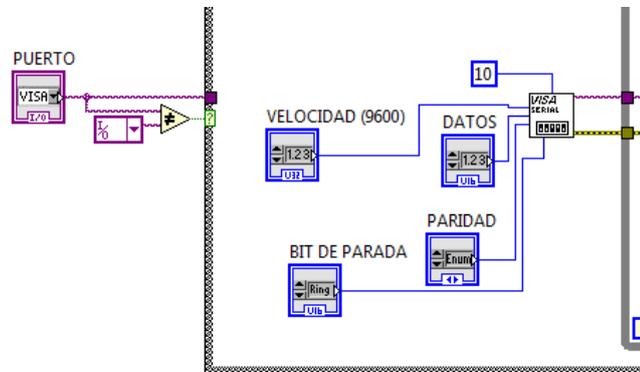
**Comprobación de Error:** En redes estándar Modbus se usa dos tipos de comprobación de error. Que dependen del modo de transmisión.

- **Modo ASCII:** La comprobación de error contiene dos caracteres ASCII. El valor es un resultado de un chequeo de redundancia longitudinal (LRC) basado en el contenido de mensajes, excluyendo el símbolo ASCII de inicio (:) y los caracteres de control ASCII finales CR-LF (retorno del carro – salto de línea). Los caracteres LRC se añaden al mensaje como último campo seguido de los caracteres CR – LF.
- **Modo RTU:** La comprobación de error contiene dos bytes. el valor es el resultado de un cálculo de chequeo de redundancia cíclica basada en el

contenido del mensaje. Los caracteres CRC se añaden en el último campo del mensaje

### Comunicación del medidor de turbiedad sc100 y Labview:

Para la comunicación entre el medidor y el controlador se configura el puerto serie (COM), velocidad, paridad, bits de datos, bits de parada, el código y los parámetros a configura para la comunicación se detalla en la Ilustración 46 y en la Tabla 19.

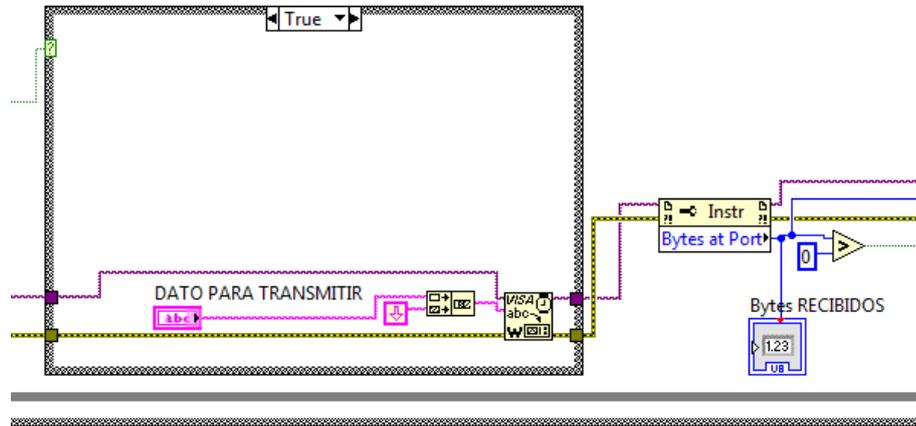


**Ilustración 46:** Configuración del puerto serial  
Elaborado por: Israel Araujo

**Tabla 19:** Configuraciones de la comunicación del Medidor de Turbiedad sc100.  
Fuente: © Hach Company (2013, Internet)

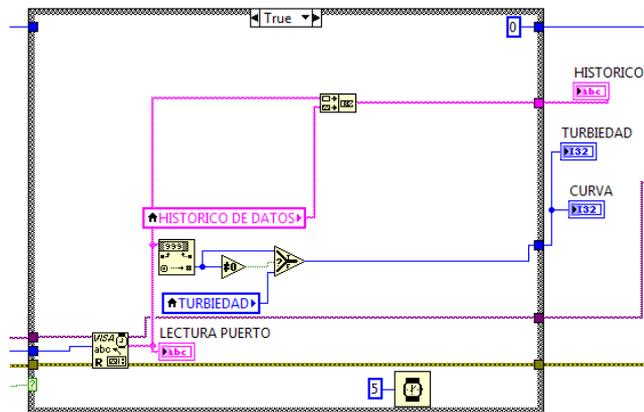
Parámetro	Configuración
<b>Puerto</b>	
<b>Velocidad</b>	9600
<b>Paridad</b>	None
<b>Bits de datos</b>	8
<b>Bits de parada</b>	1.0
<b>Modo</b>	ASCII / RTU
<b>Número de esclavos</b>	1

El siguiente paso es la lectura del puerto, los datos se recibe en formato ASCII.



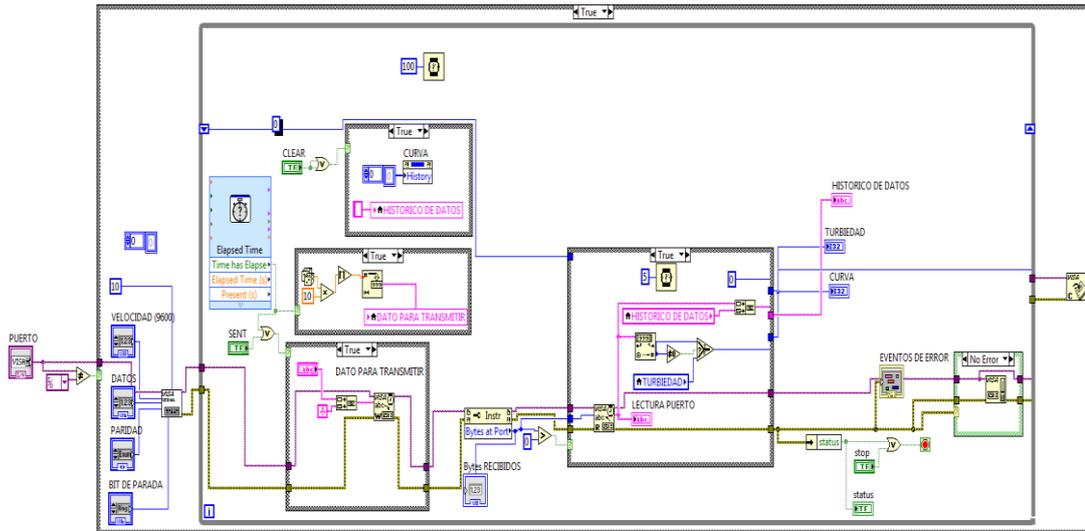
**Ilustración 47:** Lectura del puerto  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Posteriormente es transformación de tipo ASCII en tipo numérico para determinar el valor real que nos envía el medidor de turbiedad.



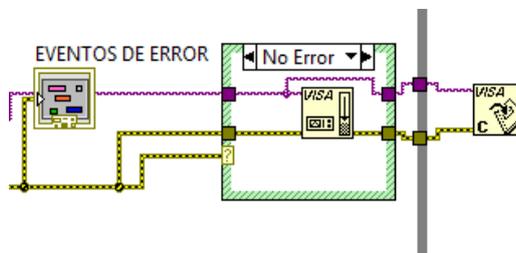
**Ilustración 48:** Lectura del puerto  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Implementando esta rutina el controlador principal se obtiene:



**Ilustración 49:** Adquisición de datos del controlador sc100  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Finalmente se procede a cerrar la comunicación entre el puerto y el medidor de turbiedad evitando así cualquier tipo de error, consiguiendo la siguiente instrucción, detallada en la Ilustración 50.



**Ilustración 50:** Código para cerrar la comunicación del puerto  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Comunicación RS - 232 del Medidor de Caudal MULLTRONICS OCM-3

La comunicación serie se emplea para transmitir datos entre un ordenador y un dispositivo periférico como un instrumento programable o incluso otro ordenador.

Este tipo de comunicación consiste en un conector de 9 pines DB9 cuya versión está mucha más extendida en diversos tipos de periféricos y es más económica.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII.

Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmitir, (3) Recibir. Debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra, en la Tabla 20 se describe los pines del conector RS232.

**Tabla 20:** Pines del conector RS232.  
**Fuente:** Medina. J (2011, Internet)

SEÑAL	FUNCIÓN
<b>GND</b>	Referencia de tierra
<b>Tx</b>	Línea por donde se transmiten los datos
<b>Rx</b>	Línea por donde se recibe los datos
<b>DSR</b>	Equipo de datos libre
<b>CTS</b>	Libre para envió
<b>RTS</b>	Solicitud de envió
<b>DTR</b>	Terminal de datos listo
<b>RI</b>	Indicar de llamada
<b>DCD</b>	Detección de portadora

Antes de iniciar cualquier comunicación con el puerto serie RS232 se debe determinar el protocolo a seguir (que debe de ser el mismo para el aparato a conectar y el PC). Este paso depende del usuario, es él quien decide los valores de los parámetros necesarios y quien configura los dispositivos antes de la transmisión de datos.

Protocolo de control de flujo: establece el tipo de control utilizado para transferirlos datos. Existen dos posibilidades de control de flujo de datos con la RS232: Una hardware mediante las líneas RTS/CTS y otro software XON/XOFF, la descripción se detalla en la Tabla 21.

En el **Anexo 4:** Plano Conexiones de los medidores de caudal y turbiedad, describe la conexión entre los medidores y el controlador.

**Tabla 21:** Tipos de control de transferir datos.  
**Fuente:** José Rosado Medina (2011, Internet)

<b>0</b>	<b>Ninguno</b>	<b>La transmisión no utiliza el flujo de datos</b>
<b>1</b>	<b>XON/XOFF</b>	(Transmisor preparado/ transmisor ocupado). Protocolo de transmisión asíncrona para ajustar el flujo de información entre el dispositivo emisor y el receptor. Cuando el receptor no puede recibir más datos envía una señal (XOFF) de corte de transmisión al emisor para que cese el envío. Cuando el receptor está listo envía una señal de comunicación (XON) para solicitar más datos.
<b>2</b>	<b>RTS/CTS</b>	(Request To Send/Clear To Send) son las señales a través de las que se ejecuta el control de flujo de Hardware. Colocando la línea RTS en ON el ordenador señala al modem que está listo para recibir datos.

### Configuración del Medidor de caudal

El protocolo de comunicación del medidor OCM-3 se detalla en la Tabla 22.

**Tabla 22:** Configuraciones de comunicación.  
**Fuente:** © Hach Company (2013, Internet)

<b>Parámetro</b>	<b>Función</b>
<b>velocidad (baudios)</b>	definida con P37
<b>paridad:</b>	no aplicable
<b>bits de paro:</b>	1
<b>longitud de palabra:</b>	8

El lazo de comunicación del OCM-3 es una comunicación serial (tres hilos) XON/XOFF. El OCM-3 envía una señal XOFF para indicar que el buffer de recepción está casi lleno.

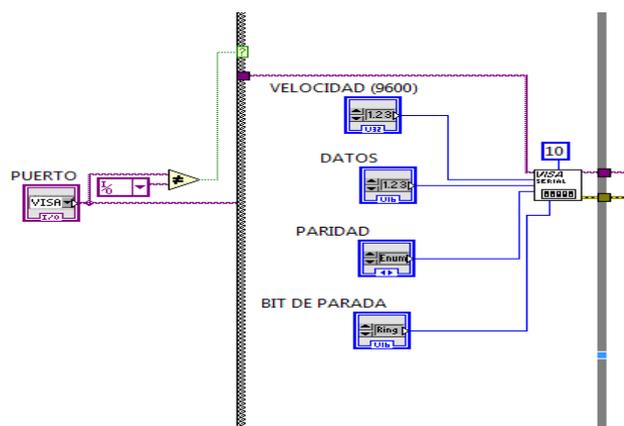
Si el emisor también utiliza XON/XOFF, responde a la señal XOFF interrumpiendo la transmisión.

Cuando el buffer de recepción del OCM-3 está casi vacío, el OCM-3 manda una señal XON para informar el emisor, que puede establecer la comunicación sin riesgos.

Es imprescindible utilizar la misma velocidad de comunicación (en baudios) entre el OCM-3 y el aparato correspondiente.

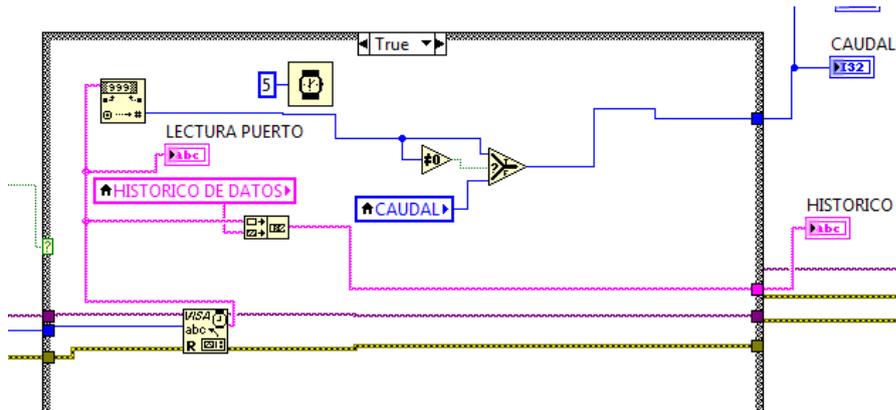
### Protocolo RS – 232 con Labview

La comunicación RS-232 entre el medidor de caudal y Labview se lo realizará mediante el VISA, el primer paso es la configuración del puerto, la velocidad, entre otros, en la Ilustración 51 se detalla la configuración en Labview para la comunicación.



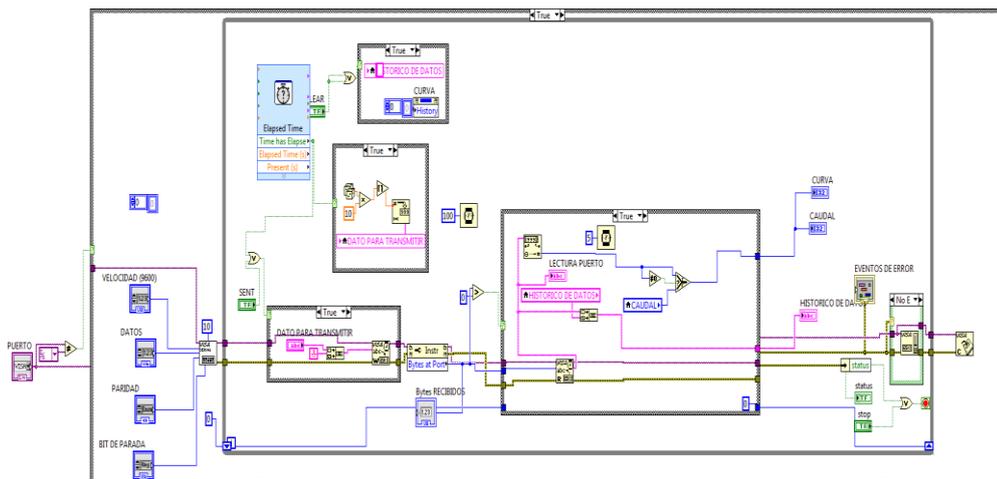
**Ilustración 51:** Configuración preliminar  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Una vez configurado el puerto se lee la información que envía el medidor de caudal, todos los caracteres serán transformados a número, lo cuales se guardaran en una variable global.



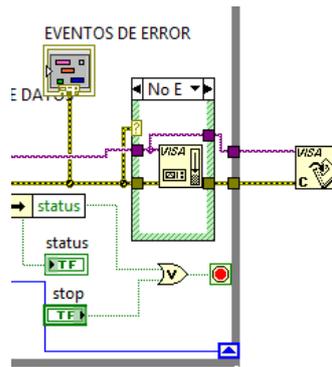
**Ilustración 52:** Adquisición de datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Implementando esta rutina el controlador principal se obtiene el siguiente código que se observa en la Ilustración 53.



**Ilustración 53:** Adquisición de datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

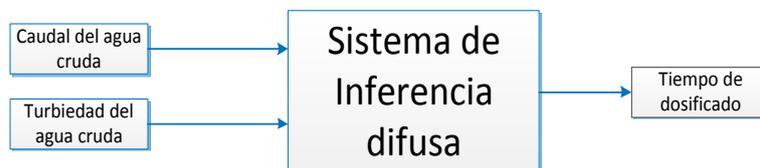
Con la finalidad de evitar errores se debe cerrar el puerto de comunicación entre el medidor de caudal y el controlador de Labview, como se observa en la Ilustración



**Ilustración 54:** Adquisición de datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

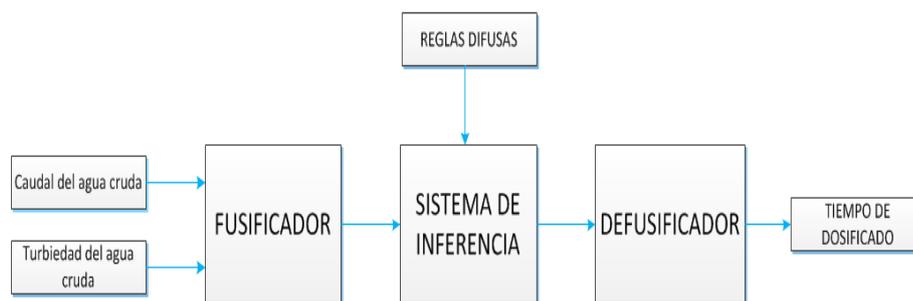
### 3. Controlador difuso.

Para la elaboración del controlador es necesario identificar las variables (entradas, salidas). La primera variable que el controlador debe medir es el caudal con que llega el agua cruda a la Planta de Tratamiento del Casigana, en la Ilustración 55 se ve el diagrama de bloques de los componentes del controlador difuso.



**Ilustración 55:** Componentes del controlador difuso  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Una segunda variable es la turbiedad del agua cruda con la que llega a la Planta. La última variable es el tiempo de dosificado, que resulta del controlador difuso. Para la elaboración de un control fuzzy, se basa en la experiencia de los operadores de la Planta del Casigana, que se encuentran en contacto diario con el proceso. Teniendo en cuenta los siguientes pasos que se ve en la Ilustración 56.



**Ilustración 56:** Diagrama de bloque del controlador difuso  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Fusificador

El Fusificador consiste en cambiar las variables al dominio fuzzy, dividiendo en conjuntos difusos, asignándole su grado de pertenencia, las variables son: caudal, turbiedad y tiempo.

Se utiliza el **Fuzzy System Designer**, para configurar el controlador fuzzy.

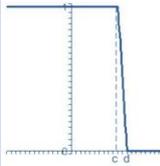
Se ingresa las variables tanto de entrada como de salida, las mismas que deben cumplir criterios detallados a continuación:

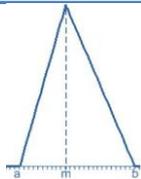
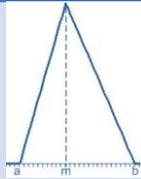
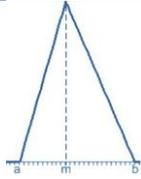
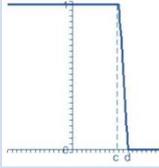
Los rangos que se establecen en todas la variables son de acuerdo a valores preestablecidos de funcionamiento propios de la planta del Casigana.

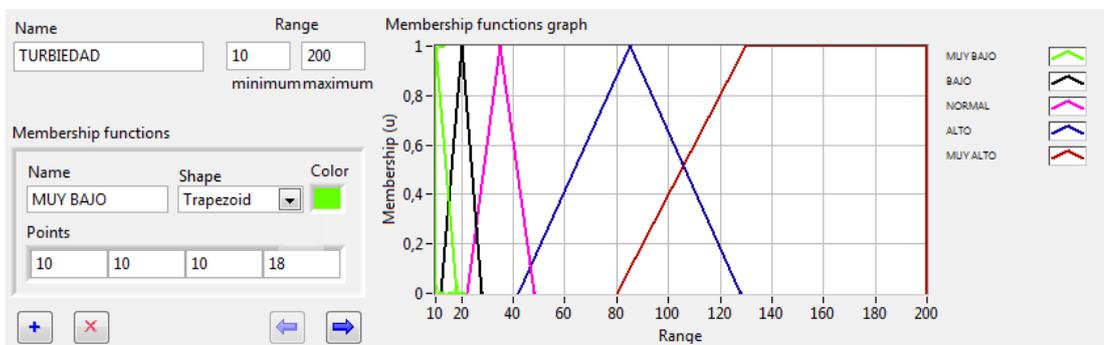
Las Variables de Entradas son: Turbiedad y Caudal.

Las características de la turbiedad se ingresan en **Edit Variable** tal como se detalla en la Tabla 23 y en la Ilustración 57.

**Tabla 23:** Parámetros a establecer en la variable de entrada Turbiedad.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Rango	Membrecías	Forma de las membrecías	Rango de Turbiedad
10 - 200 (UNT)	Muy Bajo		10-18 (10 es el valor de turbiedad con el 100% de grado de

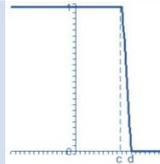
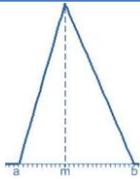
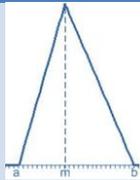
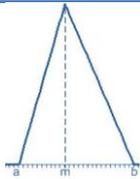
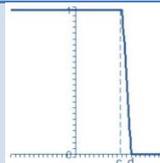
			pertenencia de esta función)
Bajo			12-28 (20 es el valor de turbiedad con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
Normal			22-48 (35 es el valor de turbiedad con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
Alto			42-128 (85 es el valor de turbiedad con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
Muy Alto			80-200 (130 es el valor de turbiedad con el 100% de grado de pertenencia de esta función)

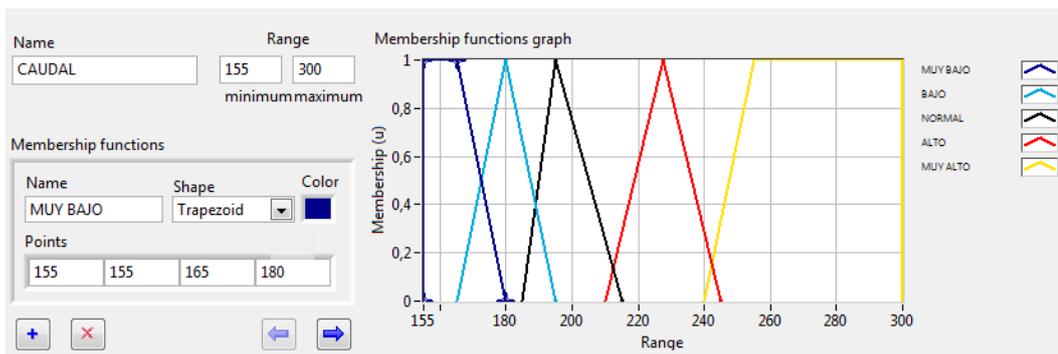


**Ilustración 57:** Sistema fusificación para la turbiedad  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Las características a introducir en la variable caudal se detallan en la Tabla 24 y en la Ilustración 58.

**Tabla 24:** Parámetros a establecer en la variable de entrada Caudal  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Rango	Membrecías	Forma de las membrecías	Rango de Caudal
155 – 300 ( $lt/s$ )	Muy Bajo		155-180 (165 es el valor de caudal con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
	Bajo		165-195 (180 es el valor de caudal con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
	Normal		185-215 (195 es el valor de caudal con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
	Alto		210-245 (227,5 es el valor de caudal con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
	Muy Alto		240-300 (255 es el valor de caudal con el 100% de grado de pertenencia de esta función)

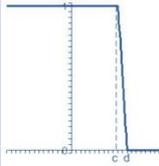
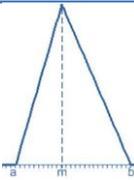


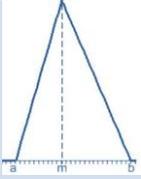
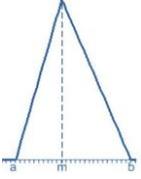
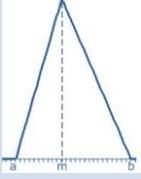
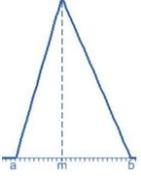
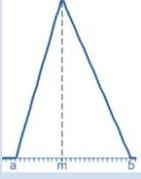
**Ilustración 58:** Sistema fusificación para el caudal  
**Elaborado por:** Israel Araujo

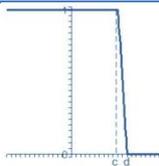
El controlador es de tipo MISO (múltiples entradas y una sola salida), la variable de salida se denomina Tiempo, debido al tiempo que debe aplicarse para el dosificado de polímero.

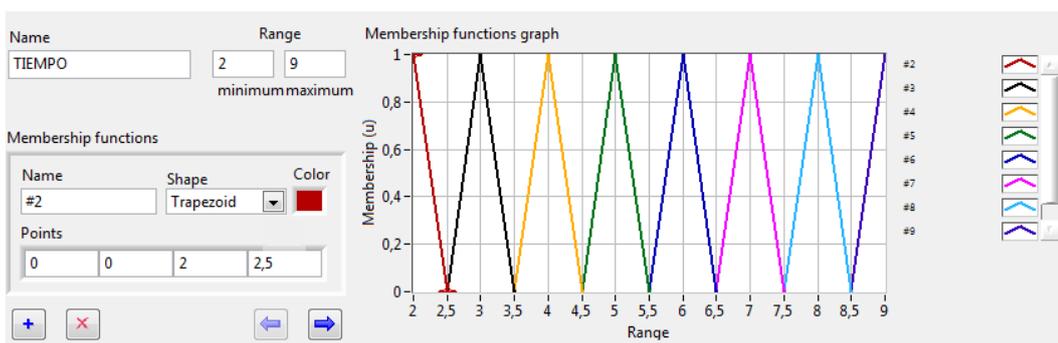
Las características de la variable de salida se ingresa en Edit Variable en Output, están se encuentran detalladas en la Tabla 25 y se observa en la Ilustración 59.

**Tabla 25:** Parámetros a establecer en la variable de salida  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Rango	Membrecías	Forma de las membrecías	Rango de Caudal
0-10 (s)	#2		0-3 (1seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
	#3		2-4 (3seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)

#4		3-5 (4seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
#5		4-6 (5seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
#6		5-7 (6seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
#7		6-8 (7seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
#8		7-9 (8seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)

	#9		8-10 (9,5 seg es el valor de tiempo con el 100% de grado de pertenencia de esta función)
--	----	---	--



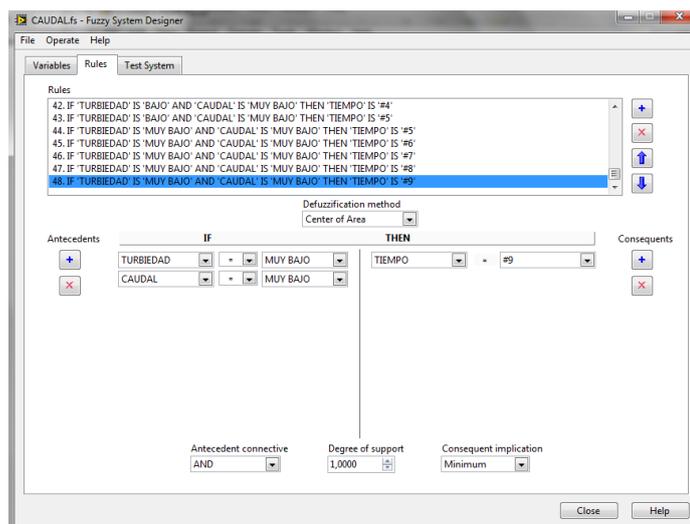
**Ilustración 59:** Sistema fusificación para el tiempo

**Elaborado por:** Israel Araujo

### Sistema de inferencia (Reglas difusas)

Las reglas difusas son primordiales en el diseño del controlador, estas reglas se realizan de acuerdo a los criterios de los operadores, los que se encuentran día a día en las operaciones de la Planta de Tratamiento y en especial en el dosificado.

En esta función se evalúan cada una de las reglas y se aplica el método de inferencia designado, todas estas reglas se han tomado en base a criterios de los operadores, en la Ilustración 60 se muestra la interfaz donde se ingresa una a una las reglas.



**Ilustración 60:** Creación de las reglas difusas.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Las reglas difusas aplicadas en el controlador se detallan en la Tabla 26.

**Tabla 26:** Reglas difusa  
**Elaborado por:** Israel Araujo

<b>REGLAS PARA EL CONTROLADOR DIFUSO</b>
1. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#2'
2. IF 'TURBIEDAD' IS 'ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#2'
3. IF 'TURBIEDAD' IS 'NORMAL' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#2'
4. IF 'TURBIEDAD' IS 'NORMAL' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
5. IF 'TURBIEDAD' IS 'BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
6. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
7. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#4'
8. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'MUY ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#5'
9. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#2'
10. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
11. IF 'TURBIEDAD' IS 'ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#2'

12. IF 'TURBIEDAD' IS 'NORMAL' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
13. IF 'TURBIEDAD' IS 'BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
14. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
15. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#4'
16. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#5'
17. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY BAJO' AND 'CAUDAL' IS 'ALTO' THEN 'TIEMPO' IS '#6'
18. IF 'TURBIEDAD' IS 'MUY ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'NORMAL' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
19. IF 'TURBIEDAD' IS 'ALTO' AND 'CAUDAL' IS 'NORMAL' THEN 'TIEMPO' IS '#3'
20. IF 'TURBIEDAD' IS 'NORMAL' AND 'CAUDAL' IS 'NORMAL' THEN 'TIEMPO' IS '#3'

### **Defusificador**

Es la última etapa del controlador, donde se obtiene el resultado que representa el tiempo que dosifica el polímero.

La función consiste en seleccionar el conjunto difuso que tiene mayor grado de pertenencia entre todas las reglas.

Para obtener la respuesta deseada se lleva a cabo un proceso inverso a la fusificación, conocido como defusificación. En esta tarea existen varios métodos, pero ninguno se considera más apropiado que otro, por lo que el usuario puede elegir su método de acuerdo a los requerimientos que exige el sistema.

Las técnicas de defusificación más usadas son:

- Centroide o Centro de las Áreas (COA o Center of Areas)
- Centro de las Sumas (COS o Center of Sums)
- Media de los Máximos (MOM o Mean of Maxima)
- Promedio de los Centros (CA o Center Average)

El método más utilizado es el centroide o centro de áreas, de acuerdo a este método el valor de salida del sistema difuso se calcula con la ecuación.

$$Salida = \frac{\mu_1 * Sg_1 + \mu_2 * Sg_2 + \dots + \mu_n * Sg_n}{\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n}$$

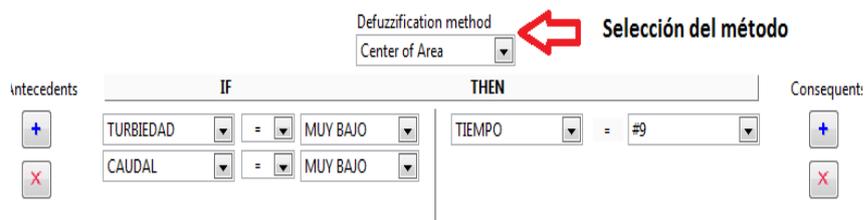
Ec. (2)

**Dónde:**

$\mu$  = Grado de pertenencia

$Sg$  = Sigleton

Labview realiza este cálculo en forma interna solo se debe seleccionar el método apropiado para la defusificación, realizándose en la pestaña de Rules dentro de Fuzzy System Designer, como se muestra en la Ilustración 61.



**Ilustración 61:** Selección del método de defusificación  
Elaborado por: Israel Araujo

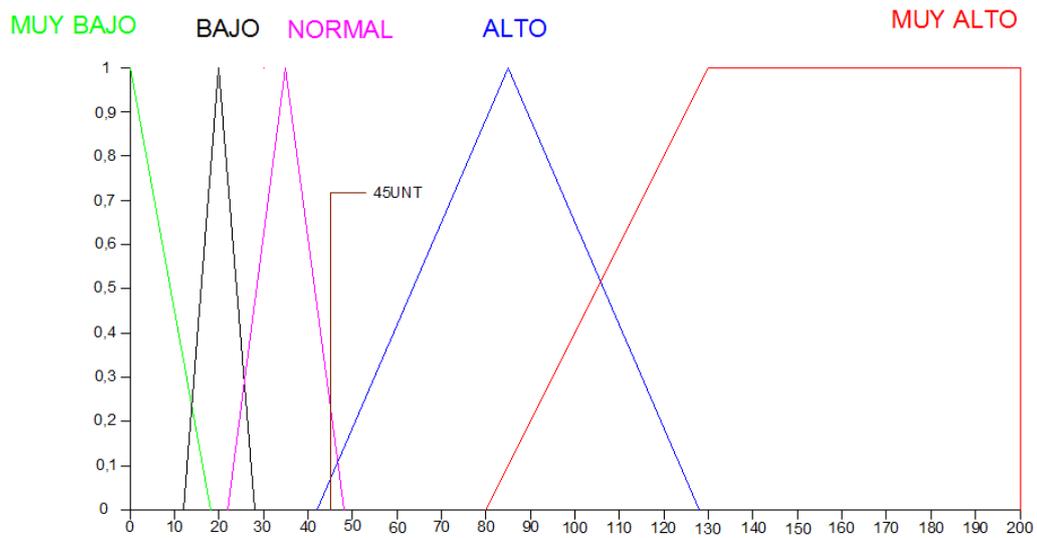
### Verificación Matemática

Para la verificación matemática del controlador se toma en cuenta dos casos:

#### Caso Uno:

En este caso se tiene: Turbiedad de 45 UNT y un Caudal de 182 lt/s, se determinar el tiempo óptimo para dosificar el agua cruda.

**Análisis en Turbiedad:** Teniendo en cuenta que el valor de turbiedad se encuentra entre las membrecías de muy bajo y bajo, como se ve en la Ilustración 62, se determina las respectivas ecuaciones:



**Ilustración 62:** Rectas a ser analizadas  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Normal:** Para el análisis es necesario determinar las ecuaciones de las rectas que se encuentran comprometidas con el proceso.

$$m1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

**Ec. (3)**

**Dónde:**

m1 = pendiente de la recta Y1

x1 = Valor de x en el punto 1

y1 = Valor de y en el punto 1

x2 = Valor de x en el punto 2

y2 = Valor de y en el punto 2

**Datos:**

x1 = 48

y1 = 0

x2 = 35

y2 = 1

$$m_1 = \frac{1 - 0}{35 - 48}$$

$$m_1 = -\frac{1}{13}$$

**Ec. (3)**

La pendiente de la recta Y1 es  $-1/26$ , con este valor se determina la ecuación de la recta.

$$y - y_1 = m_1(x - x_1)$$

**Ec. (4)**

**Dónde:**

y = variable dependiente

y1 = Valor de y en el punto 1

m1 = pendiente de la recta Y1

x = variable independiente

x1 = Valor de x en el punto 1

**Datos:**

x1 = 48

y1 = 0

m1 =  $-1/26$

$$y - 0 = -\frac{1}{13}(x - 48)$$

$$y = -\frac{1}{13}x + \frac{48}{13}$$

**Ec. (4)**

**Alto:** Para el análisis en la membrecía “Alto” se realiza el mismo proceso anteriormente descrito.

$$m_2 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

**Ec. (5)**

**Datos:**

$$x_1 = 42$$

$$y_1 = 0$$

$$x_2 = 85$$

$$y_2 = 1$$

$$m_2 = \frac{1 - 0}{85 - 42}$$

$$m_2 = \frac{1}{43}$$

**Ec. (5)**

La pendiente de la recta Y2 es 1/43, con este valor se determina la ecuación de la recta.

$$y - y_1 = m_2(x - x_1)$$

**Ec. (6)**

**Datos:**

$$x_1 = 42$$

$$y_1 = 0$$

$$m_1 = 1/43$$

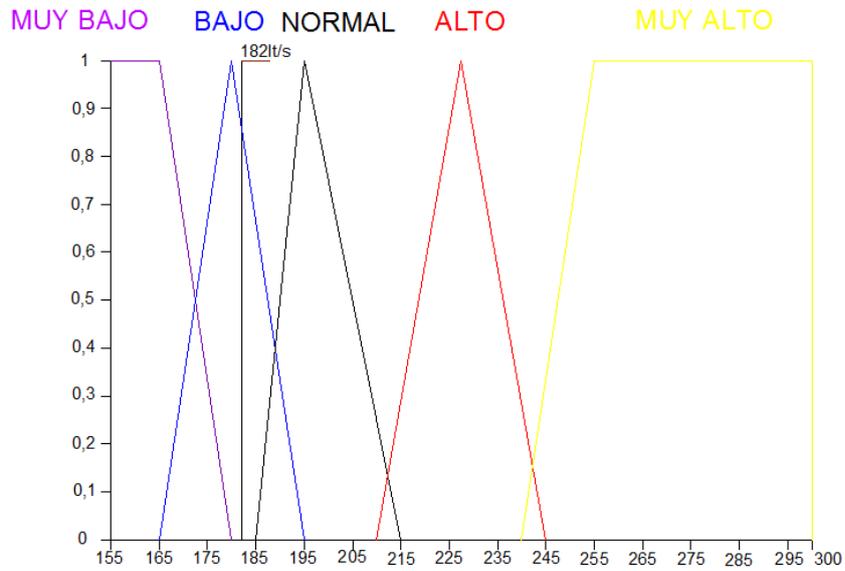
$$y - 0 = \frac{1}{43}(x - 42)$$

$$y = \frac{1}{43}x - \frac{42}{43}$$

**Ec. (6)**

**Caudal**

Para un caudal de 182 lt/s las ecuaciones a ser analizadas se encuentran entre las membrecías de muy bajo y bajo, se determina las respectivas ecuaciones, el conjunto difuso para la variable caudal se ve en la Ilustración 63.



**Ilustración 63:** Rectas a ser analizados  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Bajo:** Para el análisis en la membrecía “Bajo” del conjunto difuso caudal, se realiza el mismo proceso anteriormente descrito.

$$m1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

**Ec. (7)**

**Datos:**

$$x1 = 180$$

$$y1 = 1$$

$$x2 = 195$$

$$y2 = 0$$

$$m1 = \frac{0 - 1}{195 - 180}$$

$$m1 = -\frac{1}{15}$$

**Ec. (7)**

La pendiente de la recta Y1 de la membrecía Bajo es  $-1/30$ , con este valor se determina la ecuación de la recta.

$$y - y_1 = m_1(x - x_1)$$

**Ec. (8)**

**Datos:**

$$x_1 = 180$$

$$y_1 = 1$$

$$m_1 = -1/15$$

$$y - 1 = -\frac{1}{15}(x - 180)$$

$$y = -\frac{1}{15}x + 13$$

**Ec. (8)**

Para una Turbiedad de 45 UNT, reemplazando el valor de x por dicho valor en la Ec. (4) y en la Ec. (6), se tiene:

$$y_1 = -\frac{1}{13}(45) + \frac{48}{13}$$

$$y_1 = 0,23$$

**Ec. (9)**

$$y_2 = \frac{1}{43}(45) - \frac{42}{43}$$

$$y_2 = 0,069$$

**Ec. (9)**

Para un caudal de 182lt/s reemplazando este valor en Ec. (8), se obtiene:

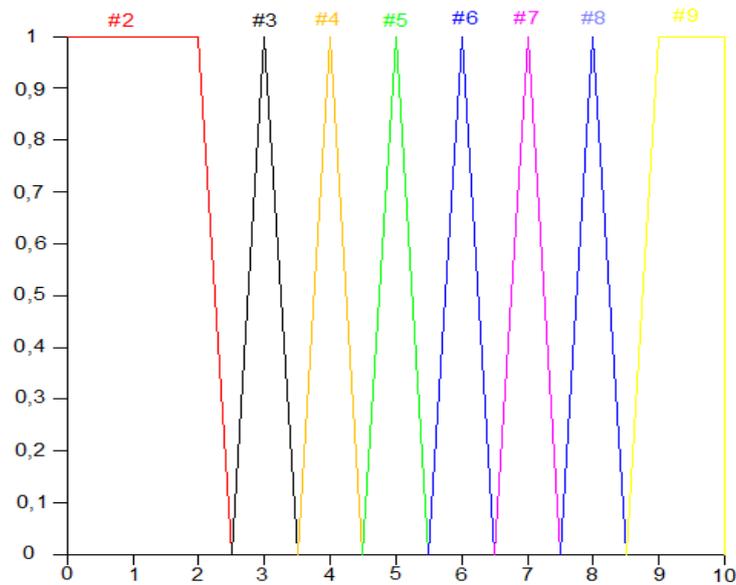
$$y1 = -\frac{1}{15}(182) + 13$$

$$y1 = 0,86$$

**Ec. (10)**

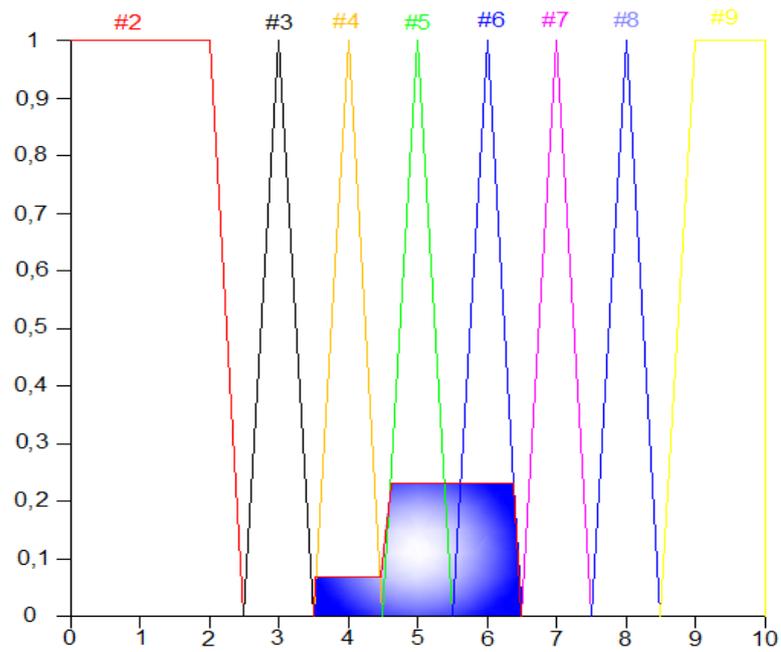
Al evaluar estos valores, se activan las siguientes reglas del sistema:

1. Si Turbiedad = Normal y Caudal = Bajo, entonces Tiempo = #5,6, se activa con 0,230769
2. Si Turbiedad = Alto y Caudal = Bajo, entonces Tiempo = #4; se activa con 0,069767



**Ilustración 64:** Diagrama de tiempo  
**Elaborado por:** Israel Araujo

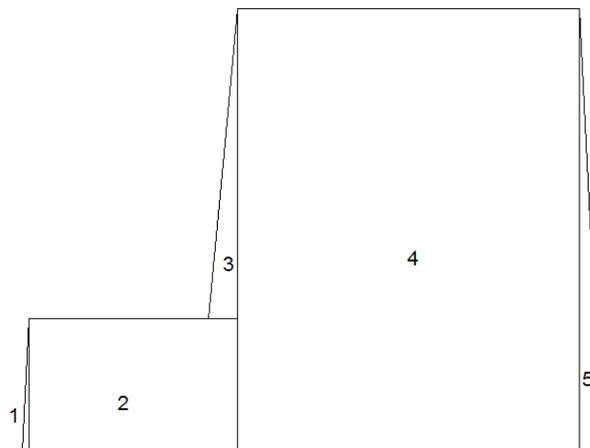
Una vez determinado las reglas del controlador para los casos específicos se realiza las operaciones con conjuntos difusos dando como resultado el siguiente gráfico que se ve en la Ilustración 65.



**Ilustración 65:** Diagrama de tiempo para determinar el centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo

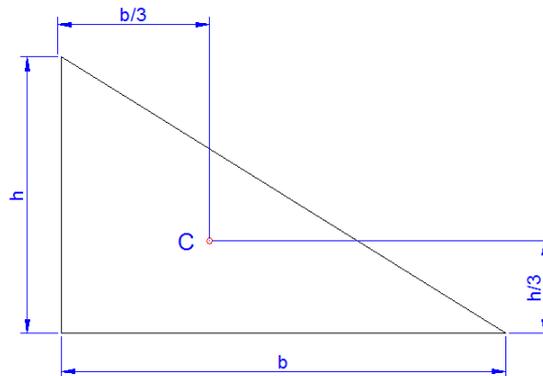
### Cálculo de Centroides

Para el cálculo de la centroides se divide a la figura que se muestra en la Ilustración 66 en cuatro partes encontrando el centro de cada figura así como el área de la misma.



**Ilustración 66:** Diagrama para determinar el centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Triángulo:**



**Ilustración 67:** Diagrama para cálculo de centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo

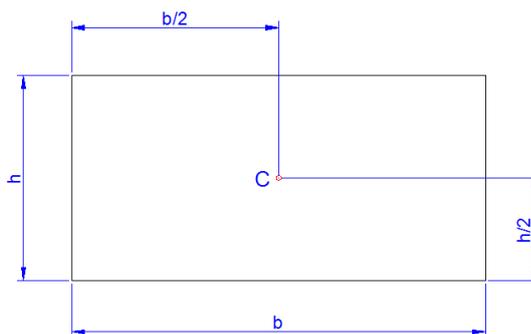
**Dónde:**

$h$  = Altura del triángulo

$b$  = Base del triángulo

$C$  = Centroides del triángulo

**Rectángulo:**



**Ilustración 68:** Diagrama para cálculo de centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Dónde:**

$h$  = Altura del rectángulo

$b$  = Base del rectángulo

C = Centroide del rectángulo

**Tabla 27:** Cálculo de Centroides y Áreas  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Figura	Centroide (x)	Área
1	3,33834	0,0012209
2	3,8905	0,075418
3	4,566	0,012075
4	5,4995	0,40828
5	6,42333	0,01326

$$Salida = \frac{\mu_1 * Sg_1 + \mu_2 * Sg_2}{\mu_1 + \mu_2}$$

**Ec. (11)**

**Datos:**

$$\mu_1 = 0,1961$$

$$\mu_2 = 0,25$$

$$Sg_1 = 3$$

$$Sg_2 = 9$$

$$S = \frac{0,230769(6) + 0,230769(6) + 0,069767(4)}{0,230769 + 0,230769 + 0,069767}$$

$$S = 5,3028 \text{ seg}$$

**Ec. (11)**

**Caso Dos:**

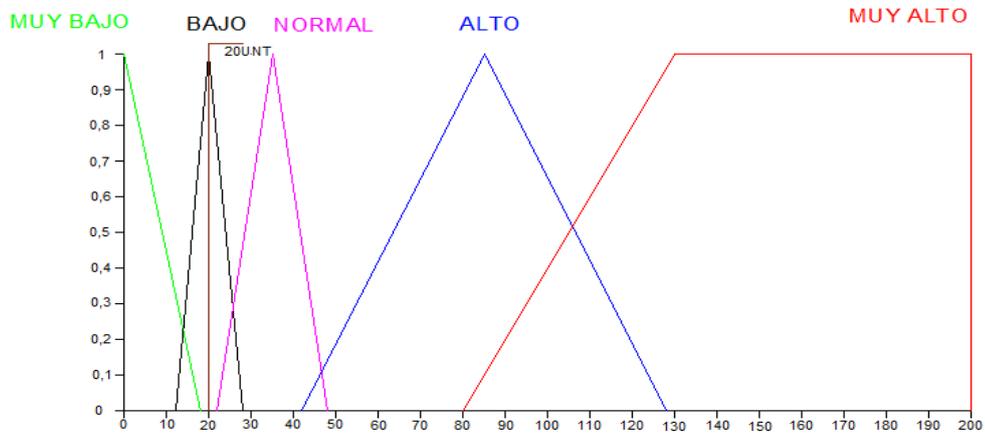
Los datos para el caso dos son:

Turbiedad: 20 UNT y Caudal: 220 lt/s

Se realiza el mismo procedimiento que se realizó para el primer caso, en la Ilustración 69 se muestra el conjunto difuso para la variable turbiedad.

**Turbiedad:**

Bajo:



**Ilustración 69:** Rectas a ser analizados  
**Elaborado por:** Israel Araujo

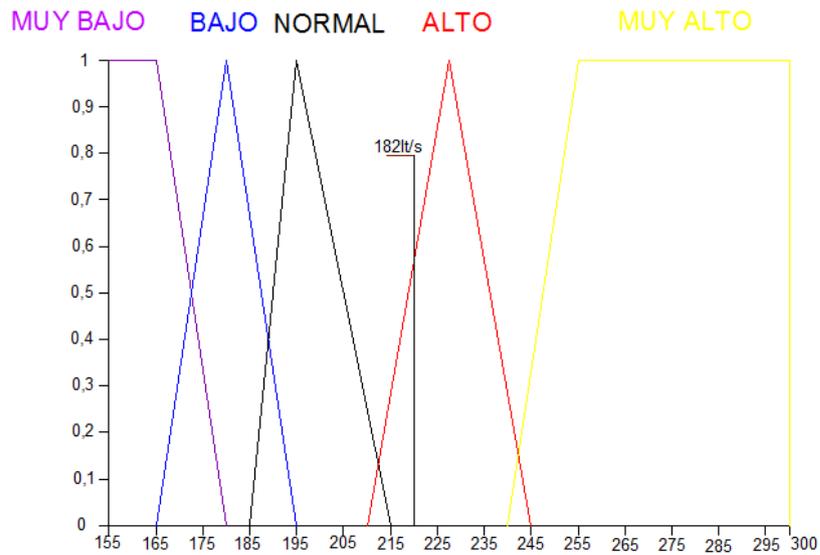
En la primera recta se puede notar que se trata de una constante, la ecuación que la representa es:

$$y_1 = 1$$

**Ec. (12)**

**Caudal:**

Para el valor de 220 lt/s la ecuación a analizar es la que coincide con la membrecía alto, como se ve en la Ilustración 70.



**Ilustración 70:** Rectas a ser analizadas  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Alto:** Para el análisis en la membrecía “Alto” del conjunto difuso caudal se realiza el mismo proceso anteriormente descrito.

$$m1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

**Ec. (13)**

**Datos:**

$$x1 = 210$$

$$y1 = 0$$

$$x2 = 227,5$$

$$y2 = 1$$

$$m1 = \frac{1 - 0}{227,5 - 210}$$

$$m1 = \frac{2}{35}$$

**Ec. (13)**

$$y - y_1 = m_1(x - x_1)$$

**Ec. (14)**

La pendiente de la recta Y2 de la membrecía Normal es 2/35, con este valor se determina la ecuación de la recta.

$$y - 0 = \frac{2}{35}(x - 210)$$

$$y = \frac{2}{35}x - 12$$

**Ec. (14)**

Para una Turbiedad de 20 UNT y reemplazando este valor en Ec. (12) se obtiene:

$$y_1 = 1$$

**Ec. (15)**

Para un caudal de 220 lt/s y reemplazando en Ec. (14) se obtiene:

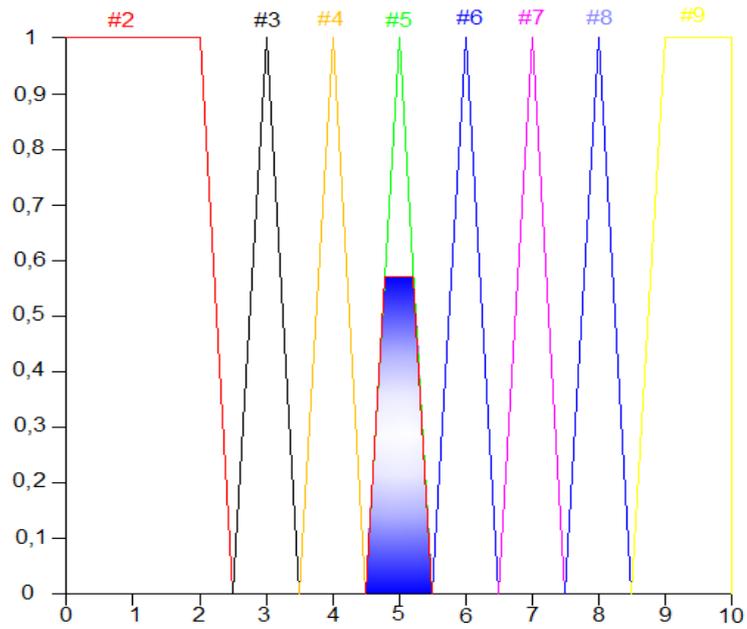
$$y_2 = \frac{2}{35}(220) - 12$$

$$y_2 = 0,571429$$

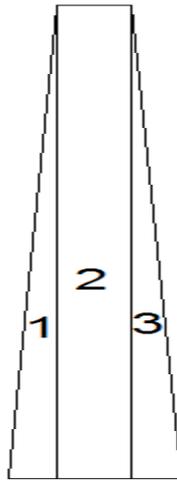
**Ec. (16)**

Al evaluar estos valores, se activan las siguientes reglas del sistema:

1. Turbiedad = Bajo y Caudal = Alto, entonces Tiempo = #5; se activa con 0,5714



**Ilustración 71:** Diagrama de tiempo para determinar el centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo



**Ilustración 72:** Diagrama para determinar el centroides  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Tabla 28:** Cálculo de Centroides y Áreas  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Figura	Centroide(x)	Área
1	4,6907	0,0817
2	5,0005	0,24514
3	5,3093	0,0817

$$Salida = \frac{\mu_1 * Sg_1 + \mu_2 * Sg_2}{\mu_1 + \mu_2}$$

**Ec. (17)**

**Datos:**

$$\mu_1=0,571429$$

$$\mu_2=0,571429$$

$$Sg_1 =4$$

$$Sg_2 =6$$

$$S = \frac{0,571429(5)}{0,571429}$$

$$S = 5seg$$

**Ec. (17)**

**Verificación mediante el simulador**

Para verificar si el controlador cumple con las características requeridas se realiza la simulación y se cerciora que los tiempos obtenidos concuerden con los tiempos de dosificado de polímero.

Para esta verificación se da click en Test System, en Input variable, ingresando correctamente Turbiedad y Caudal, en Output variable constatando que esté la variable Tiempo.

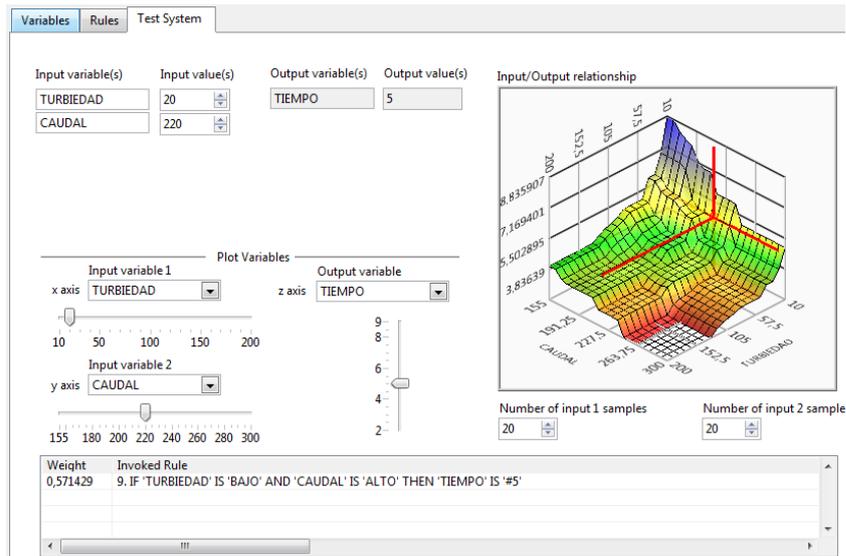
Con estas pequeñas modificaciones se varía los valores de las entradas obteniendo un valor de salida que debe ser semejante a los valores de tiempo que se utiliza en la planta para el dosificado.

La verificación se realiza de la siguiente manera:

**Caso Uno:**

Para la verificación mediante el controlador en Labview se modifica los valores deseados en la pestaña Input values (s), para este caso se procede a seleccionar





**Ilustración 74:** Análisis mediante el software para el caso uno  
**Elaborado por:** Israel Araujo

El porcentaje de error entre los dos valores obtenidos se calcula utilizando la siguiente expresión matemática, los resultados se detallan en la Tabla 28.

$$\%e = \frac{Ve - Va}{Va} \times 100\%$$

**Ec. (18)**

**Dónde:**

**Ve =**

**Va =**

**Datos:**

**Ve = 6,65378**

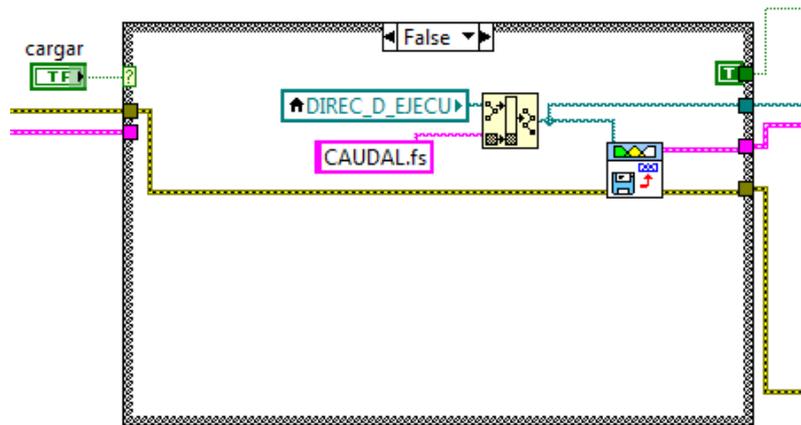
**Va = 6,4495**

**Tabla 29:** Comparación entre análisis matemático y el controlador  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Caso	Análisis Matemático	Controlador	%Error
1	6,4495	6,65378	3,17%
2	5	5	0%

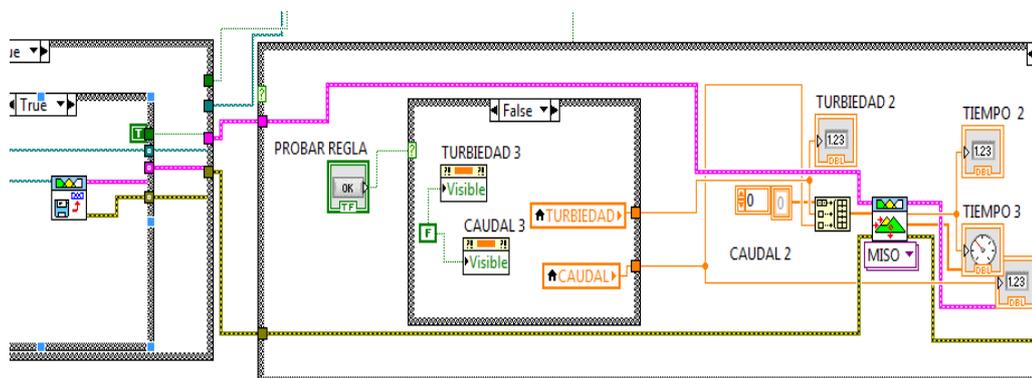
Una vez realizado el proceso el simulador genera un archivo con extensión .fs el que será utilizado en el diagrama de bloque y proporciona los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del controlador.

Mediante la función Load Fuzzy System se carga el archivo del controlador mediante un path dinámico donde se asigna la dirección de ubicación del archivo difuso como se puede observar en la Ilustración 75.



**Ilustración 75 :** Código para cargar el controlador caudal.fs  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Luego de cargar el archivo del controlador se procede a adquirir su valor de salida utilizando el Ni\_Fuzzy\_Logic\_API, seleccionando la opción MISO (múltiple entrada, simple salida), como se muestra en la Ilustración 76.

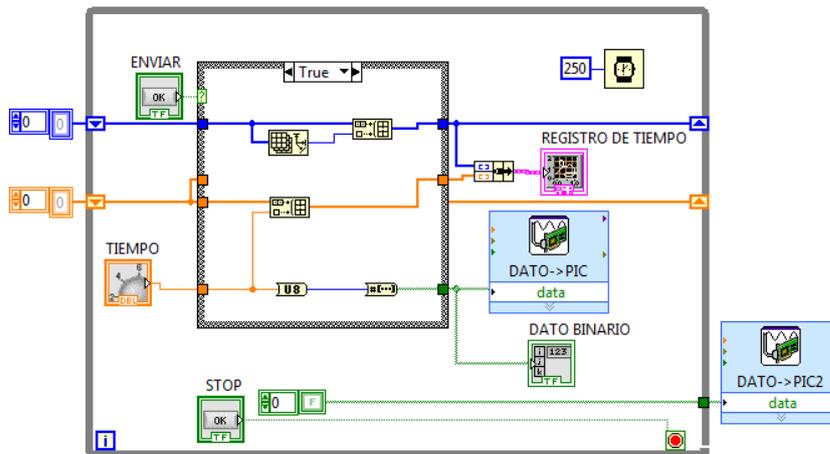


**Ilustración 76:** Adquisición del valor de salida del controlador  
**Elaborado por:** Israel Araujo

#### 4. Envió de datos al actuador

Para establecer comunicación entre el controlador y el actuador (electroválvula) se genera una señal de control que es enviada hacia la electroválvula a través de la NI myDAQ.

Para simular el envío de datos por bloque se coloca un tiempo al azar, codificando a binario y se envía a la NI myDAQ, simultáneamente podremos registrar los eventos y visualizar en una gráfica.



**Ilustración 77:** Código para el envío de la señal de control  
**Elaborado por:** Israel Araujo

La señal de control se genera a través todo el puerto digital de salida mediante esa señal se trasmite bit a bit el tiempo óptimo de dosificado para una muestra de 500mmlt.

En la Ilustración 77 se detalla la subrutina para envío de datos hacia la electroválvula.

En el **Anexo 5:** Plano Hidráulico, se detalla la conexión hidráulica y eléctrica de la electroválvula.

#### 6.7.5Diseño de la Interfaz (HMI)

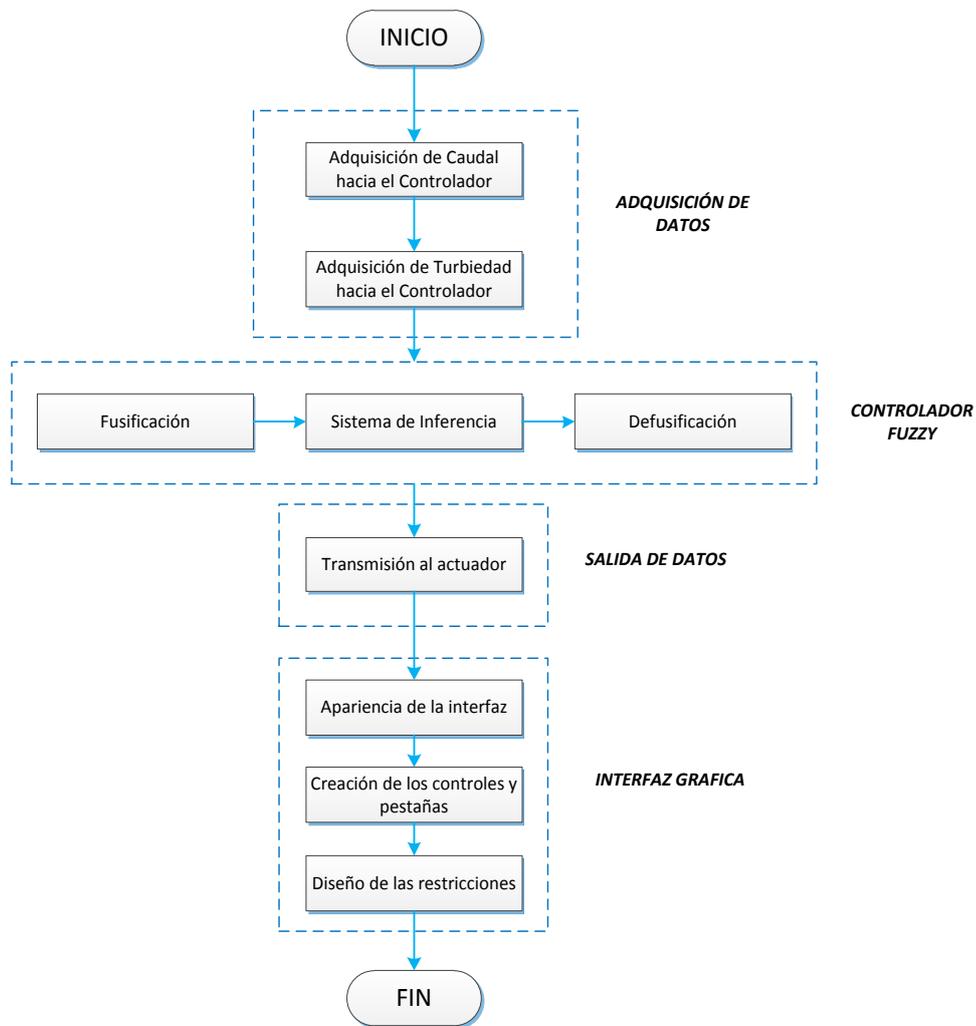
HMI es un interfaz máquina - humano, que simula del proceso en tiempo real, lo que facilita la interacción entre proceso y operador, permitiendo tener un histórico de datos, alarmas, visualización y control de actuadores entre otros.

Para la realización del HMI los valores de caudal y turbiedad, que fueron enlazados entre los equipos y la PC.

Las variables se acondicionan y se les da una apariencia de tal manera que cumpla las siguientes características:

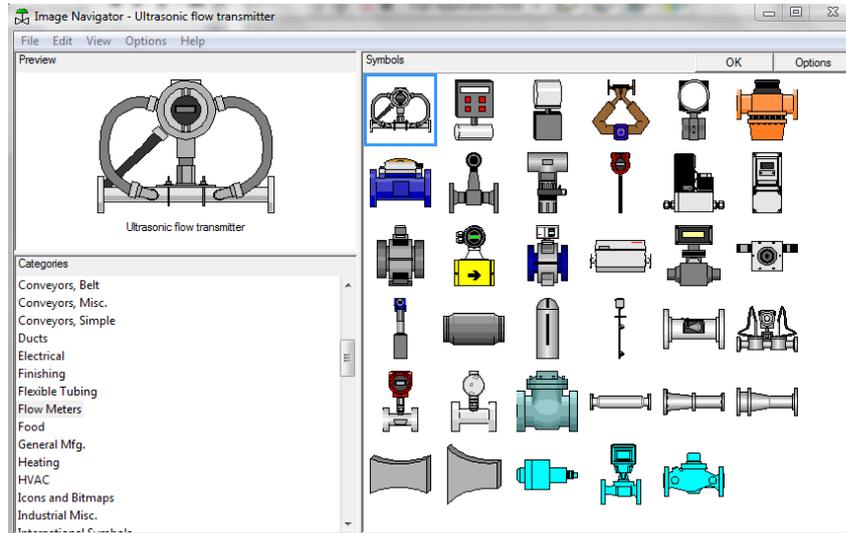
- ✓ Rendimiento
- ✓ Facilidad de uso
- ✓ Estética

En la Ilustración 78 se observa el flujograma de como es el proceso de diseño del interfaz (HMI)



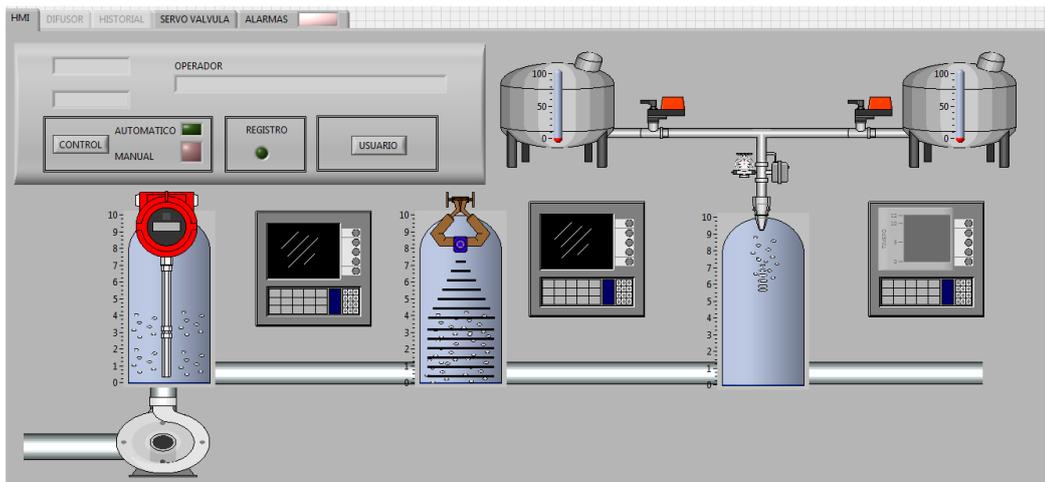
**Ilustración 78:** Flujograma del HMI  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Labview cuenta con DSC Module lo que permite mejorar la apariencia del controlador y lograr que adquiera la apariencia del proceso que se desea controlar, en la Ilustración 79 se ve algunos de los recursos que dispone DSC Module.



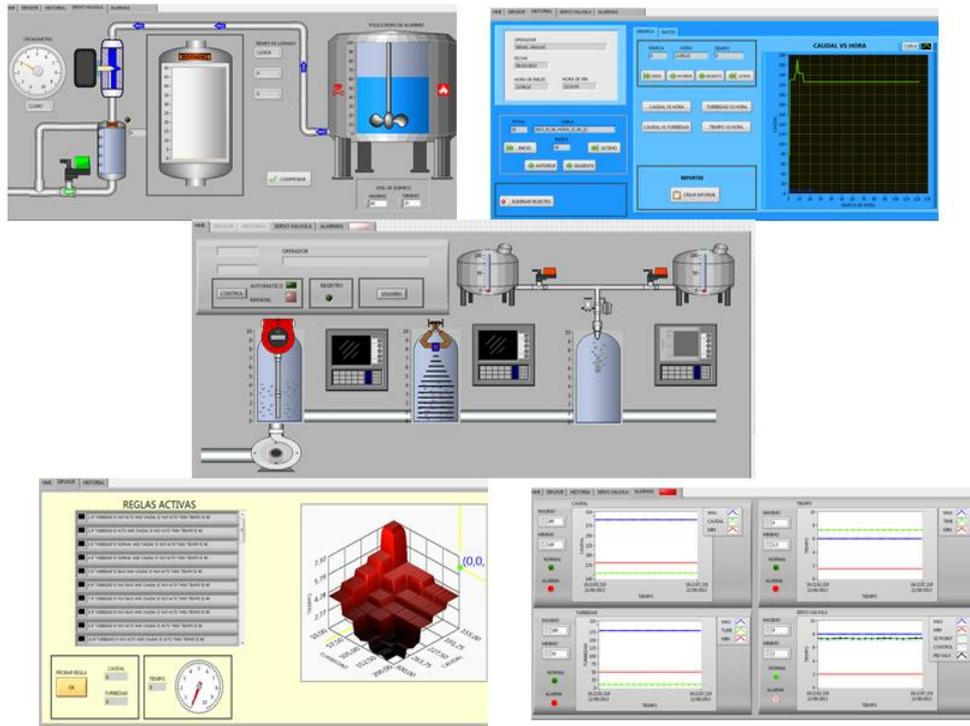
**Ilustración 79:** Graficas para sistemas HMI  
**Fuente:** National Instruments (Labview 2012)

Considerando los aspectos se diseñó los controles obteniendo la interfaz expuesta en la Ilustración 80.



**Ilustración 80:** Pantalla principal del controlador  
**Elaborado por:** Israel Araujo

La interfaz dispone de 5 pestañas, cada pestaña cumple con diferentes funciones específicas, que permiten al usuario interactuar con el controlador, como se ve en la Ilustración 81.



**Ilustración 81: Pantallas del controlador**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

### 6.7.6 Funcionamiento de la Interfaz del Controlador

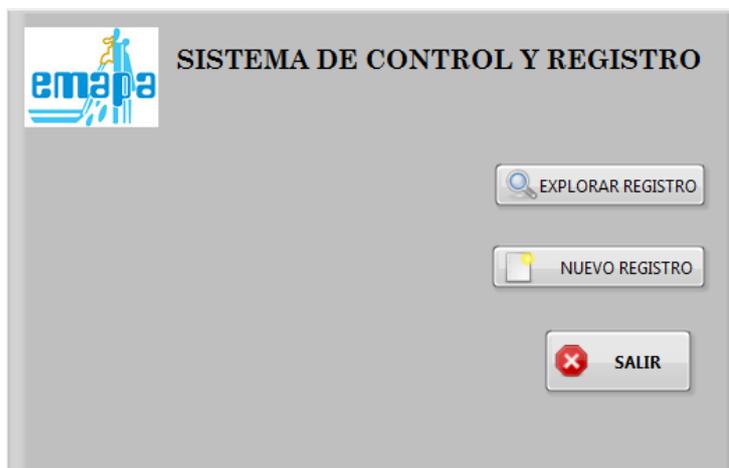
El funcionamiento del controlador, las pestañas de la Interfaz HMI, los pasos para acceder a cada uno de ellos se detalla de mejor manera en el **Anexo 19: Manual de usuario**.

La interfaz gráfica del controlador, dispone de una base de datos creada en Access, registrando identificaciones personales y proporcionando una clave a cada uno de los operarios de la Planta, para que accedan al controlador.

NOMBRES	APELLIDOS	NOM_USU_REC_SIST	CONT_USU_REC_SIST	FRASE CLAV
PAUL	VASCONEZ	JESUS	2416120	TELEFONO
SEBASTIAN	SANCHEZ	SEBASTIAN	1111	1111
DANIEL	JIMENEZ	DANIEL	1234	
DIEGO MATIAS	ALMEIDA FIALLOS	DIEGO	2585300	TELEFONO CAS
ISRAEL	ARAUJO	ISRAEL	1234	

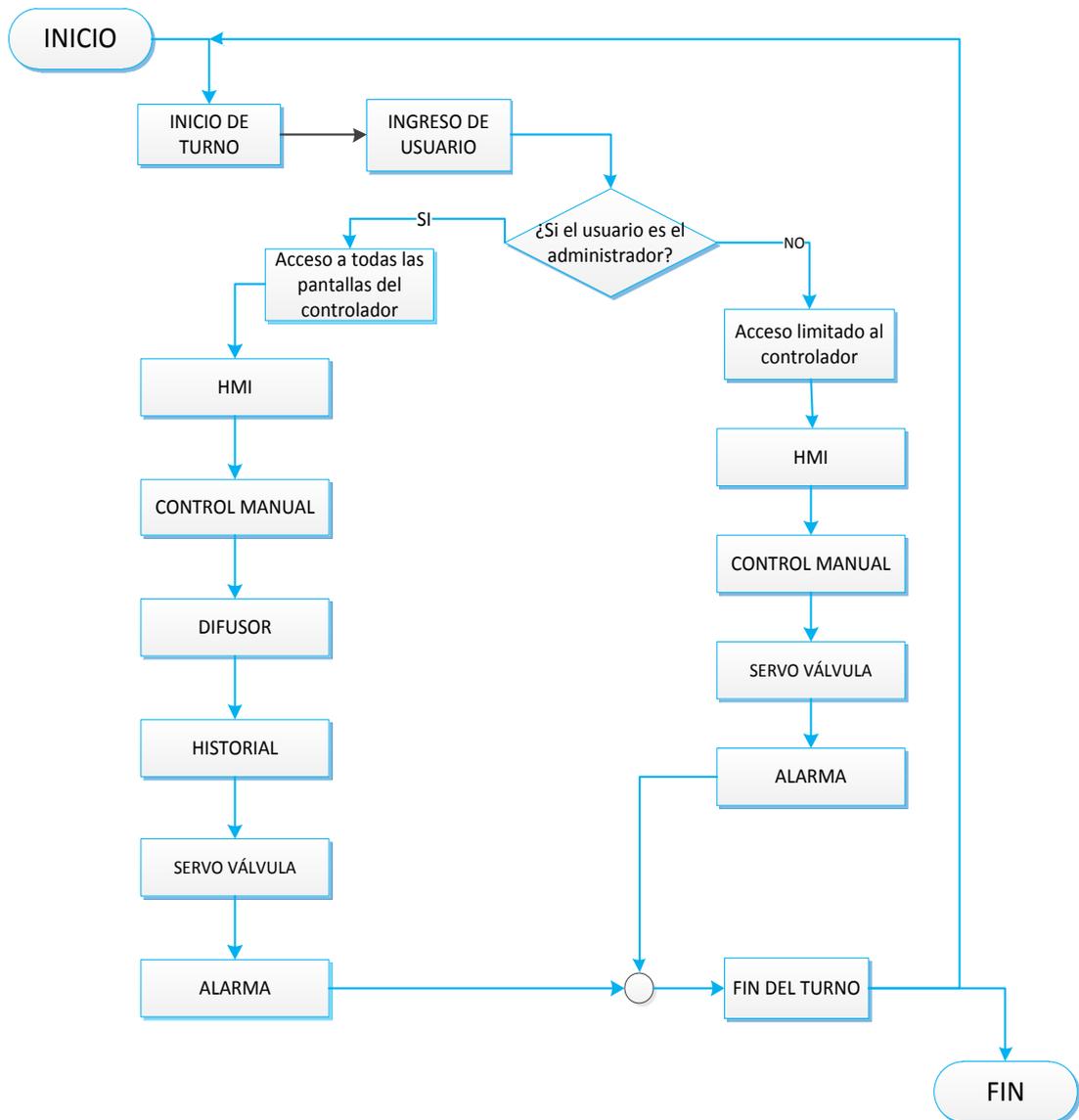
**Ilustración 82:** Registro en Access  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Directamente desde el controlador se realizó el registro de los operarios, para esto ingresando a opciones especiales, siendo una operación que la puede realizar únicamente el administrador, la interfaz se la aprecia en la Ilustración 83.



**Ilustración 83:** Registro de operadores.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

En la siguiente Ilustración 84 se observa el flujograma que se encuentra permisos y restricciones disponibles a los operadores sobre el controlador difuso.



**Ilustración 84:** Funcionamiento del controlador  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Usuario

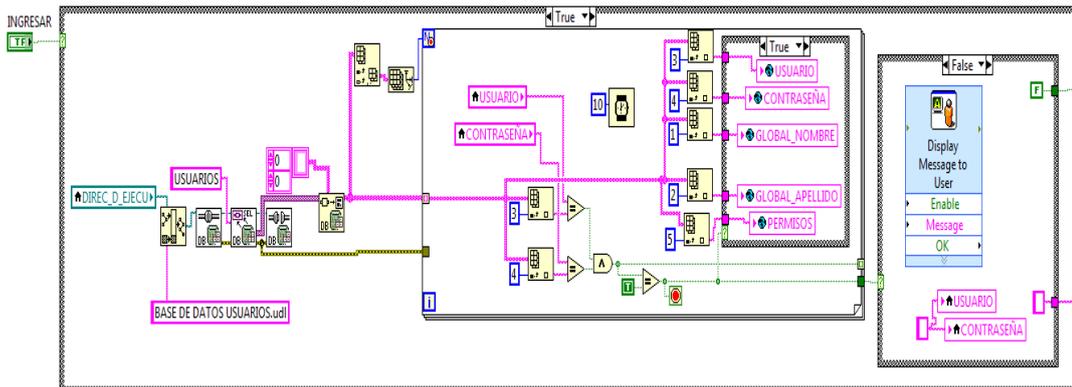
La opción usuario en el controlador permite el ingreso del operador al controlador como se ve en la Ilustración 85, esta operación se la realizará en los cambios de turno.

Cabe destacar que el operador tiene la capacidad de realizar cierto tipo de control y monitoreo, mientras que el administrador tiene acceso a todos los paneles del controlador, realizar cambios, ajustes, entre otros.



**Ilustración 85:** Sistema de Registro  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Para la base de datos “Usuario” se carga automáticamente al iniciar la aplicación, para “n” usuarios se crea un tamaño el cual sirve como índice para buscar Usuarios y Contraseñas, si la comparación es verdadera detendrá la búsqueda y cargando los registros asociados al usuario caso contrario si la comparación es falsa emitirá un aviso, en la Ilustración 86 se detalla el código para el sistema de registro.



**Ilustración 86:** Código para el sistema de registro  
**Elaborado por:** Israel Araujo

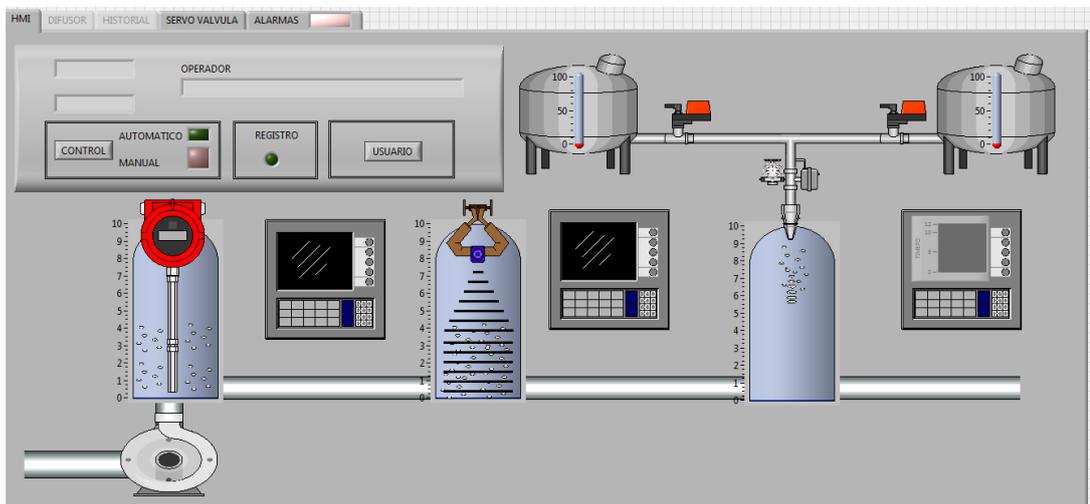
## HMI

Es la pantalla principal del controlador donde se accede después de haber ingresado al sistema, observando el proceso de dosificado en forma gráfica, visualizando los valores de turbiedad, caudal y el tiempo para la dosificación. Por defecto el controlador se encontrará funcionando en modo automático.

En la opción automática el controlador dosifica de acuerdo a las reglas difusas, que han sido anteriormente diseñadas. La interfaz gráfica se detalla en la Ilustración 87.

Los elementos que intervienen en el control automático son:

- Medidor de caudal (*lt/s*)
- Medidor de turbiedad (UNT)
- Indicador de dosificado: muestra el tiempo a realizar.
- Electroválvula.



**Ilustración 87: HMI**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

## **Control Manual**

Cuando el controlador entra en la función manual, el operador tiene la potestad de modificar a su conveniencia el tiempo de dosificado.

La función manual se ha establecido en base al siguiente criterio: en determinadas épocas del año el agua cruda llega con ciertas condiciones que los equipos no pueden detectar y el operador debe dosificar en base a su criterio y experiencia.

El control manual dispone de los siguientes elementos:

- Selector de tiempo para dosificar.
- Electroválvula
- Medidor de caudal (*lt/s*)
- Medidor de turbiedad (UNT)

## **Historial**

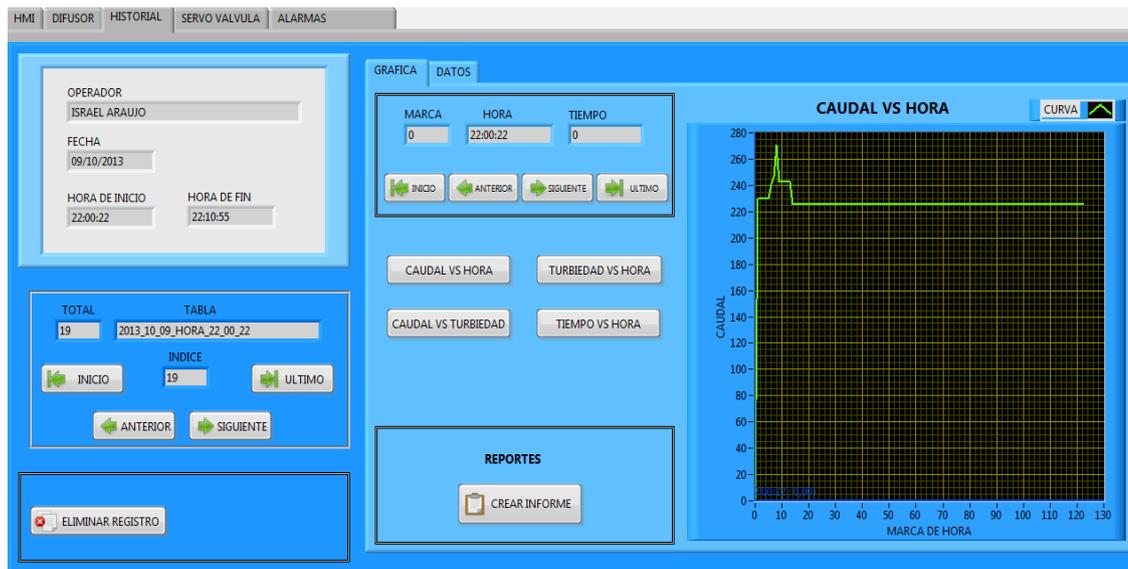
En este panel visualiza un histórico de datos de las mediciones de sensores, tiempo de dosificado y el operador a cargo del proceso en ese instante, estos datos se visualizan en el panel y se guardan en Access automáticamente actualizando cada que se ingrese otro operario al sistema.

Los datos son restringidos para los operadores, solo el administrador del sistema podrá acceder a estos, y realizar las acciones pertinentes.

Los datos son visualizados de forma gráfica y tabulados en tablas, el administrador podrá imprimir los datos registrados en el controlador.

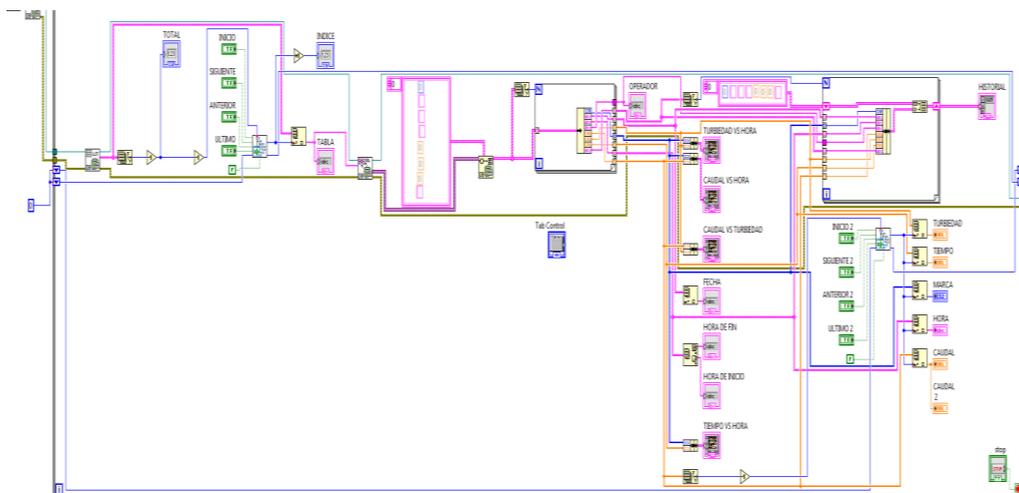
La Planta del Casigana utiliza estos datos para realizar estudios físico químicos, y realizar ajustes a los tiempos de dosificado.

El diseño gráfico para el sistema de datos históricos se observa en la Ilustración 88.



**Ilustración 88:** Historial de datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

La base de datos creara un registro del estado cada cierto tiempo del cual se rescata cierta información: hora, cambios de caudal y turbiedad y la actividad de la servo válvula y esto se indicara en un histórico de datos, el código que resulta se observa en la Ilustración 89.



**Ilustración 89:** Código para el registró de datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

El histórico se presenta en formato Word, en el **Anexo18: Reporte General** se encuentra el reporte completo que nos entrega el controlador, en el que realizará un estudio estadístico, determinando: media, datos críticos, esto ayudará a realizar los correctivos necesarios al controlador difuso del dosificado.

En la Tabla 30 y en la Ilustración 90 se presenta los valores obtenidos de cada una de las variables analizadas en el controlador.

**Tabla 30:** Comparación entre análisis matemático y el controlador  
**Elaborado por:** Israel Araujo

#	FECHA	HORA	OPERADOR	CAUDAL	TURBIEDAD	TIEMPO	CONTROL
0	02/10/2013	22:51:06	ISRAEL ARAUJO	226,305	67,542	3,500	AUTOMÁTICO
1	02/10/2013	22:51:11	ISRAEL ARAUJO	226,305	67,542	3,500	AUTOMÁTICO
2	02/10/2013	22:51:16	ISRAEL ARAUJO	215,068	67,542	3,503	AUTOMÁTICO
3	02/10/2013	22:51:21	ISRAEL ARAUJO	215,068	55,858	3,503	AUTOMÁTICO
4	02/10/2013	22:51:26	ISRAEL ARAUJO	206,015	55,858	4,503	AUTOMÁTICO
5	02/10/2013	22:51:33	ISRAEL ARAUJO	206,015	34,486	5,497	AUTOMÁTICO
6	02/10/2013	22:51:38	ISRAEL ARAUJO	206,015	51,628	4,499	AUTOMÁTICO
7	02/10/2013	22:51:43	ISRAEL ARAUJO	219,962	51,628	3,498	AUTOMÁTICO
8	02/10/2013	22:51:48	ISRAEL ARAUJO	234,916	51,628	3,498	AUTOMÁTICO
9	02/10/2013	22:51:53	ISRAEL ARAUJO	234,916	69,091	3,499	AUTOMÁTICO
10	02/10/2013	22:51:58	ISRAEL ARAUJO	246,674	90,610	3,001	AUTOMÁTICO
11	02/10/2013	22:52:03	ISRAEL ARAUJO	262,359	58,320	3,004	AUTOMÁTICO
12	02/10/2013	22:52:08	ISRAEL ARAUJO	262,359	58,320	3,000	AUTOMÁTICO
13	02/10/2013	22:52:14	ISRAEL ARAUJO	273,639	44,036	4,503	AUTOMÁTICO



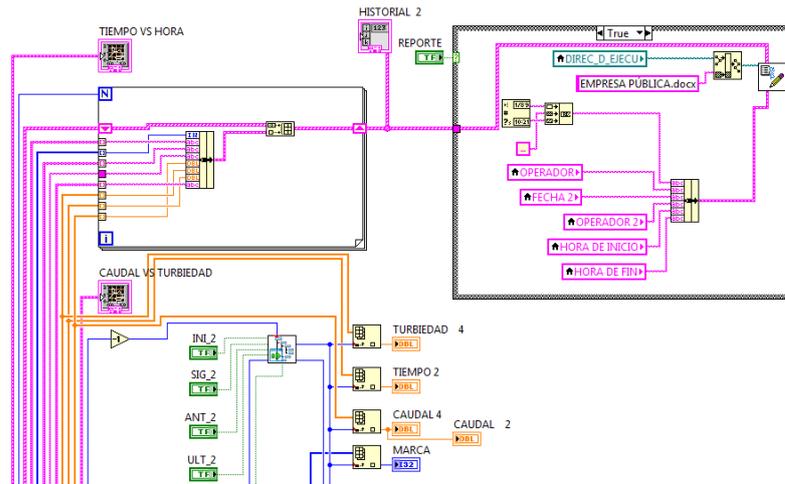
**REPORTE GENERAL**

Fecha de emisión:	09/10/2013 22:12
Elaborado por:	ISRAEL ARAUJO
Fecha del reporte:	09/10/2013
Responsable a cargo en la toma de datos:	ISRAEL ARAUJO
Horario de inicio:	22:00:22
Horario de fin:	22:12:07

**HISTÓRICO**

#	FECHA	HORA	OPERADOR	CAUDAL	TURBIEDAD	TIEMPO	CONTROL
0	09/10/2013	22:00:22	ISRAEL ARAUJO	0,000	0,000	0,000	AUTOMÁTICO
1	09/10/2013	22:00:28	ISRAEL ARAUJO	229,568	125,356	4,998	AUTOMÁTICO
2	09/10/2013	22:00:34	ISRAEL ARAUJO	229,568	125,356	2,994	AUTOMÁTICO
3	09/10/2013	22:00:39	ISRAEL ARAUJO	229,568	125,356	2,994	AUTOMÁTICO
4	09/10/2013	22:00:45	ISRAEL ARAUJO	229,568	125,356	2,994	AUTOMÁTICO
5	09/10/2013	22:00:50	ISRAEL ARAUJO	229,568	125,356	2,994	AUTOMÁTICO
6	09/10/2013	22:00:55	ISRAEL ARAUJO	240,491	156,716	2,744	AUTOMÁTICO
7	09/10/2013	22:01:00	ISRAEL ARAUJO	246,153	167,195	1,918	AUTOMÁTICO
8	09/10/2013	22:01:05	ISRAEL ARAUJO	270,752	122,336	1,807	AUTOMÁTICO
9	09/10/2013	22:01:11	ISRAEL ARAUJO	242,507	105,879	3,024	AUTOMÁTICO
10	09/10/2013	22:01:16	ISRAEL ARAUJO	242,507	105,879	0,000	MANUAL
11	09/10/2013	22:01:22	ISRAEL ARAUJO	242,507	125,446	8,000	MANUAL
12	09/10/2013	22:01:27	ISRAEL ARAUJO	242,507	125,446	5,000	MANUAL

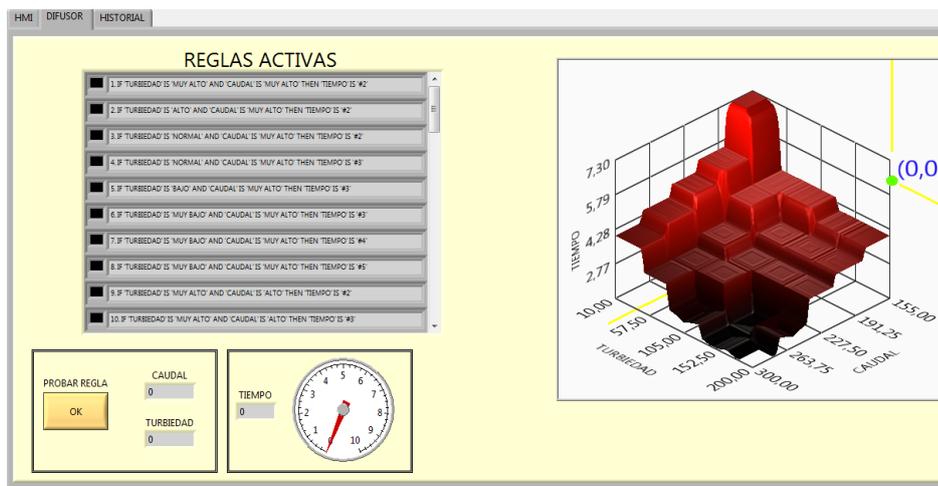
**Ilustración 90:** Plantilla reporte de Datos  
**Elaborado por:** Israel Araujo



**Ilustración 91: Código para crear el reporte**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

### Difusor

Otra pestaña dentro del controlador se denomina difusor, se realiza el monitoreo de las reglas que se encuentran en uso, para ver si están de acorde con los tiempos establecidos por la empresa para el dosificado, caso contrario realizar los ajustes necesarios para su normal funcionamiento, esta operación la puede visualizar y modificar solo el administrador, la representación gráfica del panel se visualiza en la Ilustración 92.



**Ilustración 92: Difusor**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

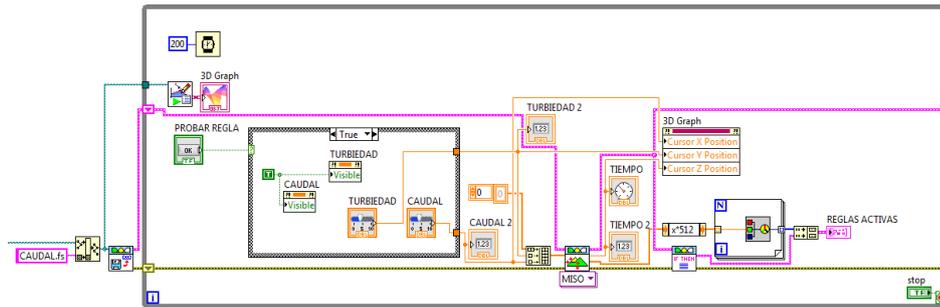


Ilustración 93: Código del difusor  
Elaborado por: Israel Araujo

## Servo Válvula

La pestaña servo válvula permite realizar la verificación del tiempo, cabe resaltar que este procedimiento los operadores realizan continuamente, el mismo que consiste en colocar un recipiente de 500 ml en la válvula del dosificado y verificar el tiempo con la ayuda de un cronometro, los 500 ml se debe llenar en el tiempo establecido de acuerdo al caudal y turbiedad en ese instante.

El control servo válvula permitirá realizar este proceso de una forma más confiable y amigable, el proceso inicia en el instante que el operador introduzca el recipiente de 500 ml debajo de una de las electroválvula y presione la opción **comprobar** dentro del controlador, la interfaz gráfica se puede ver en la Ilustración 94.

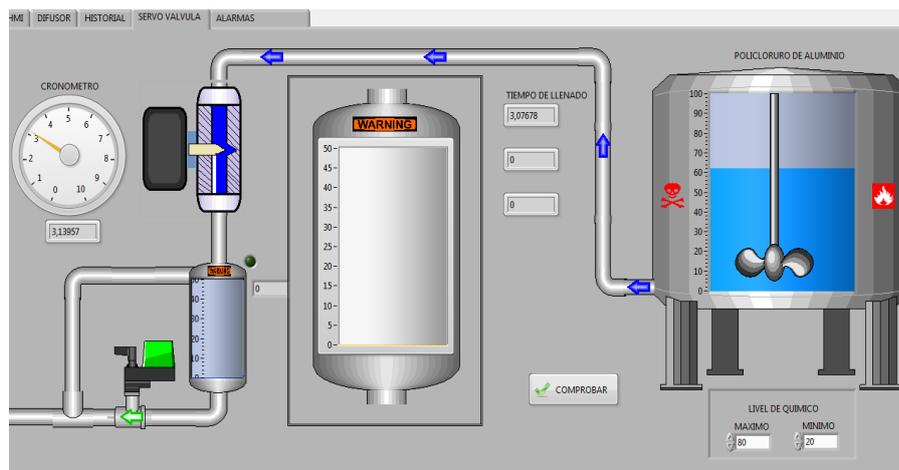
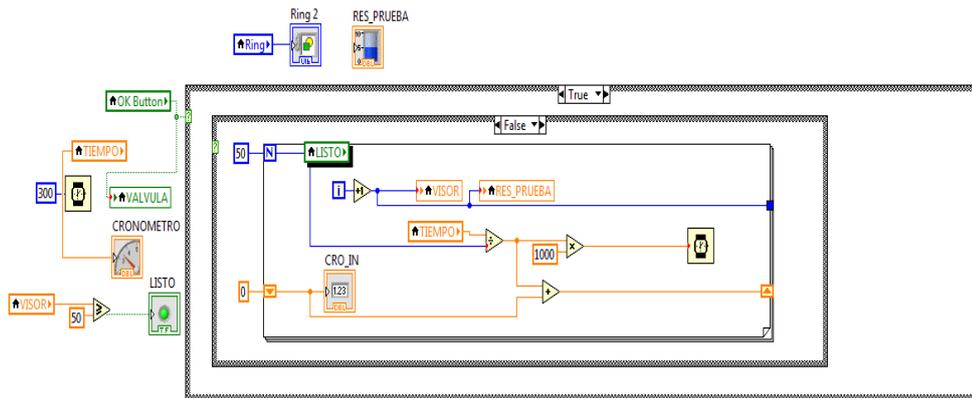


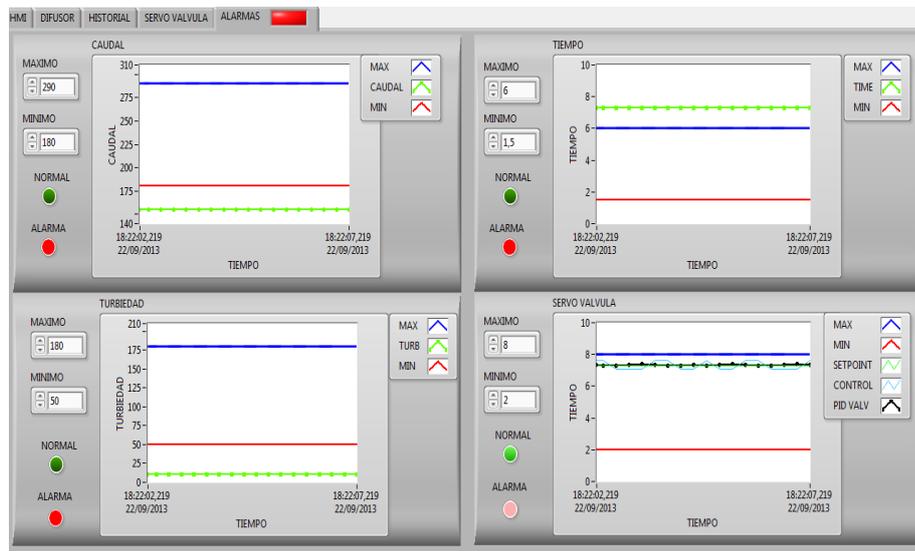
Ilustración 94: Servo Válvula  
Elaborado por: Israel Araujo



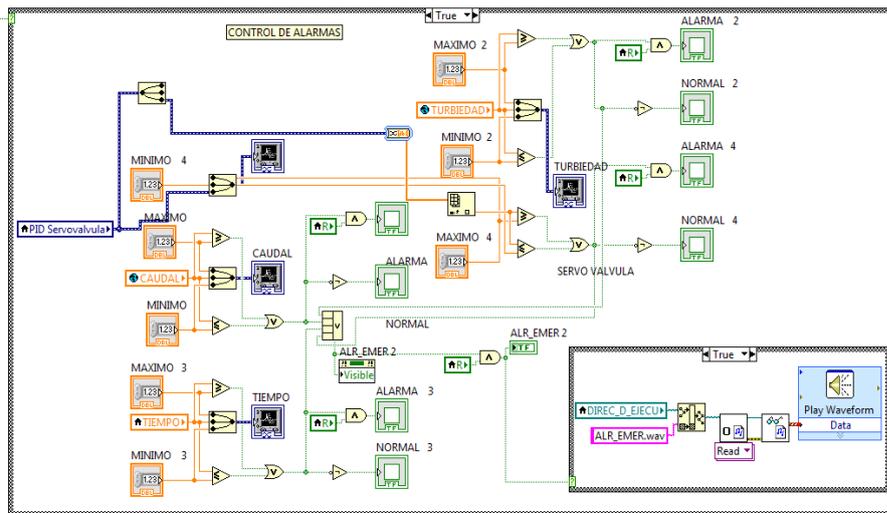
**Ilustración 95: Código para servo válvula**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

## Alarma

En la pantalla se observa las variables que se encuentran conectadas al controlador y si alguna de ellas ha sufrido algún deterioro, es decir si sus niveles de funcionamiento no son los apropiados, en ese instante el controlador accionará una alarma sonora con el fin de alertar a los operadores y poder tomar las medidas correctivas, la interfaz gráfica para esta pestaña se observa en la Ilustración 96.



**Ilustración 96: Alarma**  
**Elaborado por: Israel Araujo**

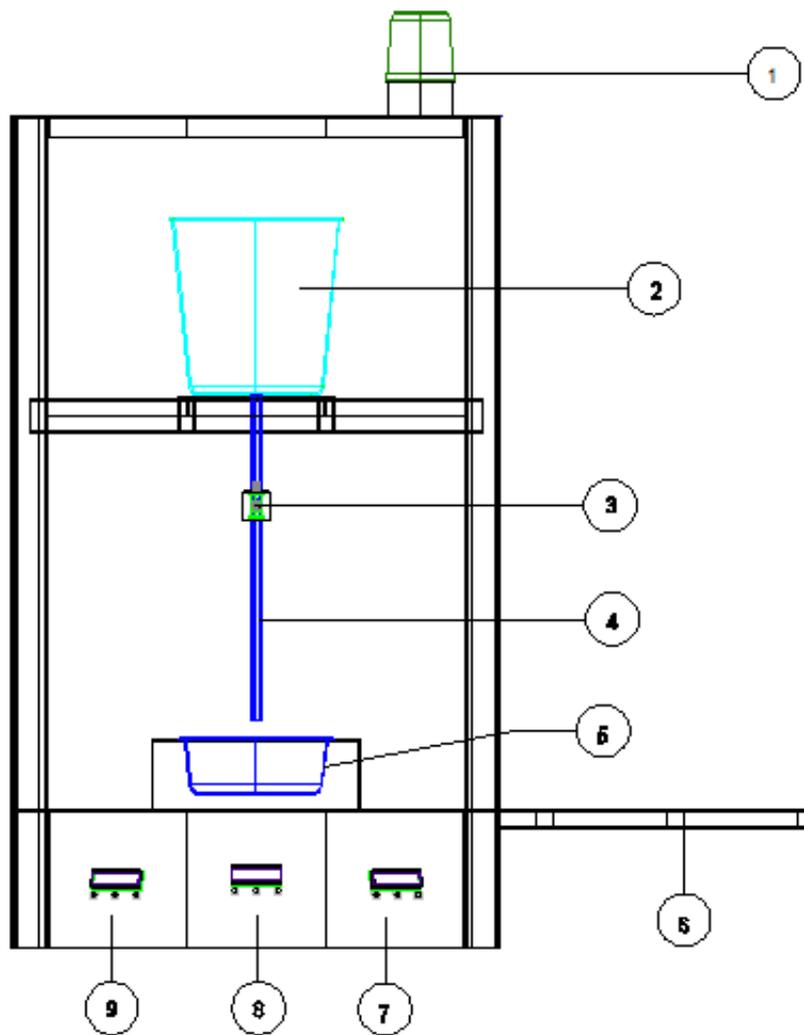


**Ilustración 97:** Código para ejecución de la pestaña Alarma  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Módulo de Pruebas del Controlador Difuso para el Proceso de Dosificado

Para realizar las pruebas del controlador, teniendo en cuenta no se dispone a tiempo completo con los equipos de la planta de tratamiento del Casigana, para hacer las pruebas y ajustes necesarios del controlador difuso, se realizaron circuitos de control que enviarán datos, los que simulan los controladores y el tipo de protocolo de cada medidor con los que cuenta la planta de tratamiento, además de la estructura física del módulo que se encuentra realiza para albergar los diferentes sensores, medidores, tarjetas de control, actuadores entre otros, los planos del módulo se detallan en los **Anexo 6:** Modulo de Pruebas.

El módulo dispone de los siguientes elementos que se ve en la Ilustración 98, los cuales se hallan conectados entre sí, el diagrama de conexión se detalla en el **Anexo 14:** Conexión entre las tarjetas y la PC.



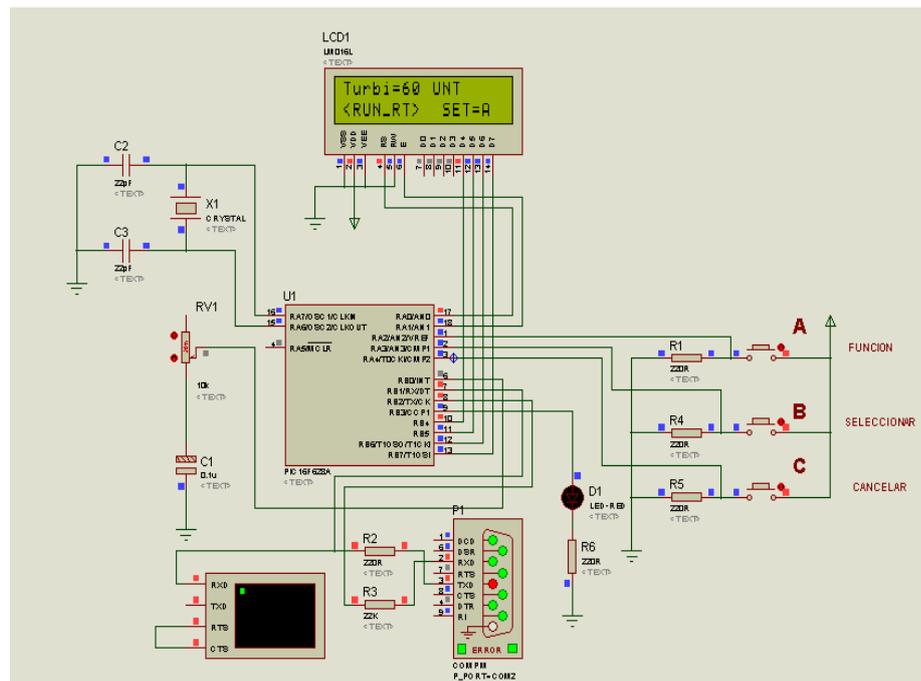
**Ilustración 98:** Elementos del módulo de pruebas  
**Elaborado por:** Israel Araujo

- 1.- Alarma visual
- 2.- Recipiente (tanques de almacenamiento de polímero)
- 3.- Servo Válvula (encargada de dosificar)
- 4.- Ductos de transportación del polímero.
- 5.- Recipiente (Destino final del polímero)
- 6.- Computador
- 7.- Medidor de Turbiedad
- 8.- Verificador del parámetro de tiempo
- 9.- Medidor de Caudal



## Simulador del controlador de Turbiedad:

El diseño del controlador de turbiedad dispone de una comunicación similar al medidor de turbiedad sc100, lo que permite la verificación del controlador, en diagrama se detalla en la Ilustración 100, y en el **Anexo 9: Simulador de medidor de turbiedad**, se observa el diagrama de bloques.



**Ilustración 100:** Diseño del controlador de turbiedad.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

El diseño de la tarjeta cuenta con pulsadores los que se encargan de configurar los parámetros para la comunicación entre la tarjeta y el controlador difuso desarrollado en Labview, los datos se envía de forma aleatoria automáticamente, dispone de un potenciómetro que se encarga de variar los valores que se envían en forma manual.

El diagrama esquemático es se muestra en el **Anexo 10: Diagrama esquemático de la tarjeta de control para la simulación del medidor de turbiedad**.

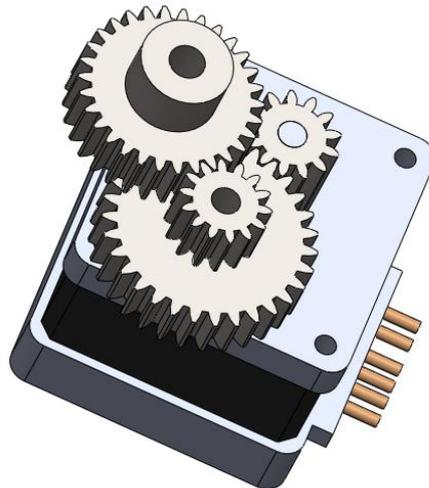
## Sistema de alarma

El módulo de pruebas cuenta con un sistema de alarma que se activa cuando los parámetros de simulación tanto de caudal como de turbiedad o el tiempo de dosificado no se encuentran en los niveles idóneos, en el **Anexo 11:** Diagrama de bloque para la conexión de la sirena.

## Simulador de la Servo válvula:

Para poder realizar el dosificado es necesario contar con una electroválvula regulable, y al no contar con la misma para las pruebas de funcionamiento se realizó un servo válvula, el diagrama de bloques de la tarjeta de control y el servo válvula se muestra en el **Anexo 12:** Conexión entre la Tarjeta y la electroválvula.

Para la adecuación de la misma se cuenta con varios factores para el diseño y acondicionamiento de dicho sistema, el controlador entrega un dato de tiempo el cual debe ser transformado a pulsos, procediendo a realizar el siguiente análisis, en la Ilustración 101 y la Tabla 31 se observa el motor a utilizar para la servo válvula y sus características.



**Ilustración 101:** Diseño del controlador de caudal.  
**Elaborado por:** Israel Araujo

**Tabla 31:** Descripción del motor a pasos  
**Elaborado por:** Israel Araujo

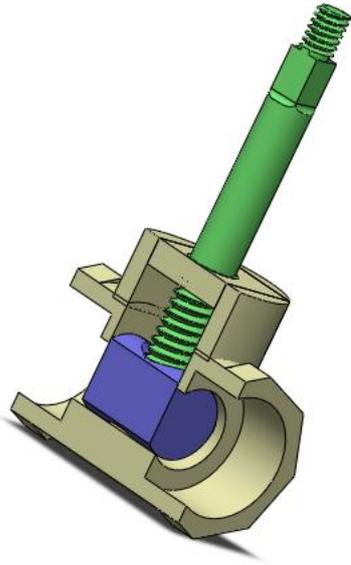
NÚMERO	NOMBRE		DESCRIPCIÓN
<b>1</b>	Motor a pasos		Unipolar 6 hilos 6.7v - 1.2a
<b>2</b>	Engranaje conductor métrico 0.9m 13t 20pa 17fw		bronce
<b>3</b>	Engranaje compuesto conducto métrico 0.9m 31t 20pa 7fw		pvc
	Conducido métrico 0.8m 14t 20pa 8fw		pvc
<b>4</b>	Engranaje conductor métrico 0.8m 30t 20pa 8fw		pvc
<b>M=</b> <b>Módulo</b>	t=número de dientes	pa= ángulo de ataque	fw= ancho

El motor paso a paso, es un motor unipolar de 6 hilos, para realizar el acople con la válvula cuenta con un juego de engranes la descripción de cada uno se detalla en el **Anexo 15:** Mecanismo Electroválvula

**Características de la válvula reguladora de caudal:**

- Área variable de sección plana.
- Sección de apertura: mínima 0, máxima ½ pulgada (12.7mm).
- Rotación del tornillo regulador de caudal limitado a 3 revoluciones.
- Baja fricción del mecanismo.

En la Ilustración 102 se observa internamente el mecanismo que dispone la válvula que se va a controlar, la cual tiene un diámetro de ½ pulgada.



**Ilustración 102:** Válvula a controlar  
**Elaborado por:** Israel Araujo

El caudal máximo que puede entregar la servo válvula cuando este al máximo o con la compuerta totalmente abierta es de:

$$Q_{max} = 550 \left( \frac{mL}{s} \right) = 550000 \left( \frac{mm^3}{s} \right) \quad \text{Ec. (21)}$$

**Dónde:**

$Q_{max}$  = Caudal máximo

La sección o área transversal del servo válvula es esta caso será de:

$$DA_{max} = \frac{\pi}{4} (r)^2 \quad \text{Ec. (22)}$$

**Dónde:**

$DA_{max}$  = Diametro máximo de abertura  
 $r$  = radio de abertura

**Datos:**

$$r = 12.7 \text{ mm}$$

$$DA_{max} = \frac{\pi}{4} [12.7(\text{mm})]^2 = 126.6768(\text{mm}^2)$$

**Ec. (22)**

Por lo tanto la velocidad máxima del fluido estará limitada a:

$$Q_{max} = A_{max} * V_{max}$$

**Ec. (23)**

**Dónde:**

$Q_{max}$  = Caudal máximo

$A_{max}$  = Área máxima

$V_{max}$  = Velocidad máxima

**Datos:**

$$Q_{max} = 550000 \text{ mm}^3$$

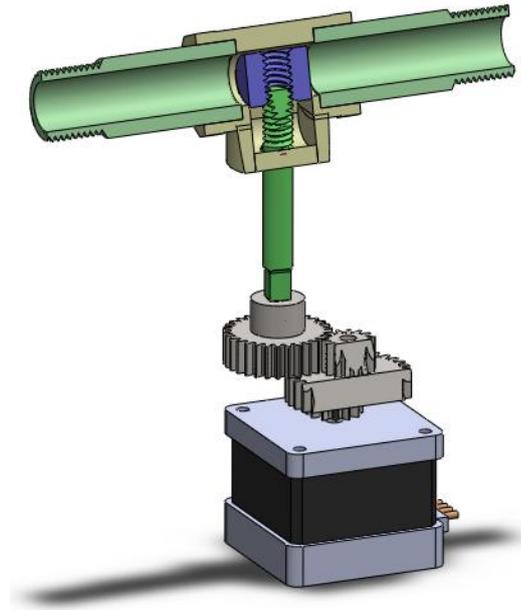
$$A_{max} = 126.6768 \text{ mm}^2$$

Despejando  $V_{max}$ :

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{A_{max}} = \frac{550000 \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{s}}\right)}{126.6768(\text{mm}^2)} = 4341.757923 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)$$

**Ec. (24)**

El acoplamiento final entre el motor paso a paso unifilar y la válvula de ½ pulgada se ve en la Ilustración 103, y se detalla en el **Anexo 17: Acople de la servo válvula.**

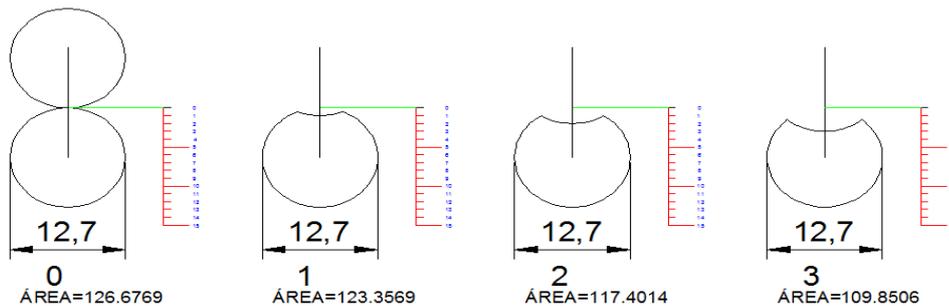


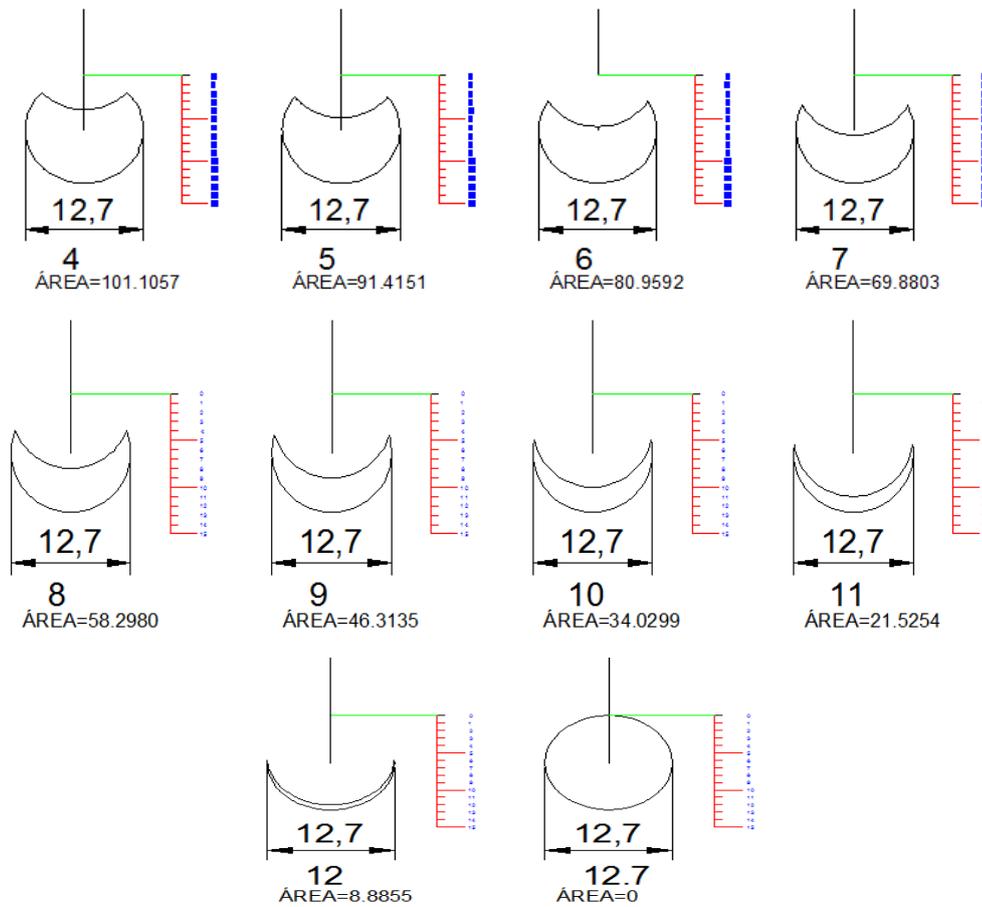
**Ilustración 103:** Gráfica tiempo vs caudal  
**Elaborado por:** Israel Araujo

### Diseño de la Servo Válvula

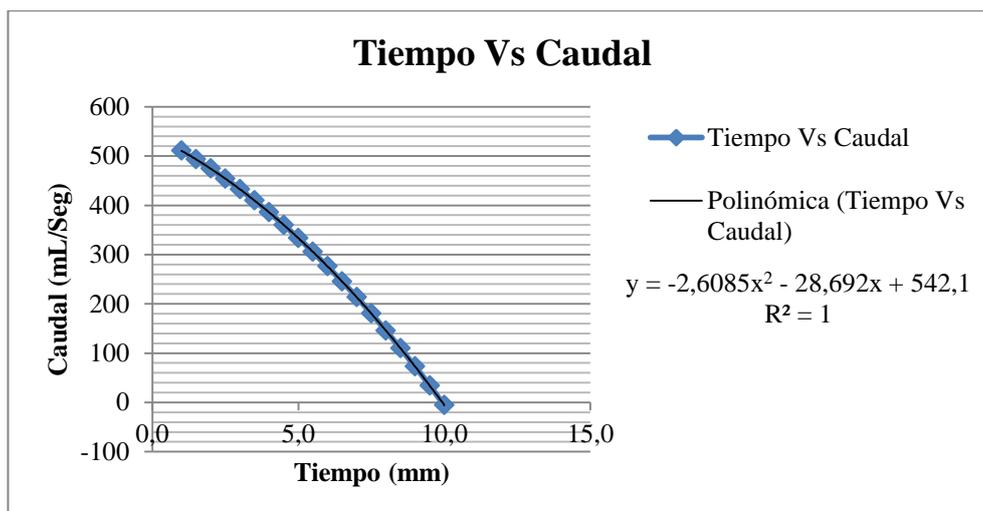
Para el diseño de la servo válvula se realiza diversos cálculos entre ellos, cálculo del área variable de la servo válvula en función del desplazamiento de la placa reguladora de caudal, en la Ilustración 103 se detalla las diferentes áreas de acuerdo al desplazamiento de la válvula.

**Nota:** El desplazamiento vertical de la placa es de 1mm teniendo casos de (0 a 12.7) en una sección de ½ pulgada, el área está calculada en mm<sup>2</sup>.





**Ilustración 104:** Sección de la válvula  
**Elaborado por:** Israel Araujo



**Ilustración 105:** Gráfica tiempo vs caudal  
**Elaborado por:** Israel Araujo

Luego de un análisis completo tomando en cuenta la sección de la válvula, velocidad de transmisión, características del motor, entre otra, se determinó la expresión matemática para la regulación de la servo válvula con relación al tiempo de dosificado.

**Fórmula Final:**

---

$$Caudal(Tiempo) = -2.608(Tiempo)^2 - 28.69(Tiempo) + 542.1$$

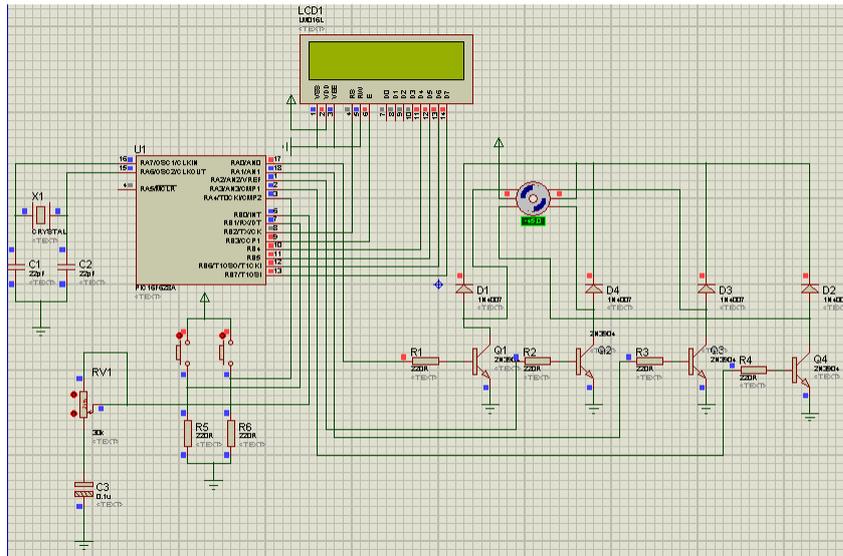
---

**Ec. (25)**

La servo válvula es comandada por un micro controlador, el que recibirá los datos en forma binaria por todo el puerto digital debido a un paralelismo al enviar la información de la pc que es un dato del tiempo que gobernará la apertura de la válvula reguladora de caudal, este dato internamente se procesa y se transforma a un número de tipo flotante para tener precisión en decimales, con este dato se compara en forma lineal con el rango de pulsos que el micro controlador enviará para mover el servomotor internamente, se crea un encoder virtual en el cual utilizando la memoria eeprom se registrará por cada evento la posición en la que se encuentra la apertura de la válvula, parte del código de programación permitirá controlar la información que recibe por parte de la PC para que solo trabaje cuando cambie el estado del valor del tiempo.

Todo esto se presentara en la lcd de similares características descritas anteriormente, pudiendo interpretar el tiempo de control para que regule el caudal suministrado, así el porcentaje de apertura de la servo válvula. El diseño de la tarjeta de control se muestra en la Ilustración 106.

El diagrama hidráulico de la electroválvula se detalla en el **Anexo 13: Plano Hidráulico de la Electroválvula para el módulo de pruebas.**



**Ilustración 106:** Circuito de control de la servo válvula  
**Elaborado por:** Israel Araujo

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- ✓ El controlador difuso permite un control constante durante las 24 horas del día, optimizando de esta manera el proceso más importante dentro de la planta de tratamiento.
- ✓ El sistema difuso muestra una perspectiva clara del alcance que tienen los sistemas fuzzy en la actualidad. Por lo que este sistema permite realizar el control sin la necesidad de contar con un modelado matemático del proceso, ya que se va adecuando en base a la experiencia del proceso.
- ✓ El diseño posee controles que permiten almacenar los datos históricos de todo el proceso, estos controles son muy útiles a la hora de crear reportes o realizar un análisis de los tiempos que se están empleando para el dosificado.
- ✓ Con la interfaz gráfica (HMI) le permite al operador el manejo fácil y amigable del proceso así como la visualización de alarmas y la detección de fallos en los dispositivos relacionados con el proceso.
- ✓ El módulo de pruebas para el controlador difuso, permitió realizar ajustes al controlador, así como realizar las respectivas restricciones del controlador, permitiendo de esta manera no interrumpir las actividades diarias dentro del proceso.

## **Recomendaciones**

- ✓ Se recomienda crear un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento de válvulas, medidores y equipos encargados del control del dosificado de polímero.
- ✓ Se sugiere realizar una interpretación de los manuales, tanto de los instrumentos a utilizar y del controlador difuso a implementar.
- ✓ Para obtener mayor precisión del controlador es recomendable realizar varias pruebas de funcionamiento, considerando que es un método nuevo se debe tomar todas las consideraciones, esto permite detectar errores y optimizar su funcionamiento.
- ✓ Es necesario conocer detalladamente el funcionamiento del proceso que se va a controlar, así como todos los elementos internos y externos que intervienen en éste.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

- ✓ PONCE-CRUZ, Pedro (2010). *Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería*. México: Alfaomega
- ✓ PONCE-CRUZ, Pedro (2008), *Intelligent Control Systems whit Labview*, Mexico: Springer.
- ✓ OGATA, Katsuhiko (1998). *Ingenieria de Control Moderno*. Mexico: Pearson
- ✓ W.BOLTON (2006). *Mecatronica*. 3ra Edición. México: Alfaomega.
- ✓ CREUS, Antonio (1998). *Instrumentación Industria*. España: Marcombo.
- ✓ TIMOTHY J. ROSS (2004). *Fuzzy Logic With Engineering Applications*. 2<sup>da</sup>Edición. USA

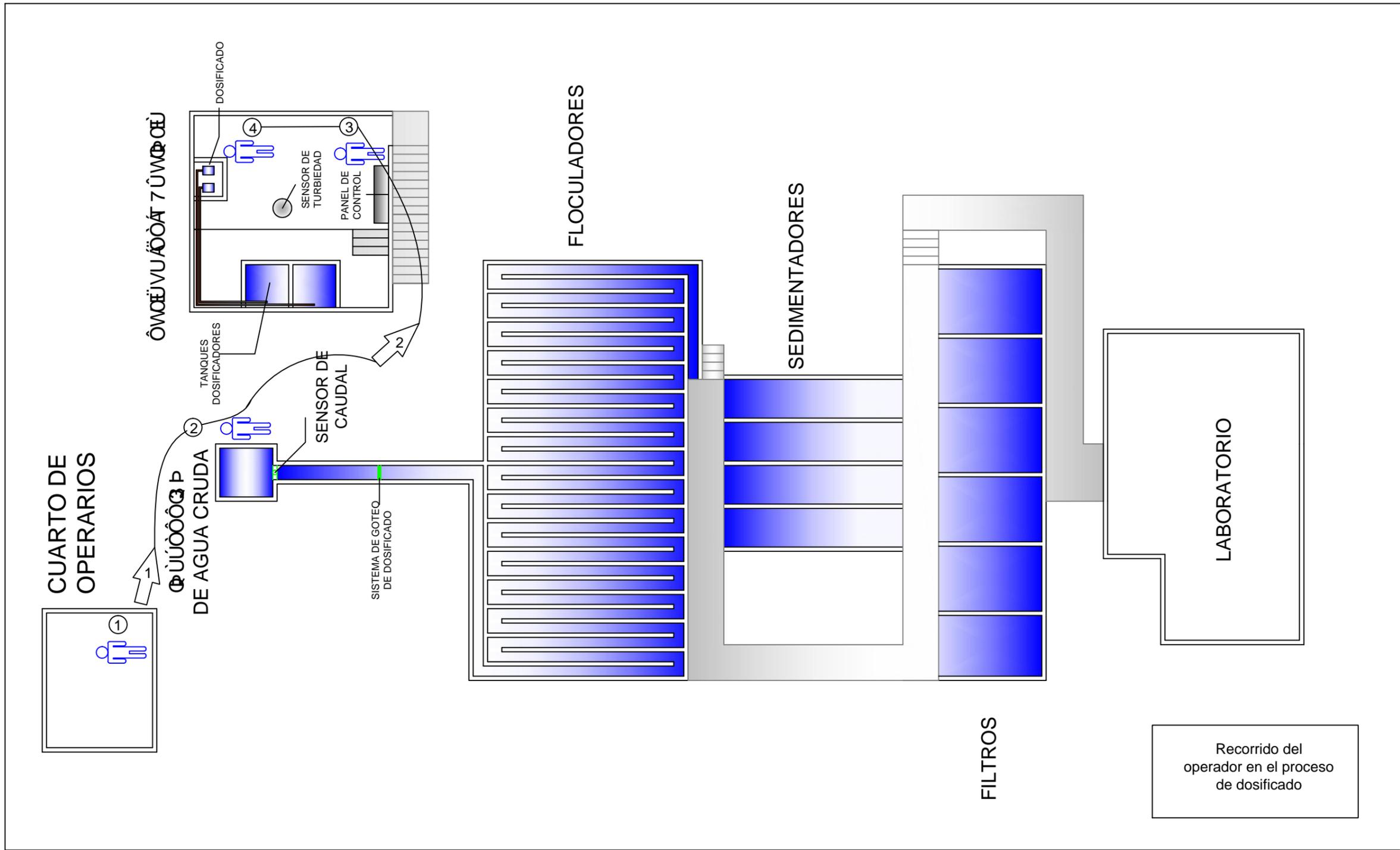
### Linkografía:

- ✓ ANONIMO (2011) *Sistemas de Control Automático*. Recuperado de, <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMaTICO.pdf>
- ✓ JESUS.F (2007) *Controladores Lógicos*. Recuperado de, <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r36271.PDF>
- ✓ JOSE.M (2008) *Control*. Recuperado de, <http://wwwdi.ujaen.es/asignaturas/si/tema1.pdf>
- ✓ MARCO.P (2005) *Sistema de Lógica Difusa*. Recuperado de, <http://www.ejournal.unam.mx/cuc/cconst11/CUC1107.pdf>
- ✓ LEONARDO (2010) *Automatización*. Recuperado de, <http://es.scribd.com/doc/55928471/AUTOMATIZACION>

- ✓ VIVES, A (2010). *Sistema de control*. Recuperado de, <http://www.slideshare.net/tonivi99/sistemas-de-control>
- ✓ HACH COMPANY (2003). *Sistema de Análisis Hach sc100*, Manual de Operación. Recuperado de, <http://es.scribd.com/doc/96302370/sc100-LDO-Sistema-de-Analisis-Manual-de-Operacion>
- ✓ Siemens Milltronics (2003). *Medición de Caudal*. Recuperado de, [http://cache.automation.siemens.com/dnl/zI2NTQxNwAA\\_18993840\\_HB/7ML19981AB21.2.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/zI2NTQxNwAA_18993840_HB/7ML19981AB21.2.pdf)
- ✓ National Instruments (2011). *NI MyDAQ*. Recuperado de, <http://es.scribd.com/doc/72496726/MyDAQ-MANUAL-EN-ESPANOL>
- ✓ Danfoss (2005). *Especificación Técnica*. Recuperado de, [http://www.nepin.com.br/pdf/EV260B\\_Valvula\\_solenoide\\_modulante\\_Danfoss.pdf](http://www.nepin.com.br/pdf/EV260B_Valvula_solenoide_modulante_Danfoss.pdf)
- ✓ Gamboa. J (2012). *Desarrollo de programas de comunicaciones para un sistema inteligente de control de iluminación*. Recuperado de, <http://es.scribd.com/doc/100789464/modbus>
- ✓ Medina. J(2011). *Realización de drivers para LabVIEW*. Recuperado de, [http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13563/PFC\\_Jose\\_Rosado\\_Medina.pdf?sequence=1](http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13563/PFC_Jose_Rosado_Medina.pdf?sequence=1)

## **ANEXO 1**

**Diagrama de recorrido del operador en el proceso.**

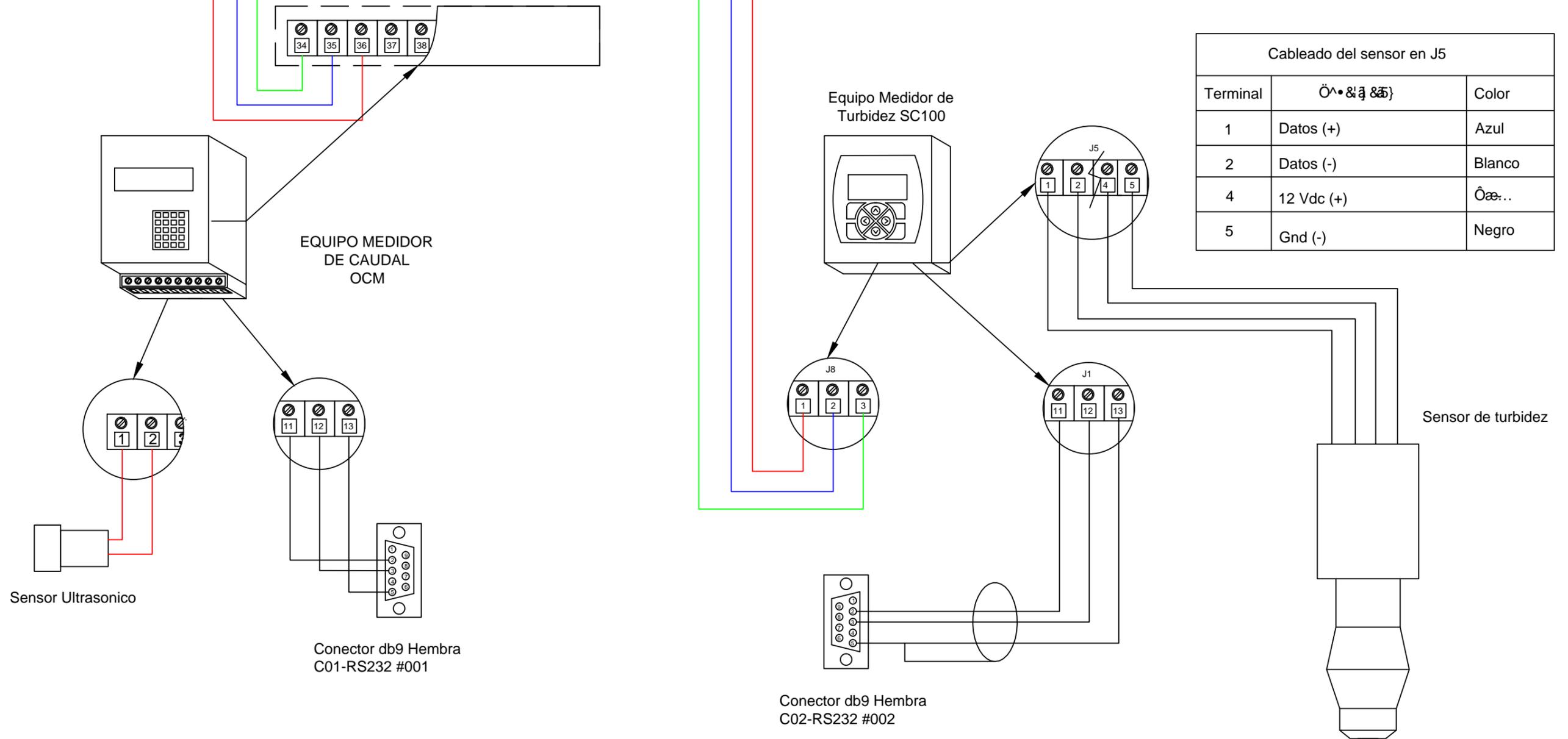


LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
					<b>Diagrama de recorrido del operador en el proceso</b>	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 1</b>
VERIF.	I. ARAUJO					A4
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:		
				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

## **ANEXO 2**

### **Conexiones de los medidores de Caudal y turbiedad**

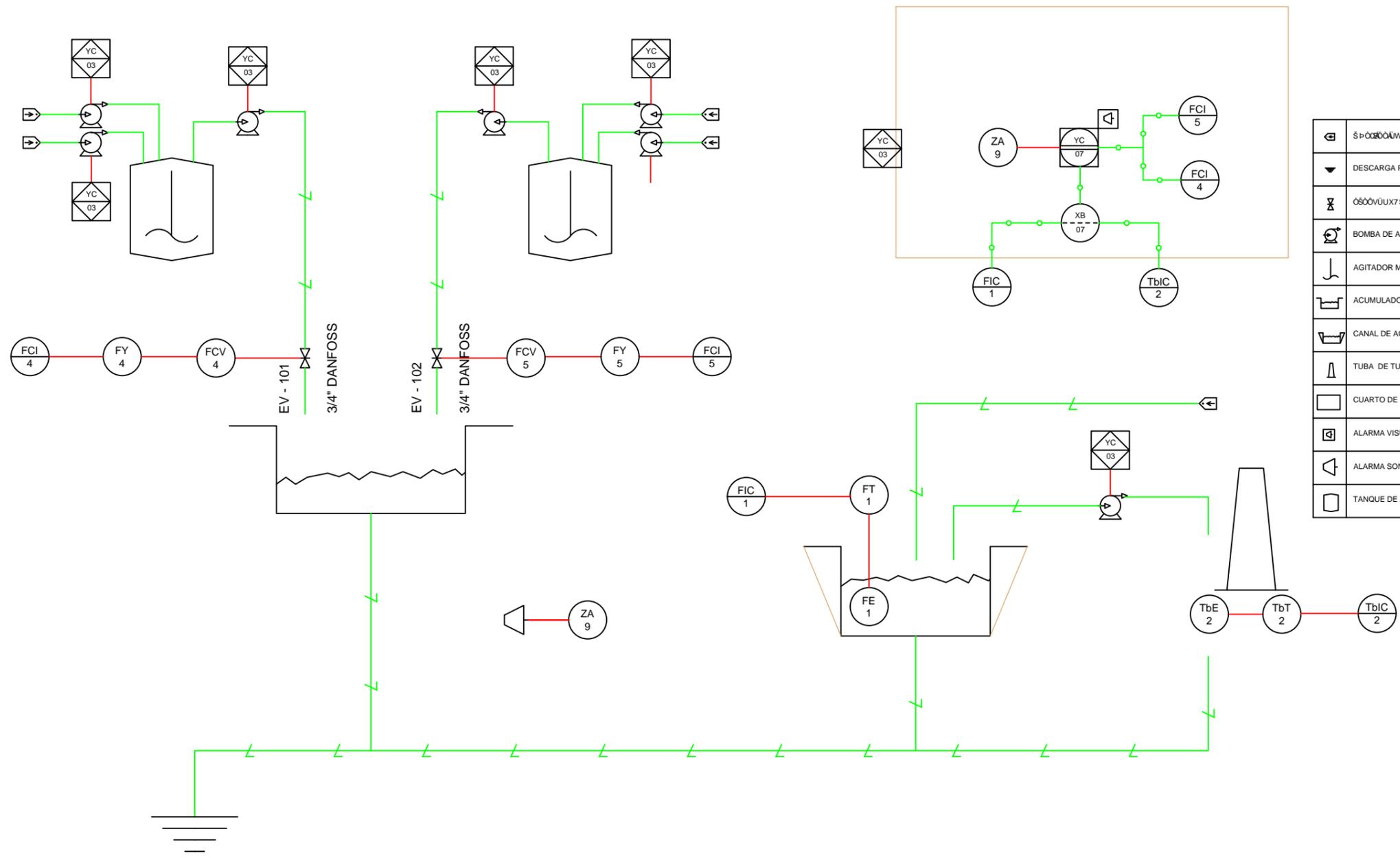
Fase 110Vca  
Neutro  
Tierra



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
					<b>Conexiones de los medidores de caudal y turbiedad</b>	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 2</b>
VERIF.	I. ARAUJO					A4
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:		
				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

## **ANEXO 3**

### **Diagrama P&ID.**



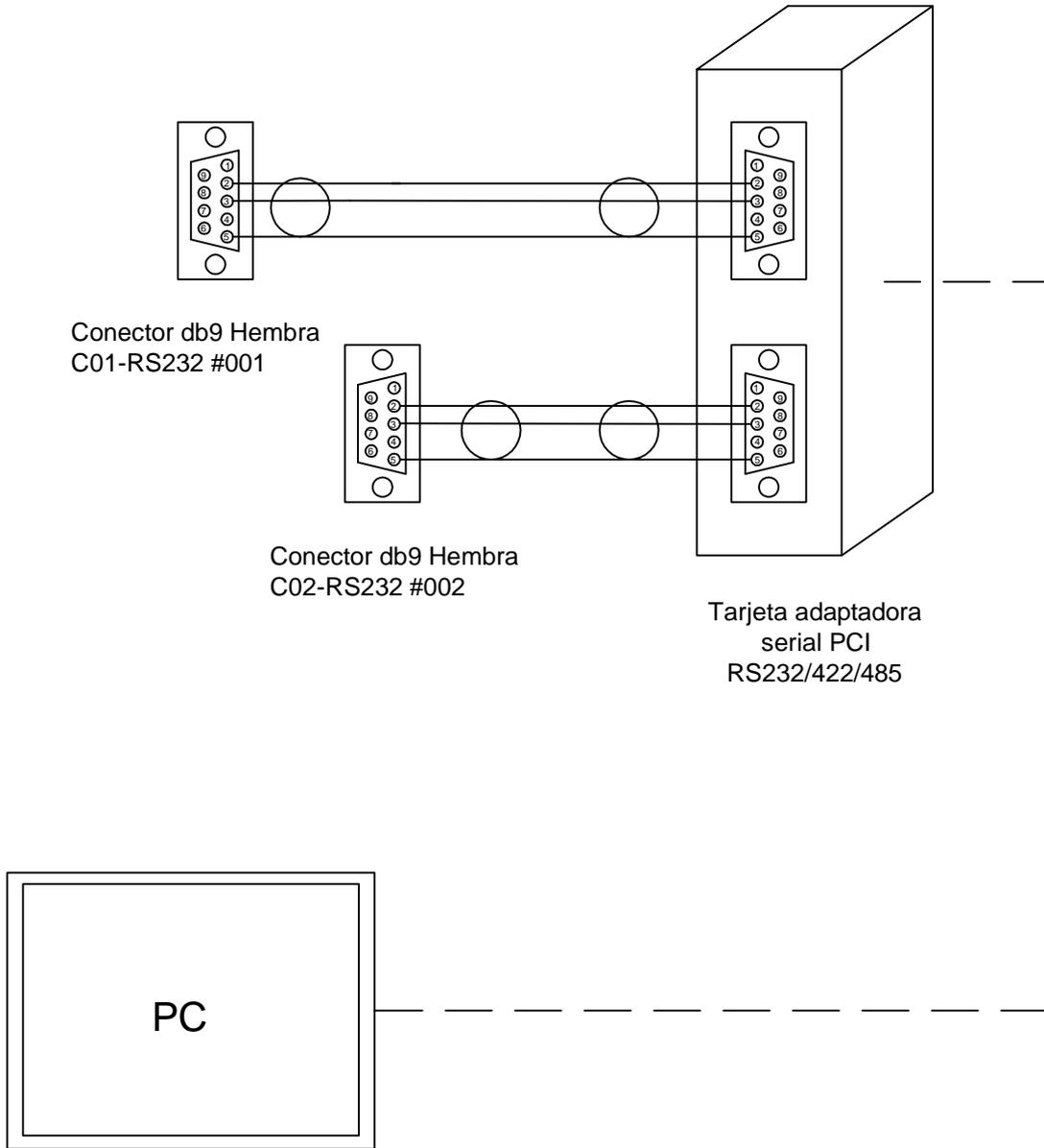
	SUMINISTRO DE AGUA LIMPIA
	DESCARGA PROCESO DE TRATAMIENTO
	SUMINISTRO DE AGUA CRUDA
	BOMBA DE AGUA CENTRIFUGA
	AGITADOR MECANICO
	ACUMULADOR TEMPORAL DE POLIMERO
	CANAL DE AGUA CRUDA
	TUBA DE TURBIEDAD
	CUARTO DE MAQUINAS
	ALARMA VISUAL
	ALARMA SONORA
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO POLIMERO

	SUMINISTRO DE AGUA LIMPIA
	SUMINISTRO DE AGUA CRUDA
	...
	...
	INSTRUMENTOS
	EQUIPOS

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADOS SE EXPRESAN EN TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
MODULO		PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO			
DIBUJ.	I. ARAUJO	FIRMA	FECHA	Diagrama P&ID	
VERIF.				ANEXO 3	
APROB.				Nº DE DIBUJO	A4
FABR.				ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
CALID.					

## **ANEXO 4**

### **Conexiones de los medidores de caudal y turbiedad con la PC**

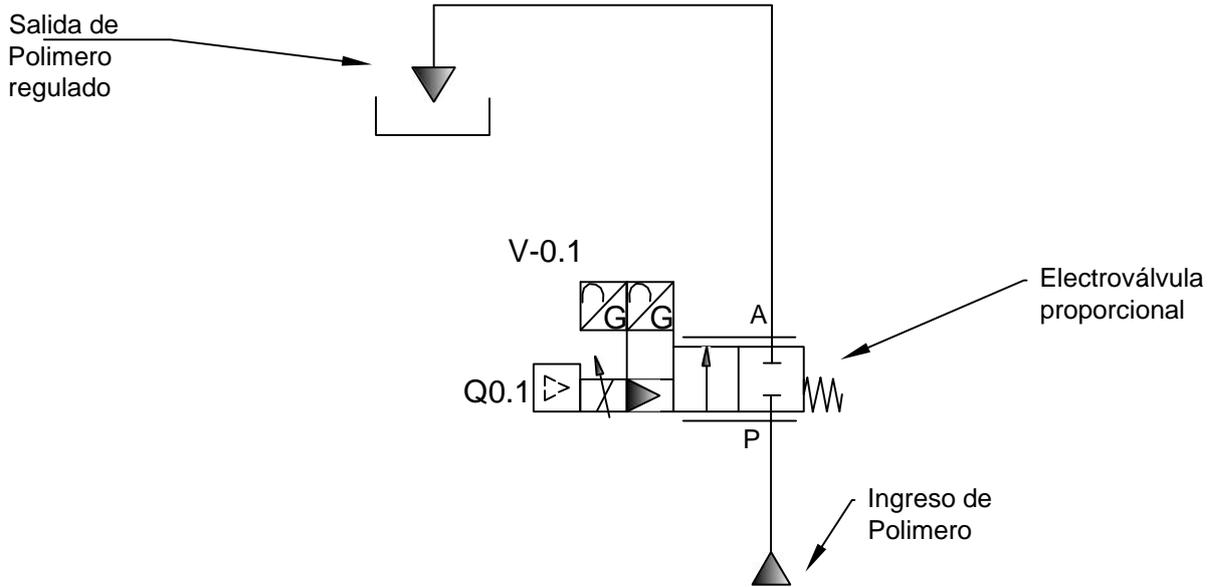


LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO							
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			<b>Conexiones de los medidores de caudal y turbiedad con la PC</b>	
VERIF.	I. ARAUJO						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 4</b>	
				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	

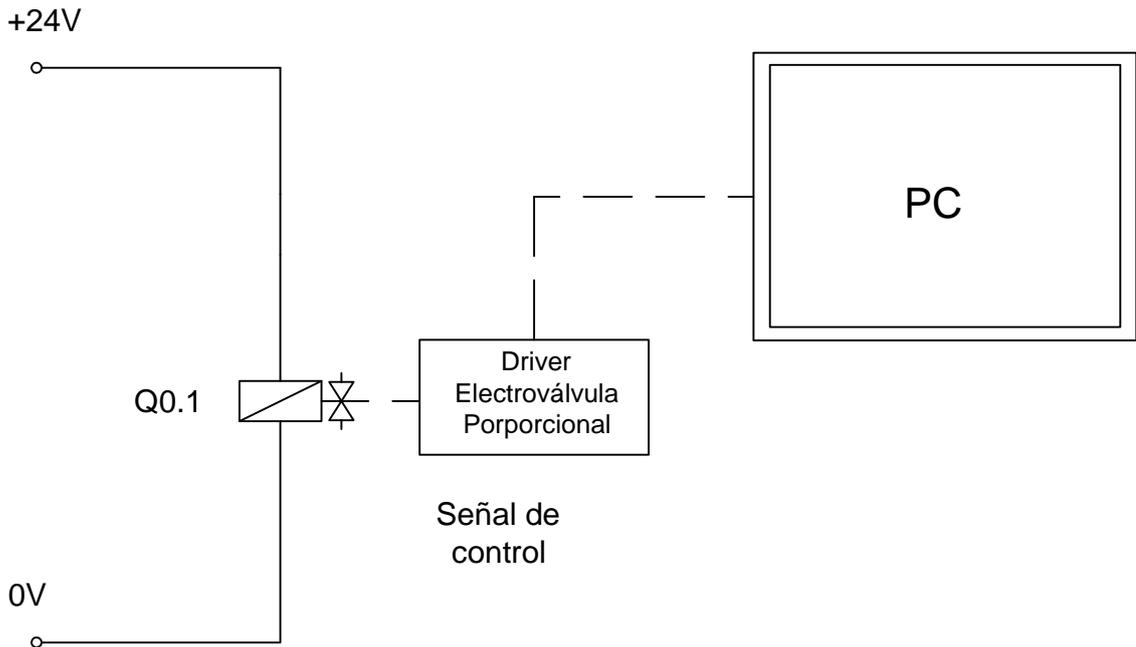
## **ANEXO 5**

### **Plano Hidráulico de la Electroválvula**

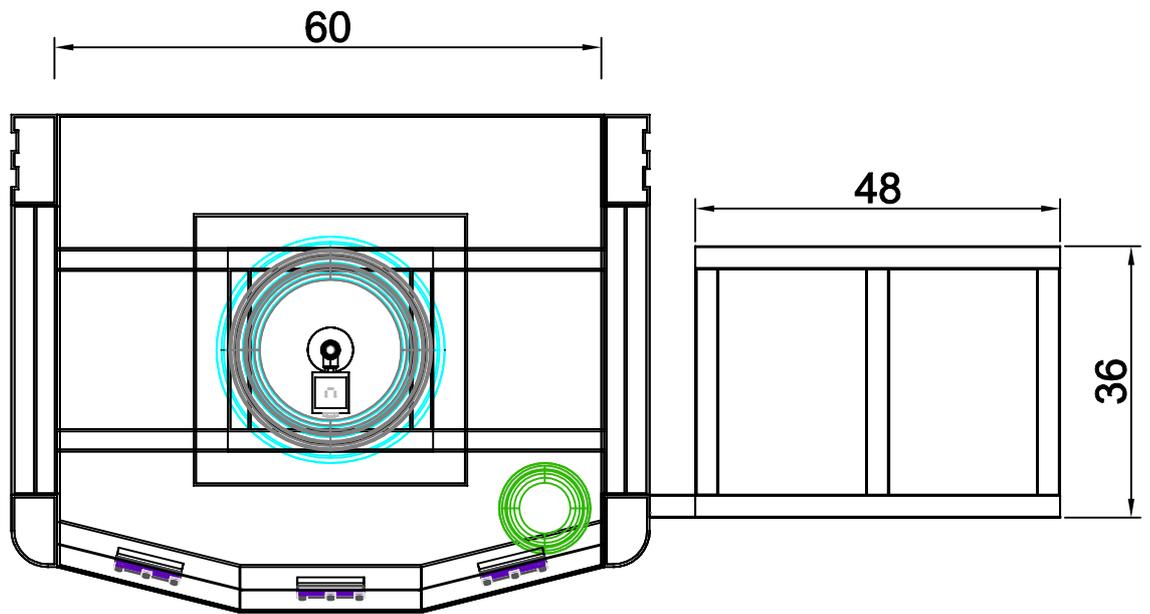
# DIAGRAMA HIDRÁULICO



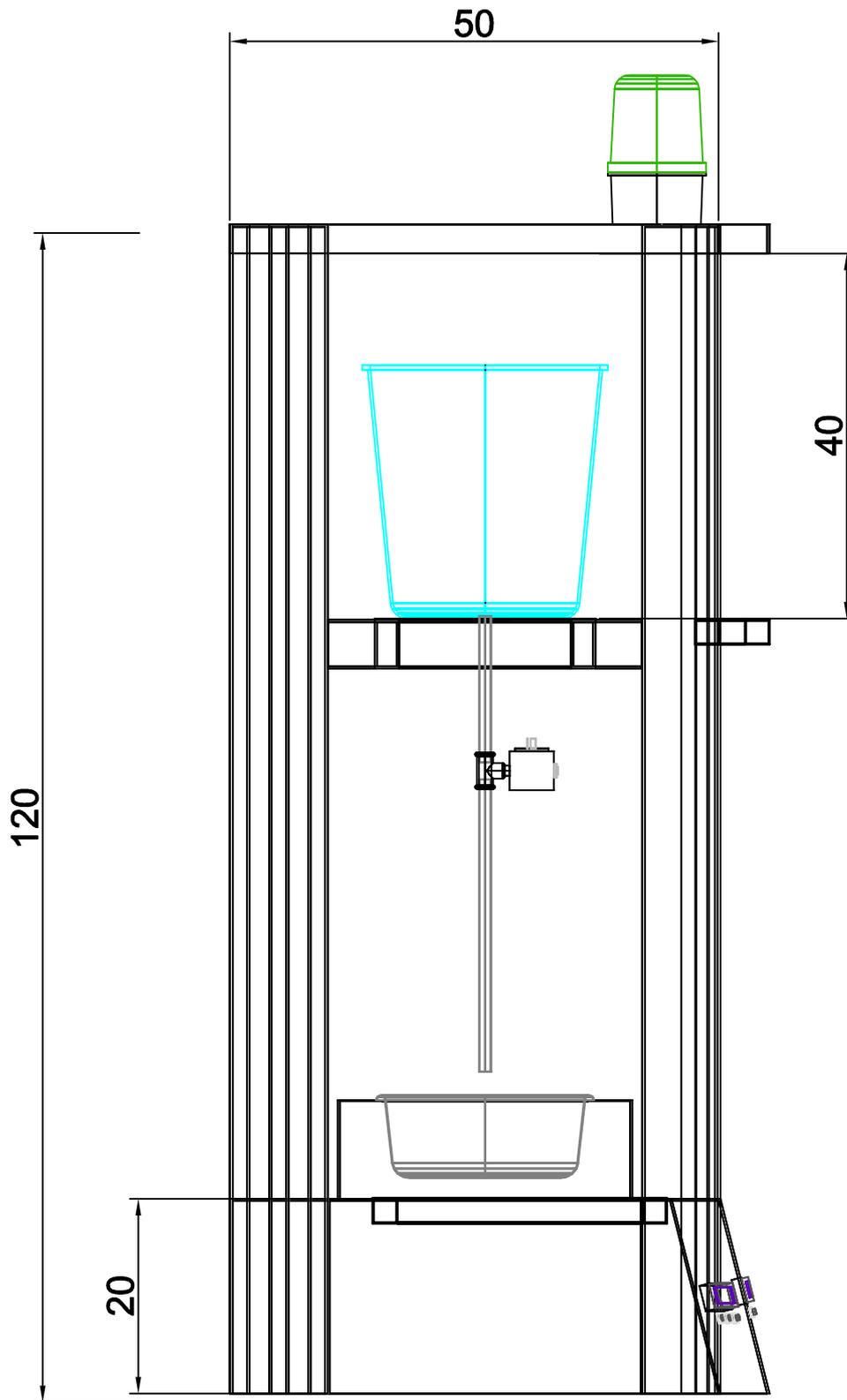
# DIAGRAMA DE CONTROL



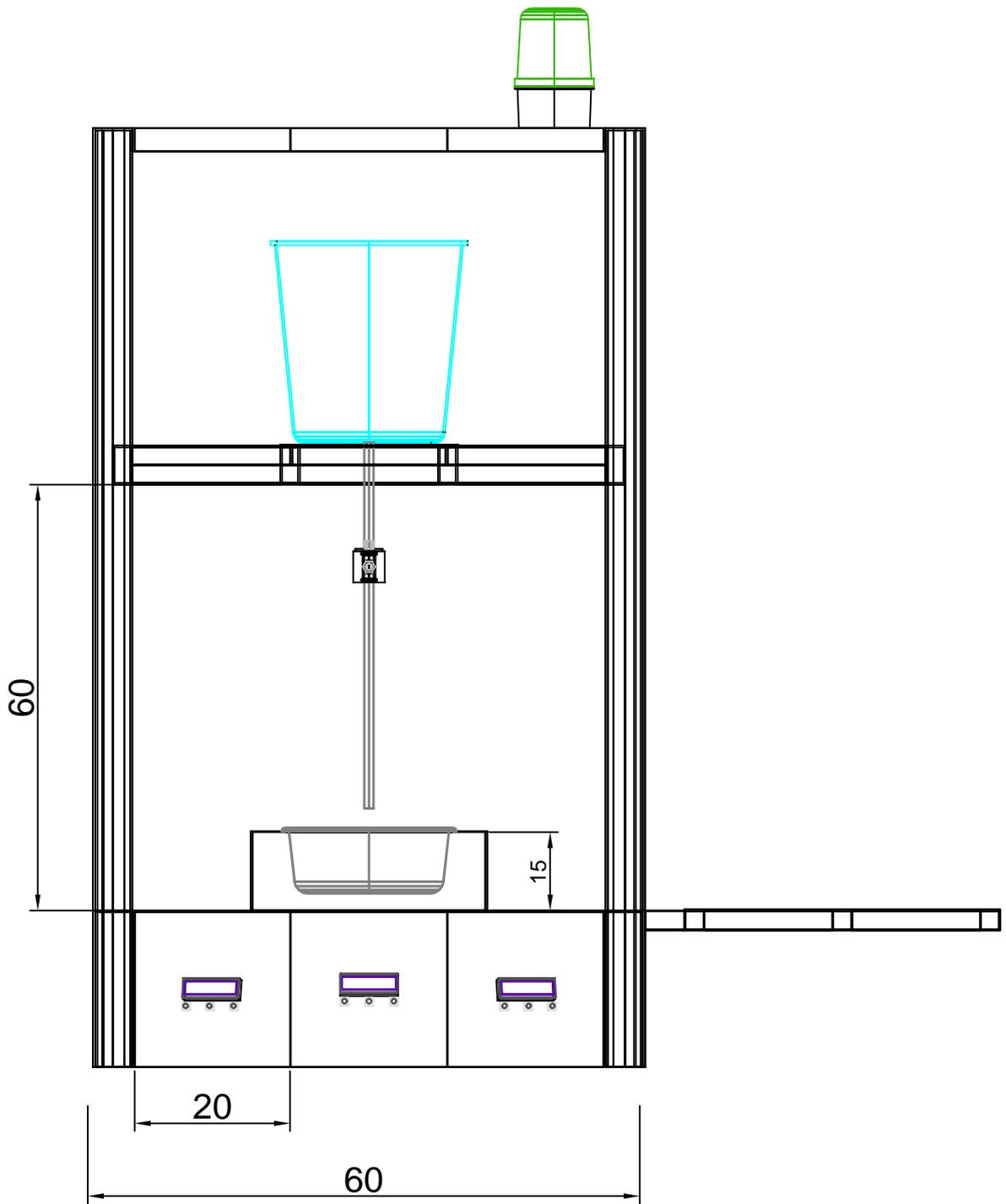
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			<b>Plano Hidráulico de la Electroválvula</b>	
VERIF.	I. ARAUJO						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 5</b>
					PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
							A4



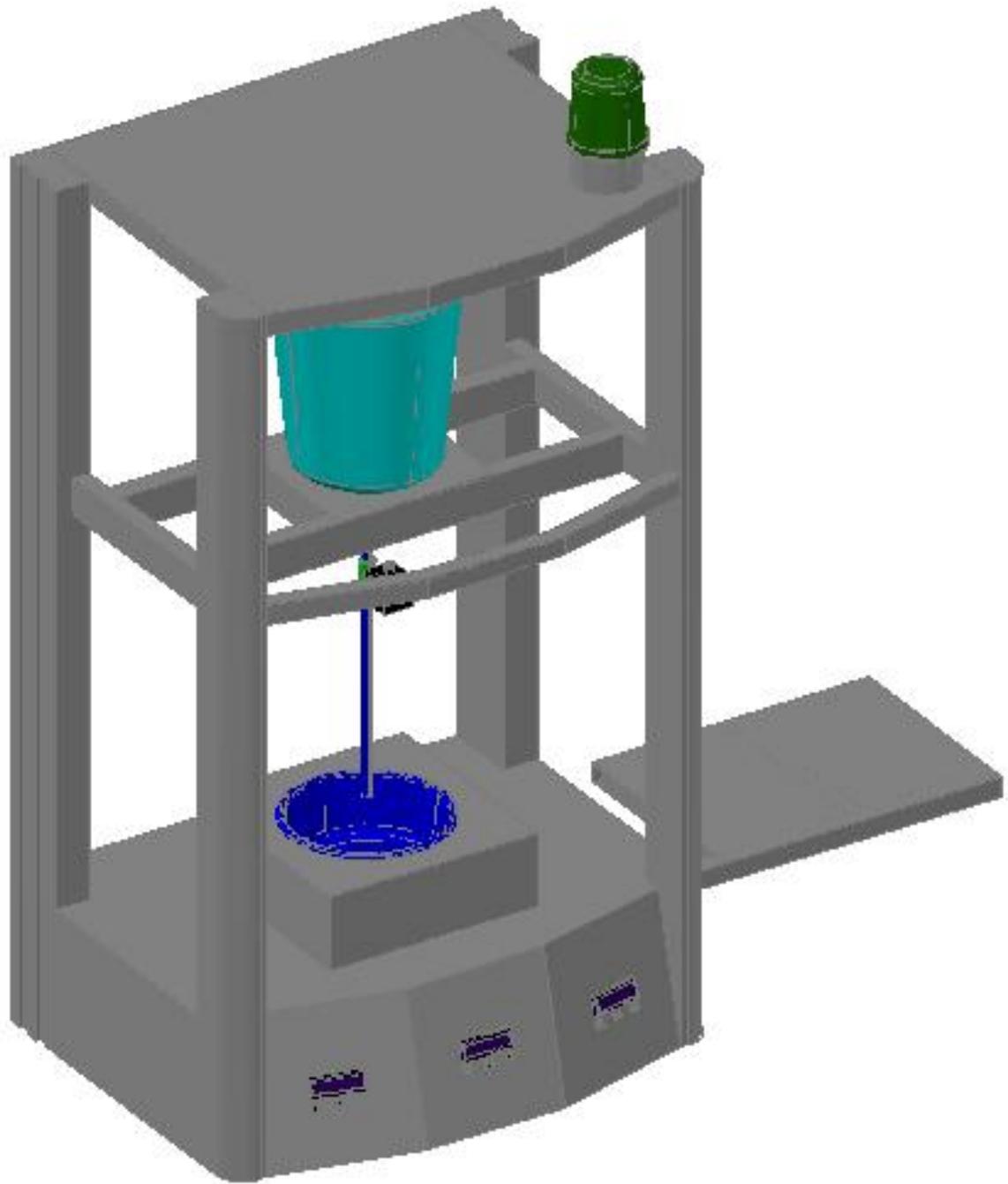
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>MODULO</b>			ACABADOS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
									<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA							
DIBUJ.	<b>I. ARAUJO</b>									
VERIF.										
APROB.										
FABR.										
CALID.										
					MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 6</b>		A4
					PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1		



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>MODULO</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		<b>Vista Lateral</b>	
VERIF.	<b>I. ARAUJO</b>					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 6</b>
				PESO:	ESCALA:1:1	A4
					HOJA 1 DE 1	



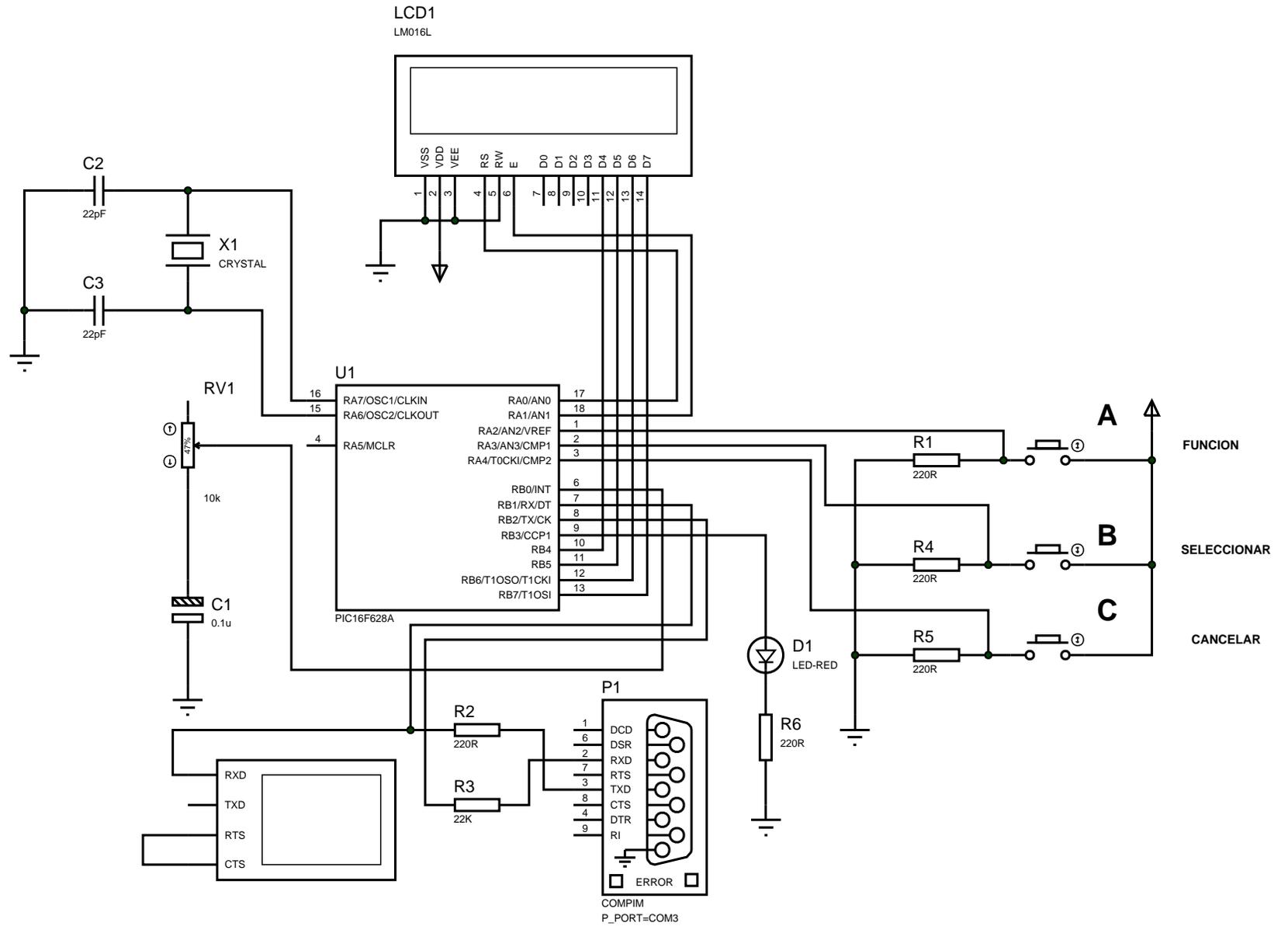
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>MODULO</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		<b>Vista Frontal</b>	
VERIF.	<b>I. ARAUJO</b>					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 6</b>
				PESO:	ESCALA:1:1	
					HOJA 1 DE 1	



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>											
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		<b>Modulo de Pruebas</b>			
VERIF.		I. ARAUJO									
APROB.											
FABR.											
CALID.											
						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		<b>ANEXO 6</b>	
						PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	
										A4	

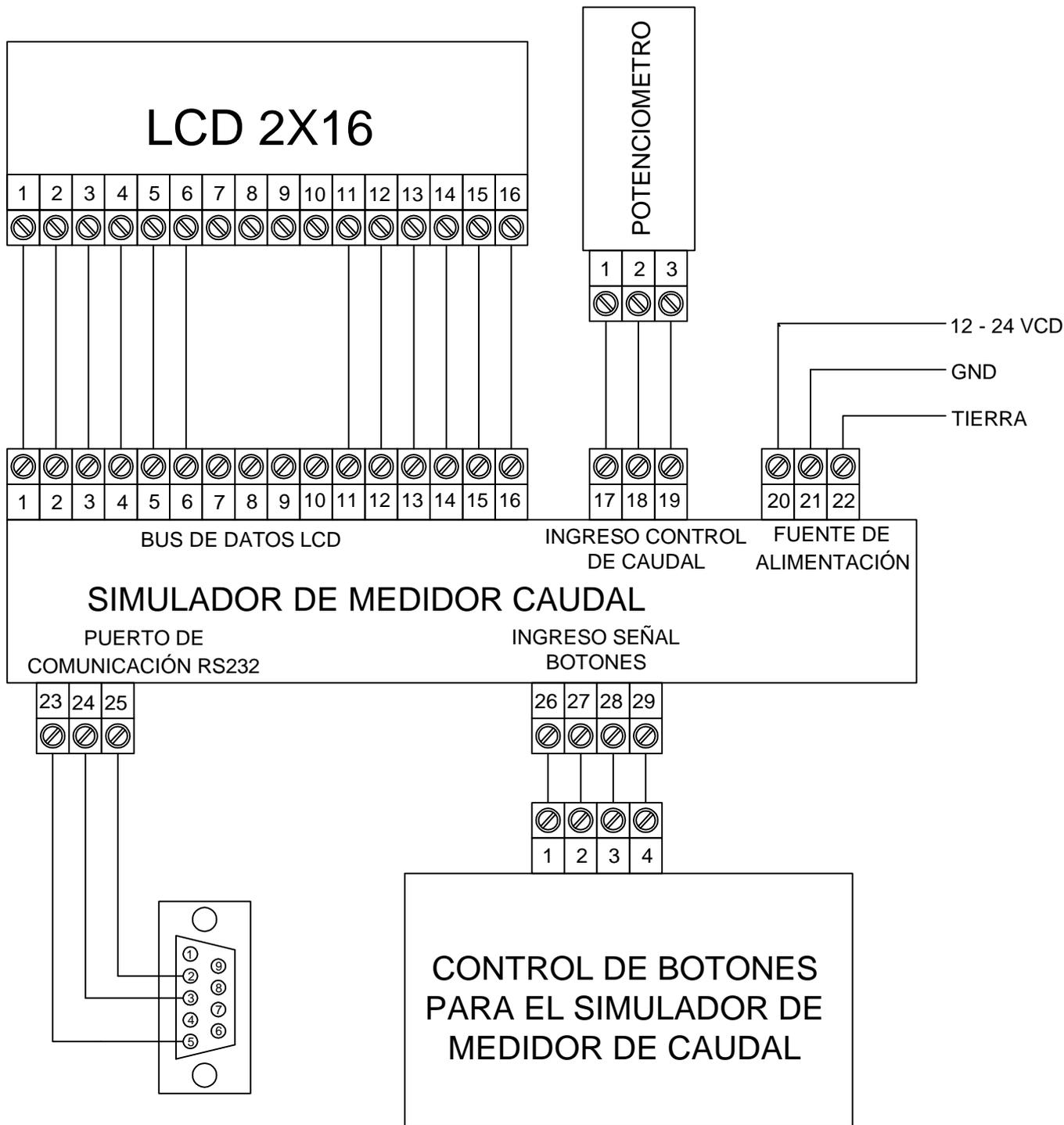
## **ANEXO 7**

**Diagrama esquemático de la tarjeta de control para la simulación del medidor de caudal.**



## **ANEXO 8**

### **Simulador de medidor de caudal.**

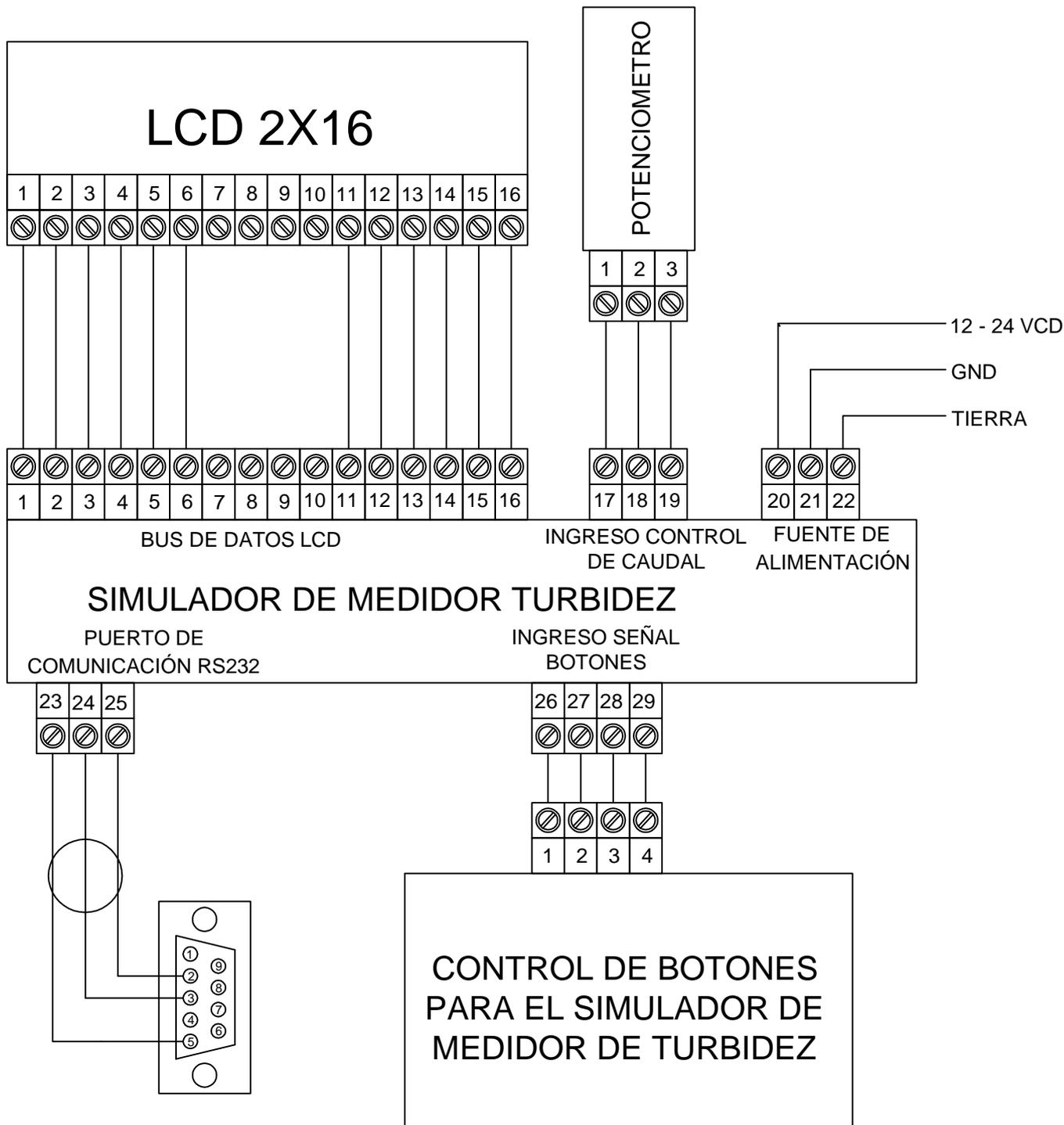


Conector db9 Hembra  
C03-RS232 #003

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
					Simulador de medidor de caudal	
NOMBRE	FIRMA	FECHA			N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 8</b>
DIBUJ.	I. ARAUJO					A4
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.			MATERIAL:			
			PESO:		ESCALA:1:1	HQJA 1 DE 1

## **ANEXO 9**

### **Simulador de medidor de turbiedad**

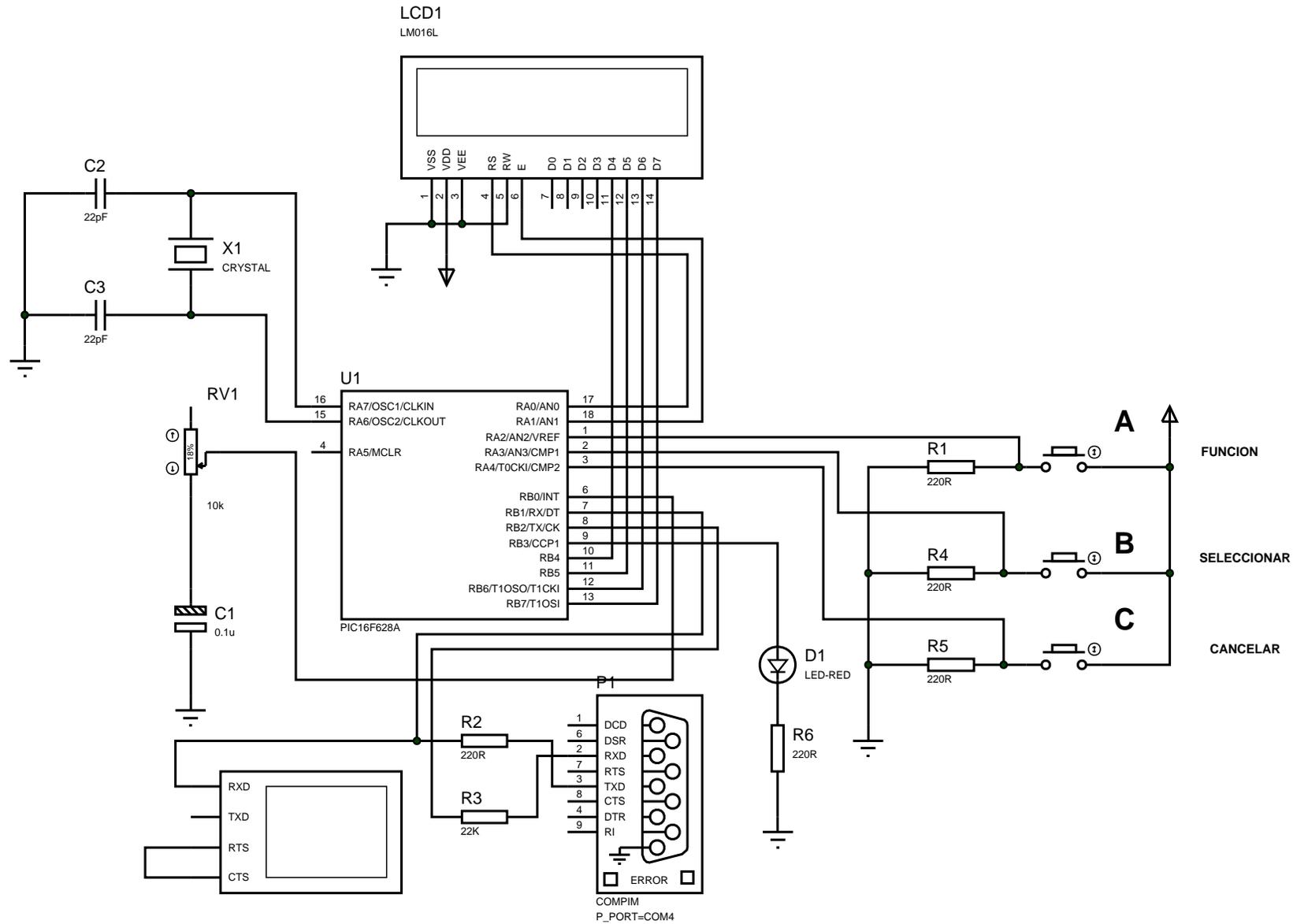


Conector db9 Hembra  
C04-RS232 #004

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN																									
PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO																																
<table border="1"> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>I. ARAUJO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		VERIF.	I. ARAUJO				APROB.					FABR.					CALID.					Simulador de medidor de turbiedad		
					DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA																								
					VERIF.	I. ARAUJO																										
					APROB.																											
					FABR.																											
CALID.																																
MATERIAL:					N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 9</b>																										
PESO:					ESCALA:1:1	A4																										
					HOJA 1 DE 1																											

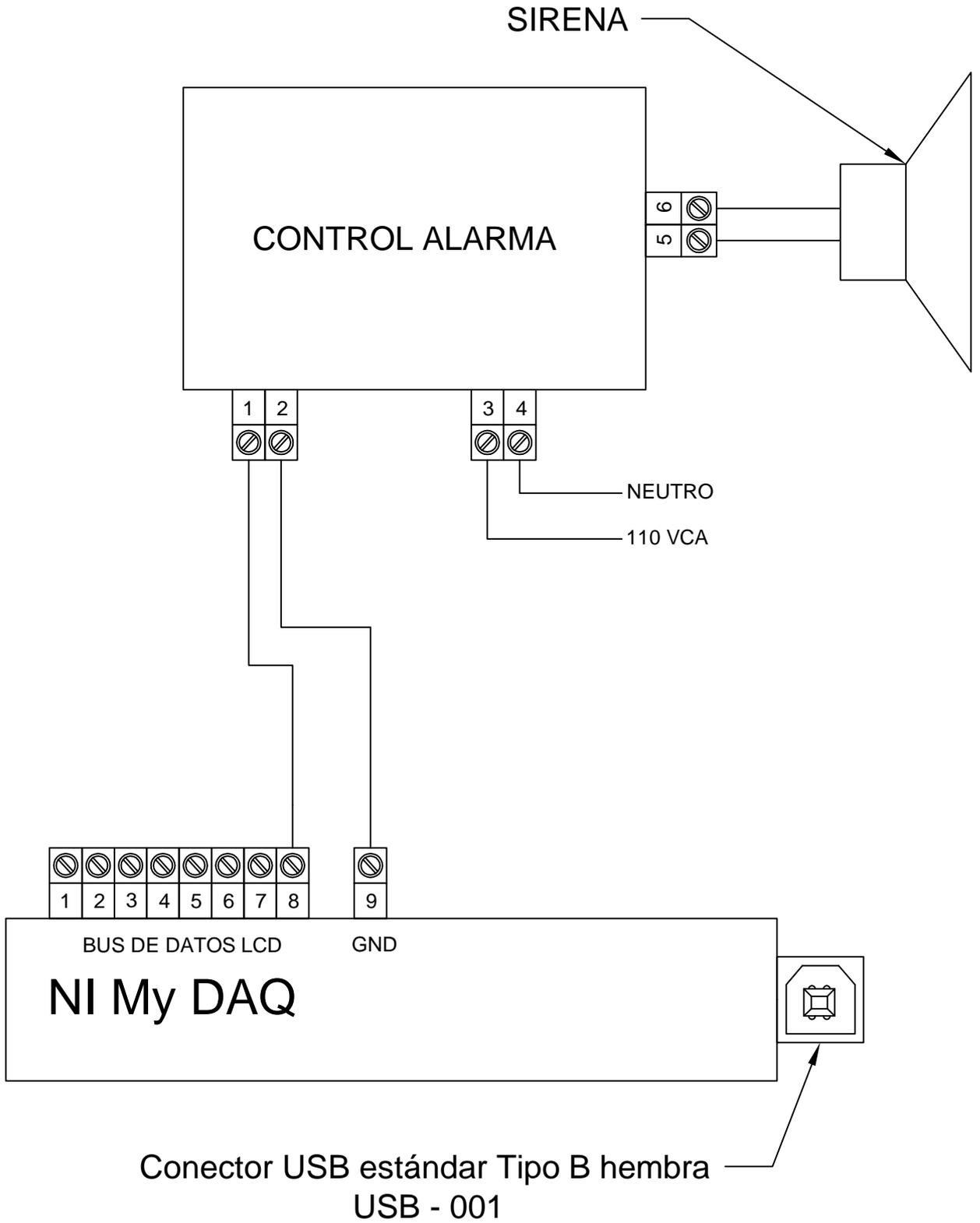
## **ANEXO 10**

**Diagrama esquemático de la tarjeta de control para la simulación del medidor de turbiedad.**



## **ANEXO 11**

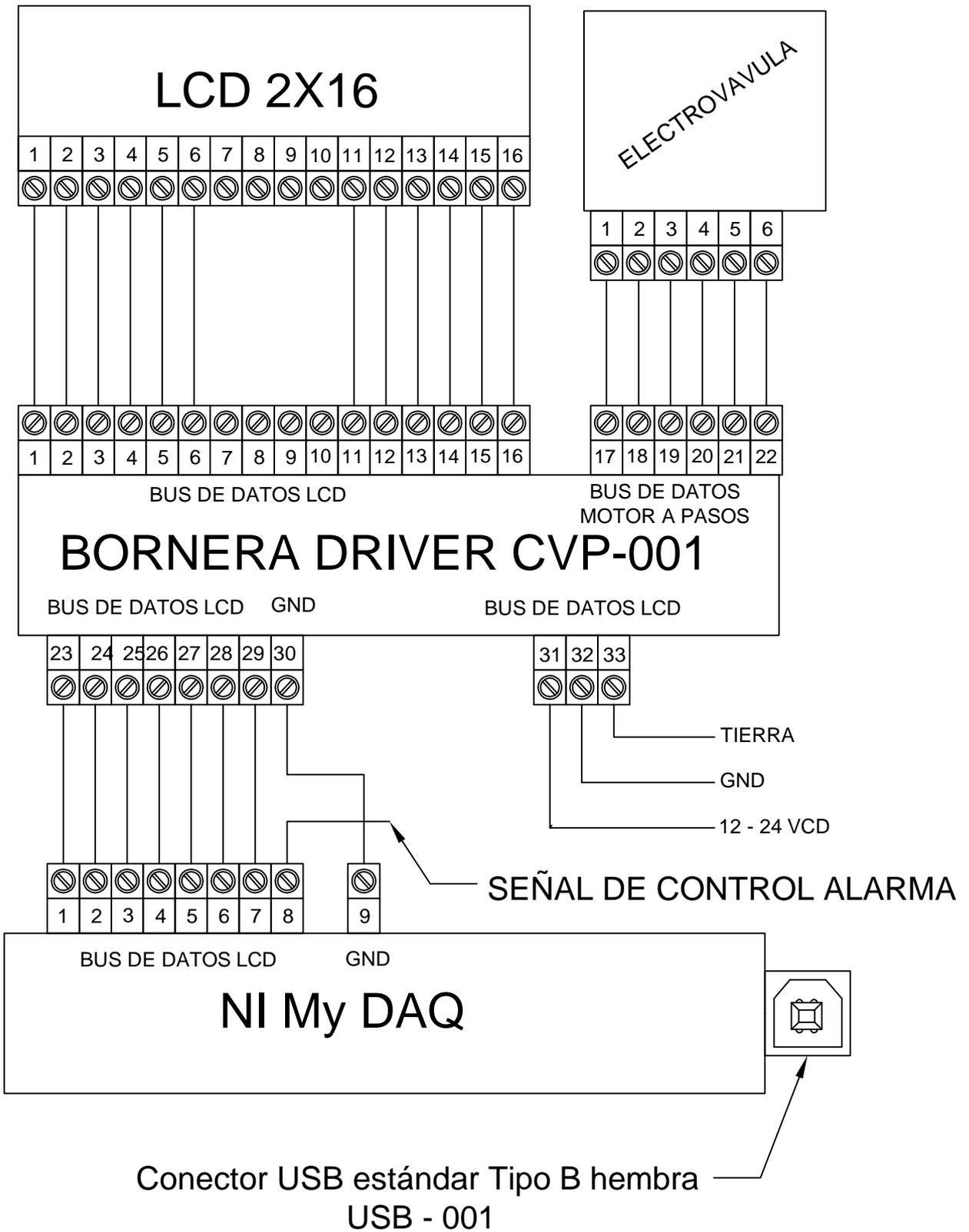
**Diagrama de bloque para la conexión de la sirena.**



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		Diagrama de bloque para la conexión de la sirena.	
VERIF.	I. ARAUJO					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 11</b>
				PESO:	ESCALA:1:1	A4
					HOJA 1 DE 1	

## **ANEXO 12**

### **Conexión entre la Tarjeta y la electroválvula.**

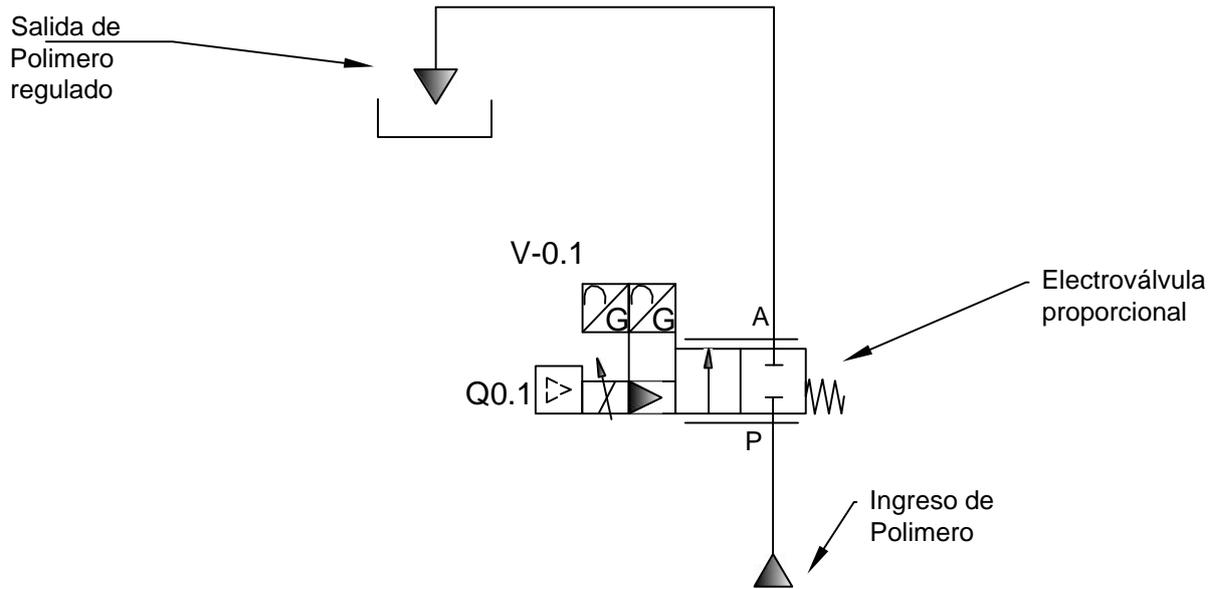


LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		<p align="center">Conexión entre la Tarjeta y la electrovalvula</p> <p align="center"><b>ANEXO 12</b></p>	
VERIF.	I. ARAUJO					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
				PESO:	ESCALA:1:1	HQJA 1 DE 1

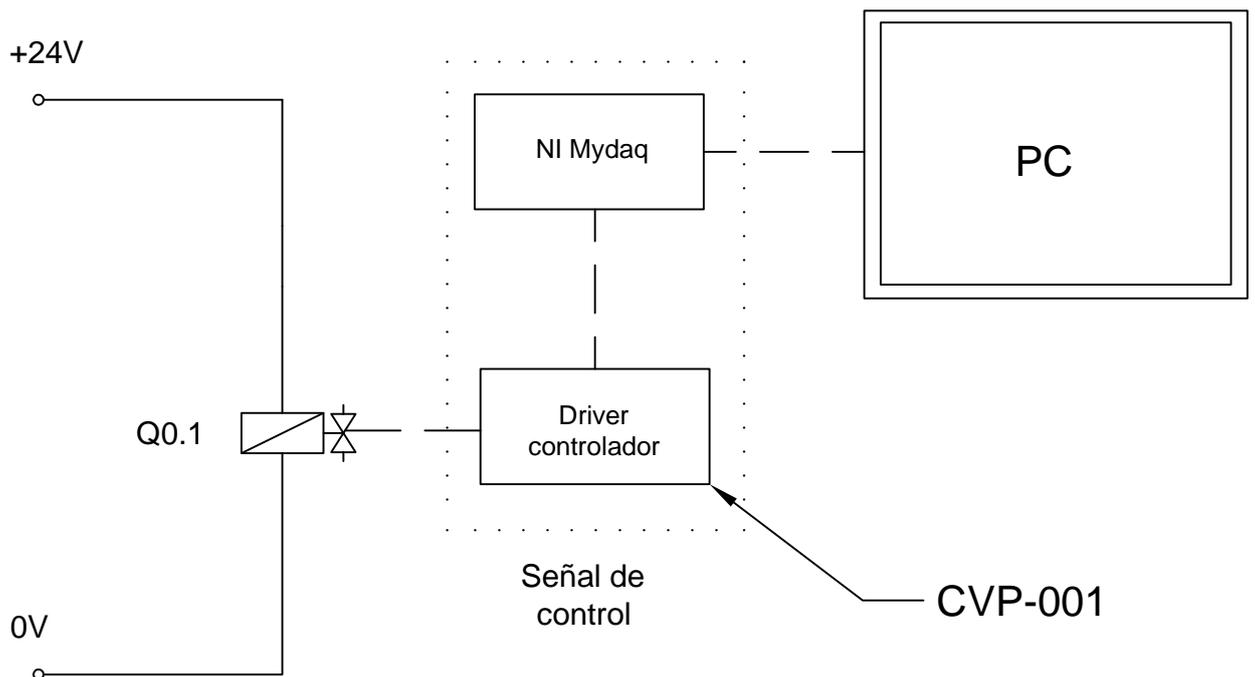
## **ANEXO 13**

### **Plano Hidráulico de la Electroválvula para el módulo de pruebas**

# DIAGRAMA HIDRÁULICO



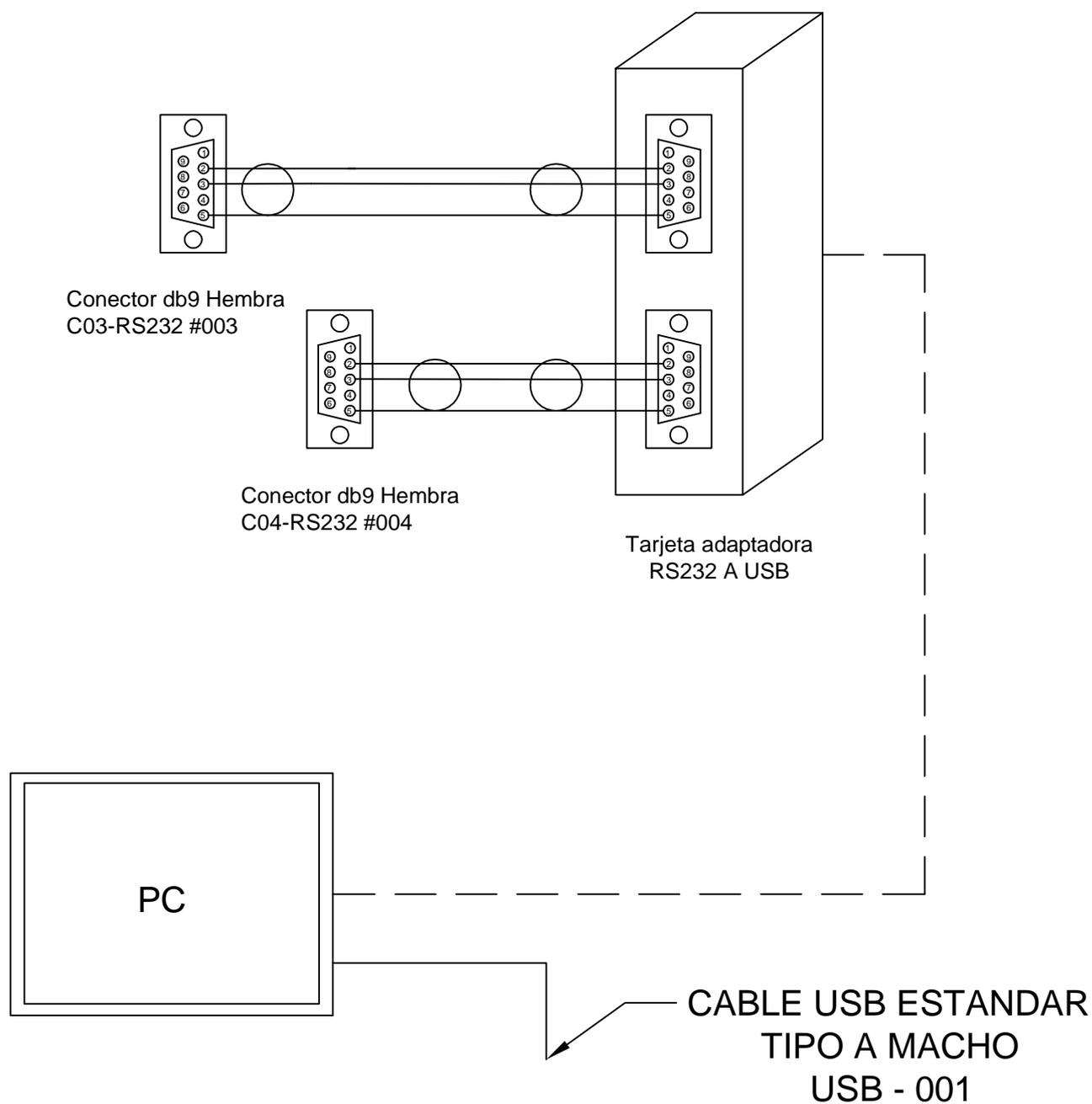
# DIAGRAMA DE CONTROL



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		Plano Hidráulico de la Electroválvula para el modulo de pruebas	
VERIF.	I. ARAUJO					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 13</b>
				PESO:	ESCALA:1:1	A4
					HOJA 1 DE 1	

## **ANEXO 14**

### **Conexión entre las tarjetas y la PC**



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			Conexión entre las tarjetas y la PC	
VERIF.	I. ARAUJO						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 14</b>	
				PESO:	ESCALA:1:1	A4	
						HOJA 1 DE 1	

**ANEXO 15**  
**Mecanismo Electroválvula**

Engranaje métrico  
0.8M 30T 20PA 8FW

Engranaje conducido

Engranaje métrico  
0.8M 14T 20PA 8FW

Engranaje métrico  
0.9M 13T 20PA 17FW

Engranaje  
conductor

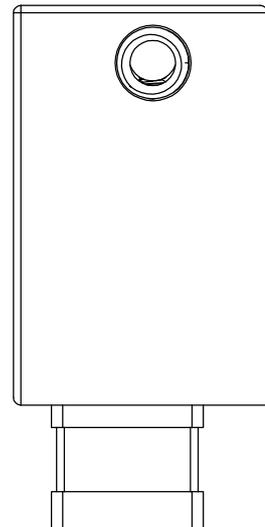
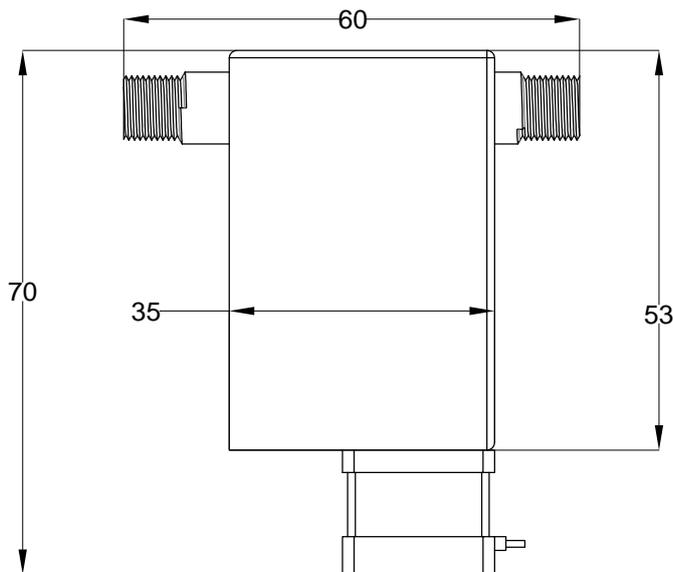
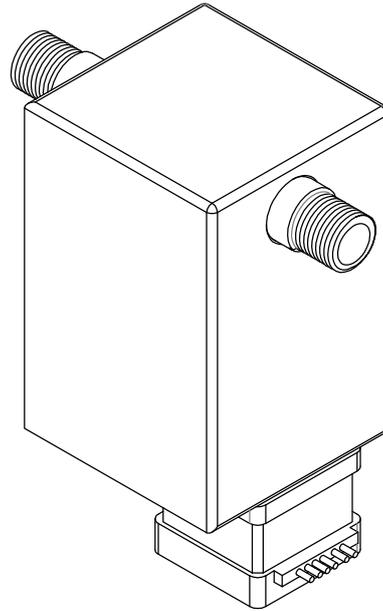
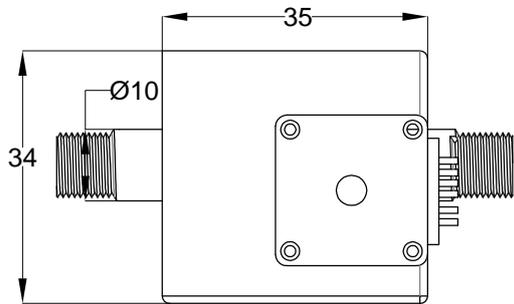
Engranaje métrico  
0.9M 31T 20PA 7FW

MOTOR A PASOS  
DC 6.7V 1.2A  
UNIPOLAR

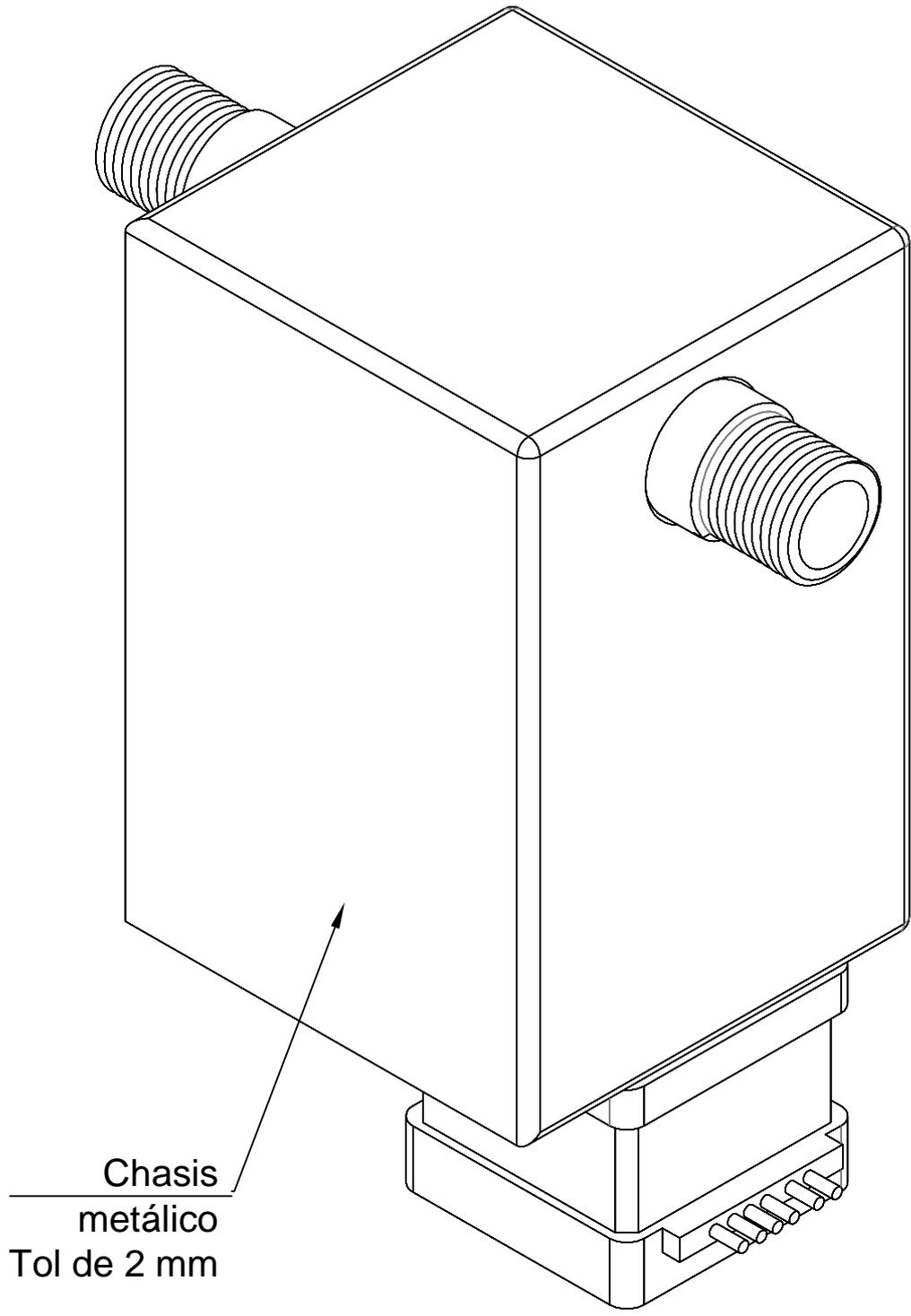
$T \left[ \frac{d}{\pi} \right] \approx 85$   
 $V(\text{out})=0.18V(\text{in})$

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		$T \left[ \frac{d}{\pi} \right] \approx 85$ $V(\text{out})=0.18V(\text{in})$	
VERIF.	I. ARAUJO					
APROB.						
FABR.						
CALID.						
				MATERIAL:	Nº DE DIBUJO	<b>ANEXO 15</b>
				PESO:	ESCALA:1:1	A4
					HOJA 1 DE 1	

**ANEXO 16**  
**Chasis Electroválvula**



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			<b>Chasis de la Electroválvula</b>	
VERIF.	I. ARAUJO						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 16</b>
					PESO:	ESCALA:1:1	
							HOJA 1 DE 1



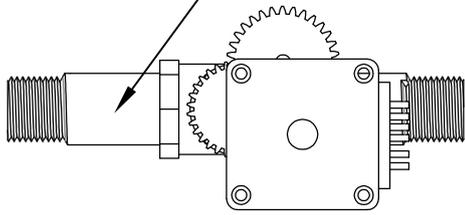
Chasis metálico  
Tol de 2 mm

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>		ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b>	
					<b>Chasis de la Electroválvula</b>	
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA		
VERIF.		I. ARAUJO				<b>ANEXO 16</b>
APROB.						
FABR.						
CALID.						
					PESO:	ESCALA:1:1
					HOJA 1 DE 1	

## **ANEXO 17**

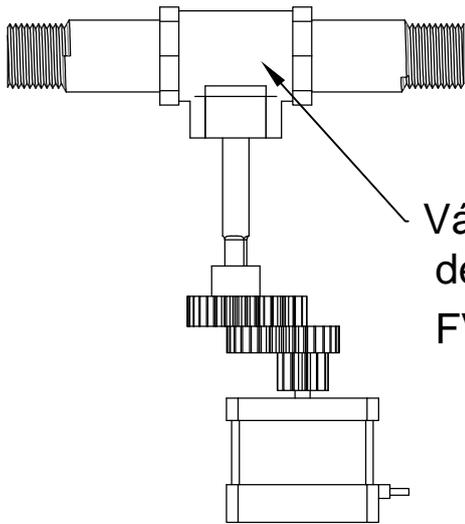
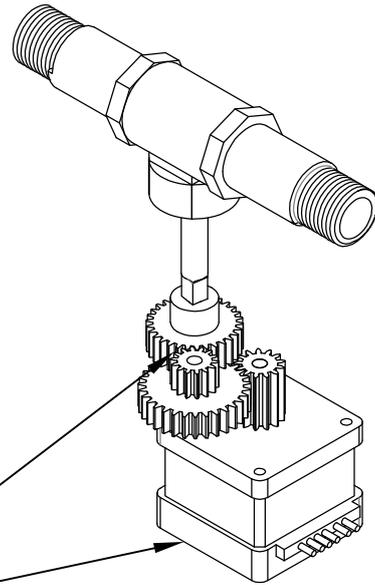
### **Diseño de la servo válvula**

Tubería PVC 1/2"

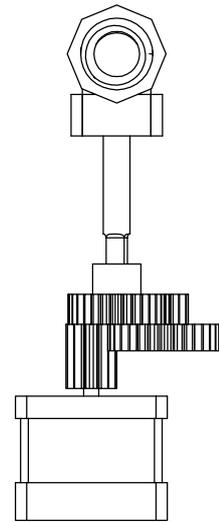


Mecanismo moto reductor

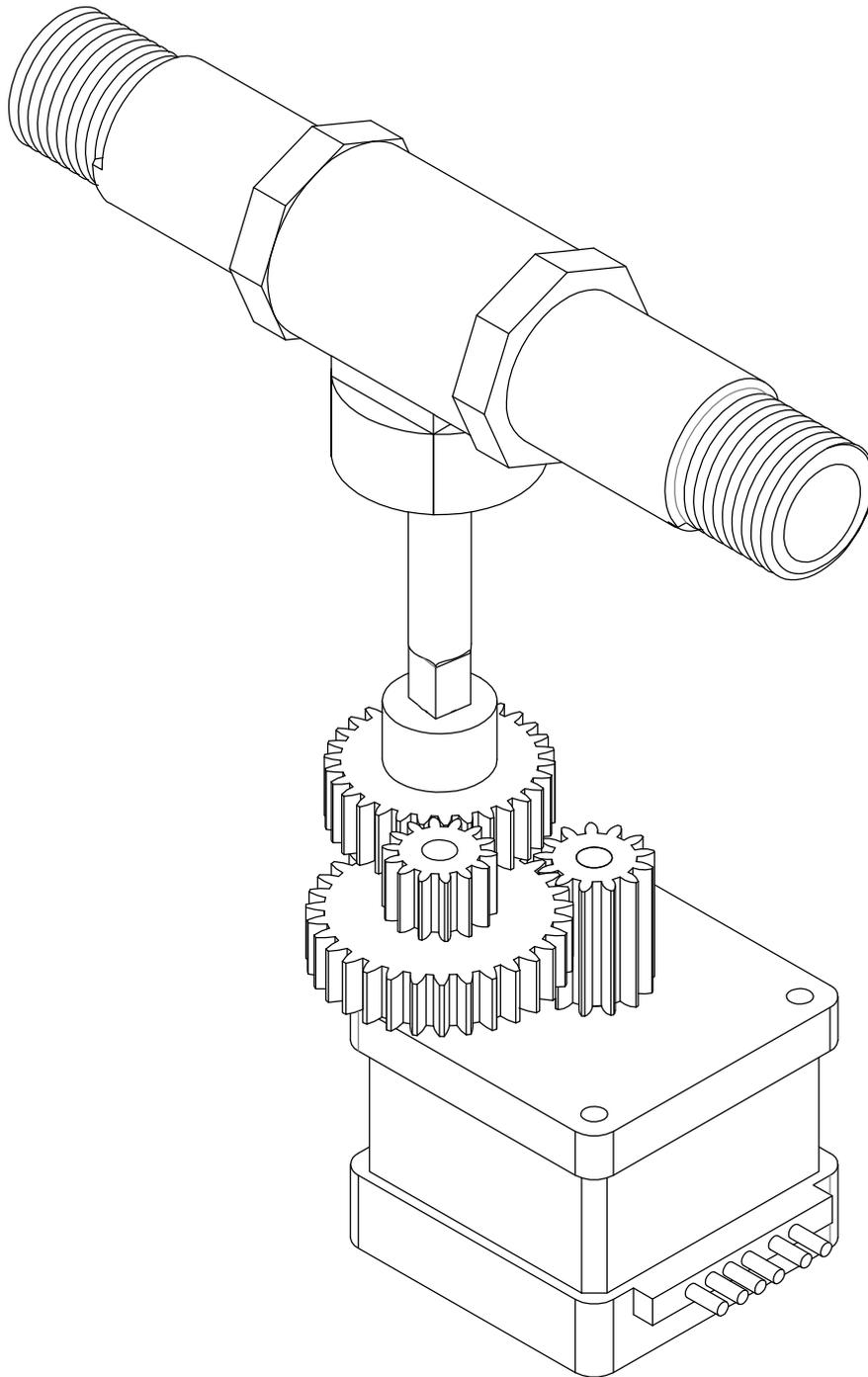
Motor a pasos unipolar



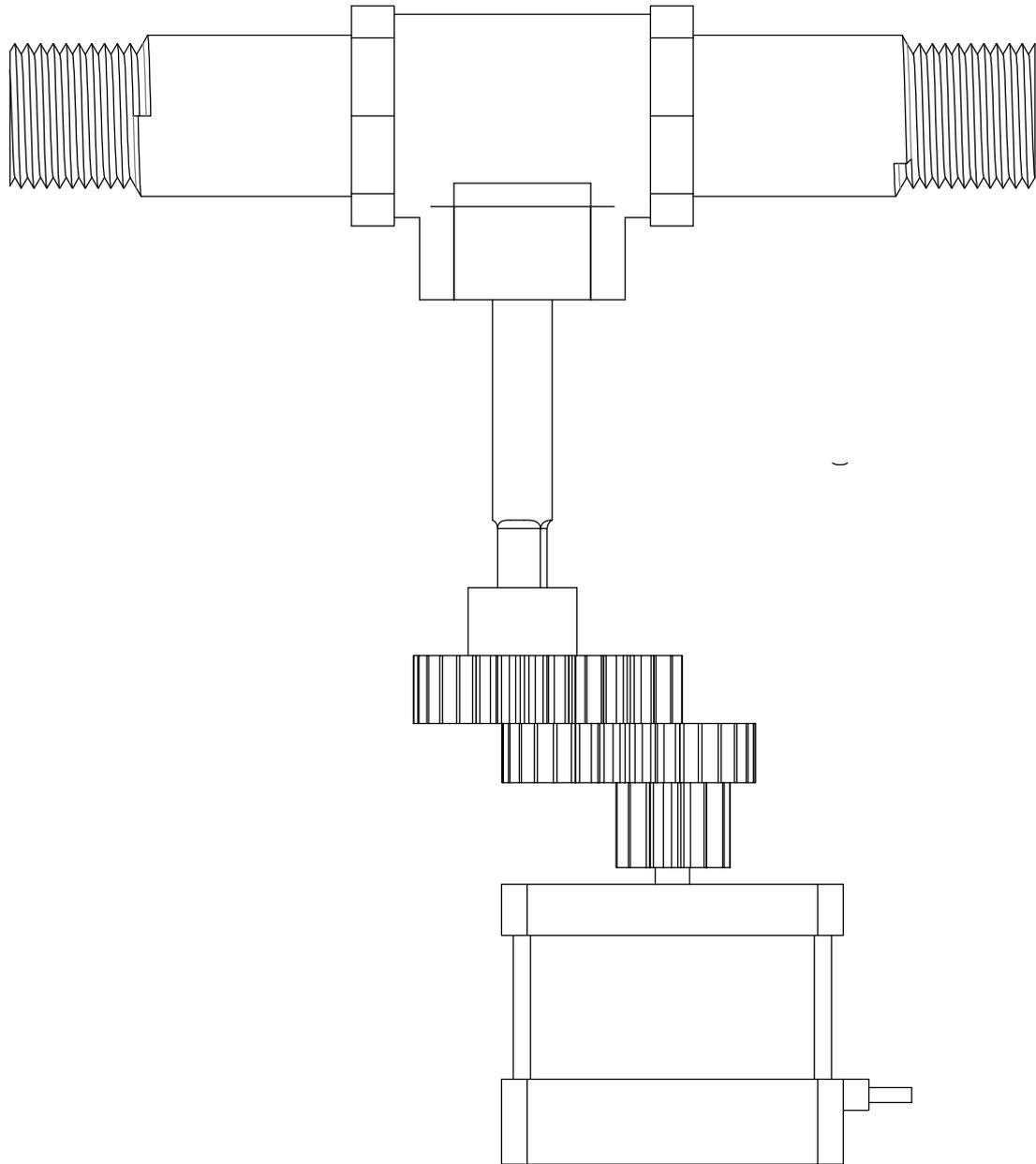
Válvula reguladora de caudal FV de 1/2"



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			Acople de servo válvula	
VERIF.	I. ARAUJO						
APROB.							
FABR.							
CALID.							
					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 17</b>
					PESO:	ESCALA:1:1	
						HOJA 1 DE 1	



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			Acople de la servo válvula	
DIBUJ.	I. ARAUJO						
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	<b>ANEXO 17</b>	
				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		<b>EMAPA</b>			ACABADOS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
<p style="text-align: center;"><b>PROCESO DE DOSIFICADO DE POLIMERO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Acople de la servo válvula</b></p>								
	NOMBRE	FIRMA	FECHA					
DIBUJ.	I. ARAUJO							
VERIF.								
APROB.								
FABR.								
CALID.					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		<b>ANEXO 17</b>
						ESCALA:1:1		
					PESO:	HOJA 1 DE 1		A4

**ANEXO 18**  
**Reporte General**

## REPORTE GENERAL

<b>Fecha de emisión:</b>	<b>02/10/2013 22:53</b>
Elaborado por:	ISRAEL ARAUJO
Fecha del reporte:	02/10/2013
Responsable a cargo en la toma de datos:	ISRAEL ARAUJO
Horario de inicio:	22:51:06
Horario de fin:	22:53:24

## HISTÓRICO

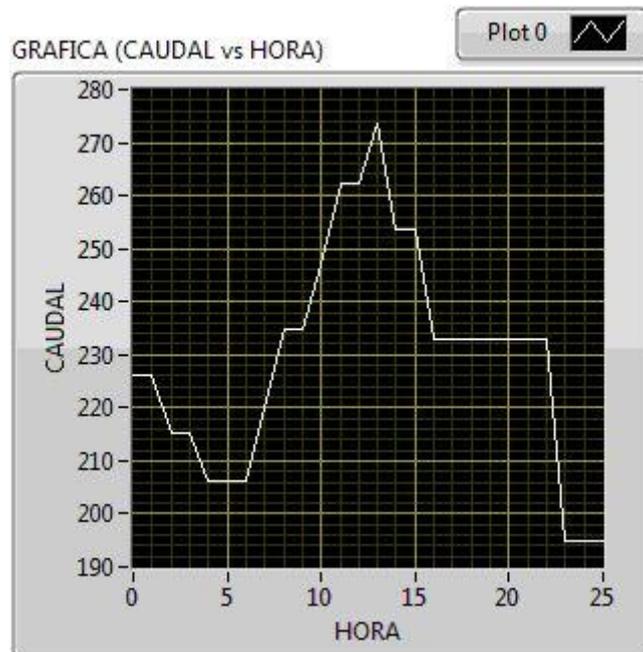
#	FECHA	HORA	OPERADOR	CAUDAL	TURBIEDAD	TIEMPO	CONTROL
0	02/10/2013	22:51:06	ISRAEL ARAUJO	226,305	67,542	3,500	AUTOMÁTICO
1	02/10/2013	22:51:11	ISRAEL ARAUJO	226,305	67,542	3,500	AUTOMÁTICO
2	02/10/2013	22:51:16	ISRAEL ARAUJO	215,068	67,542	3,503	AUTOMÁTICO
3	02/10/2013	22:51:21	ISRAEL ARAUJO	215,068	55,858	3,503	AUTOMÁTICO
4	02/10/2013	22:51:26	ISRAEL ARAUJO	206,015	55,858	4,503	AUTOMÁTICO
5	02/10/2013	22:51:33	ISRAEL ARAUJO	206,015	34,486	5,497	AUTOMÁTICO
6	02/10/2013	22:51:38	ISRAEL ARAUJO	206,015	51,628	4,499	AUTOMÁTICO
7	02/10/2013	22:51:43	ISRAEL ARAUJO	219,962	51,628	3,498	AUTOMÁTICO
8	02/10/2013	22:51:48	ISRAEL ARAUJO	234,916	51,628	3,498	AUTOMÁTICO
9	02/10/2013	22:51:53	ISRAEL ARAUJO	234,916	69,091	3,499	AUTOMÁTICO
10	02/10/2013	22:51:58	ISRAEL ARAUJO	246,674	90,610	3,001	AUTOMÁTICO
11	02/10/2013	22:52:03	ISRAEL ARAUJO	262,359	58,320	3,004	AUTOMÁTICO
12	02/10/2013	22:52:08	ISRAEL ARAUJO	262,359	58,320	3,000	AUTOMÁTICO
13	02/10/2013	22:52:14	ISRAEL ARAUJO	273,639	44,036	4,503	AUTOMÁTICO

**EMPRESA PÚBLICA – EMPRESA MUNICIPAL**  
**DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AMBATO**

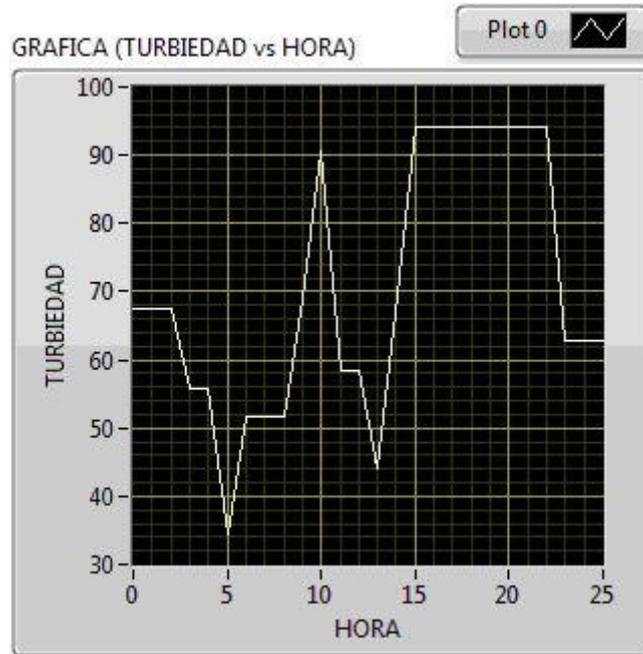


14	02/10/2013	22:52:20	ISRAEL ARAUJO	253,644	66,760	0,000	MANUAL
15	02/10/2013	22:52:25	ISRAEL ARAUJO	253,644	94,093	0,000	MANUAL
16	02/10/2013	22:52:31	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	2,480	MANUAL
17	02/10/2013	22:52:36	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	4,623	MANUAL
18	02/10/2013	22:52:41	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	6,752	MANUAL
19	02/10/2013	22:52:46	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	6,752	MANUAL
20	02/10/2013	22:52:51	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	4,507	MANUAL
21	02/10/2013	22:52:57	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	4,507	MANUAL
22	02/10/2013	22:53:02	ISRAEL ARAUJO	232,899	94,093	3,004	AUTOMÁTICO
23	02/10/2013	22:53:07	ISRAEL ARAUJO	194,910	62,826	4,500	AUTOMÁTICO
24	02/10/2013	22:53:12	ISRAEL ARAUJO	194,910	62,826	4,500	AUTOMÁTICO
25	02/10/2013	22:53:24	ISRAEL ARAUJO	194,910	62,826	4,500	AUTOMÁTICO

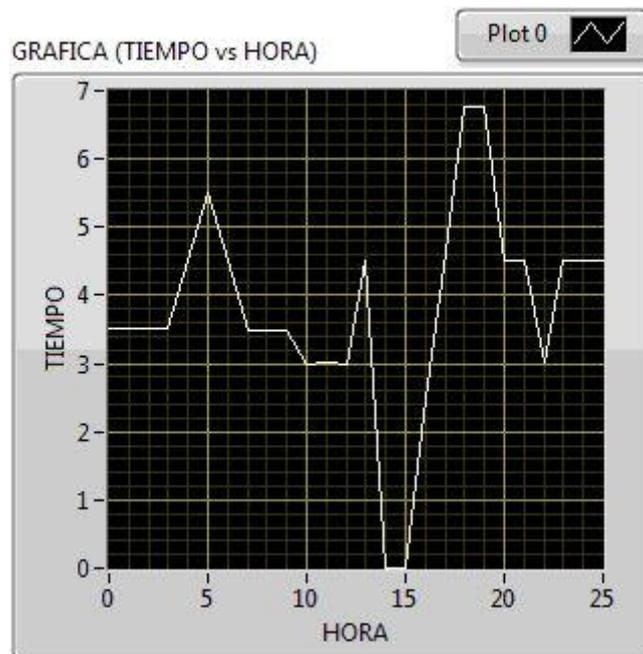
*GRAFICA (CAUDAL vs HORA)*



*GRAFICA (TURBIEDAD vs HORA)*



*GRAFICA (TIEMPO vs HORA)*



*GRAFICA (CAUDAL vs TURBIEDAD)*

**NOTAS:**

**ANÁLISIS DE CAUDAL**

<i>MÁXIMO</i>	<i>MÍNIMO</i>	
273,639	194,910	
<i>MEDIANA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	<i>VARIANZA</i>
229,151	21,426	459,081

**ANÁLISIS DE TURBIEDAD**

<i>MÁXIMO</i>	<i>MÍNIMO</i>	
94,093	34,486	
<i>MEDIANA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	<i>VARIANZA</i>
70,464	18,834	354,708

**ANÁLISIS DE TIEMPO**

<i>MÁXIMO</i>	<i>MÍNIMO</i>	
6,752	0,000	
<i>MEDIANA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	<i>VARIANZA</i>
3,794	1,533	2,349

**ANEXO 19**  
**Manual de Usuario**



# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
PRECAUCIONES.....	4
Advertencia y Precauciones .....	4
ELEMENTOS DEL CONTROLADOR .....	5
CONEXIONES .....	6
FUNCIONAMIENTO.....	8
HMI.....	10
DIFUSOR.....	12
HISTORIAL .....	13
SERVO VÁLVULA .....	14
ALARMA.....	15

## **INTRODUCCIÓN**

El controlador difuso esta diseñado para supervisar, controlar, monitorear las variables que intervienen dentro del proceso de dosificado de polímero.

Además tiene la capacidad de funcionar de manera autónoma o de manera manual, El monitoreo y control del proceso se lo podrá realizar desde una computadora central ubicada en el área del proceso donde los operadores pueden visualizar todas las variables así como tomar los correctivos correspondientes si estos fueran necesarios.

## **PRECAUCIONES**

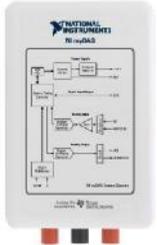
Las siguientes precauciones de seguridad, tratan de evitar riesgos y prevenir daños dentro del proceso, lo que lleva a realizar un uso correcto y seguro del controlador.

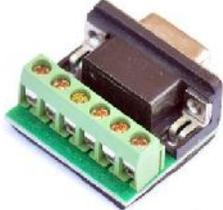
### **Advertencia y Precauciones**

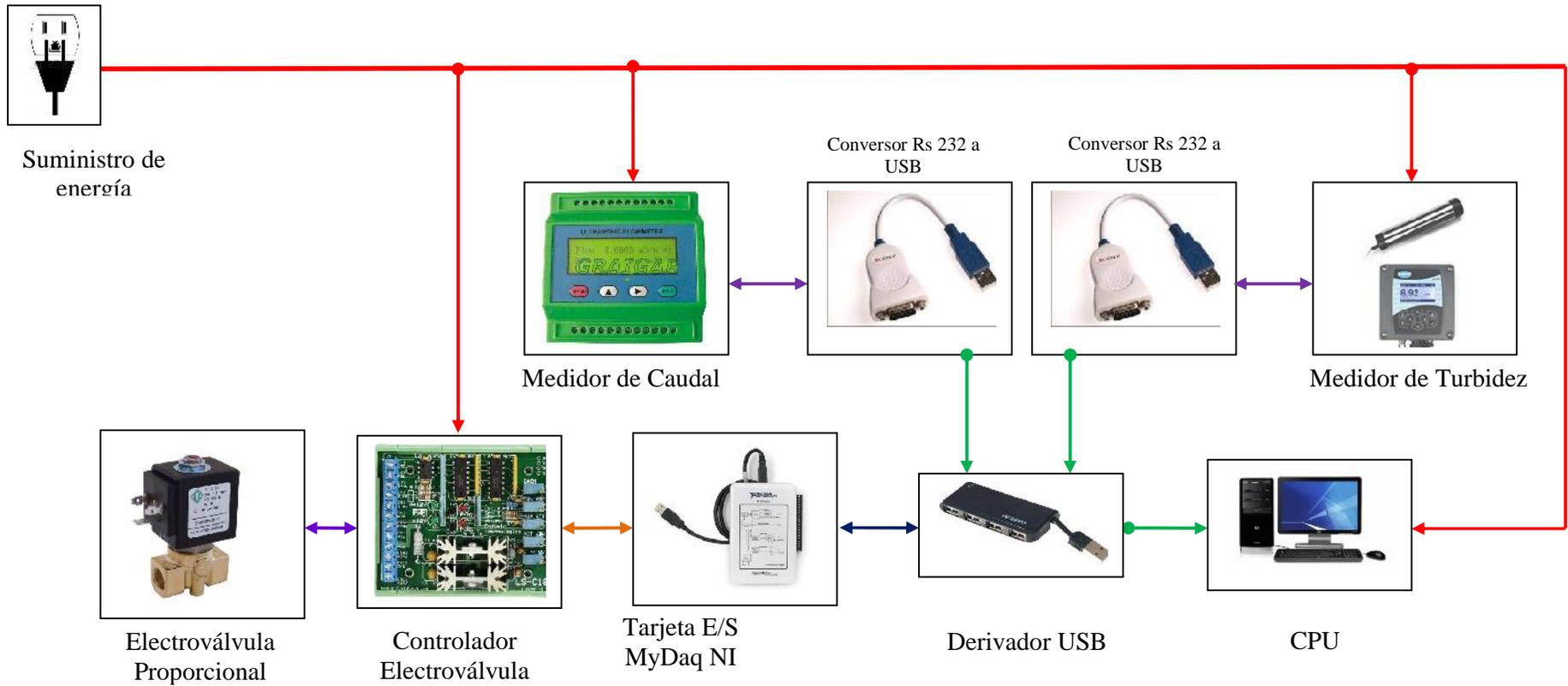
- El controlador debe estar funcionando las 24 horas de día, por lo tanto no desconecte la alimentación del computador central.
- No tocar ni repararlos circuitos sin la debida supervisión de la persona responsable.
- Mantener el área de trabajo libre de humedad, polvo, exceso de sol, estos agentes ambientales podrían causar daño en el correcto funcionamiento del controlador.
- Cerciórese periódicamente que los medidores de caudal y turbiedad estén emitiendo sus valores respectivos, caso contrario de aviso a la persona responsable para que realice el mantenimiento respectivo.
- Recordar que el controlador dispone de circuitos, marts móviles y comunicación de datos, por lo que es recomendable realizar un mantenimiento preventivo.

## ELEMENTOS DEL CONTROLADOR

El controlador difuso contiene los siguientes elementos:

ELEMENTOS	UBICACIÓN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>NI MyDAQ</b>	Tablero de control	Adquisición de datos y transmisión de señal de mando hacia la electroválvula	
<b>MULLTRONICS OCM-3</b>	Sensor ubicado en la entrada del agua cruda, medidor ubicado en panel de control	Medidor de caudal para canales abiertos	
<b>Transmisor Turbiedad Hach SC 100™.</b>	Sensor ubicado en cono, medidor ubicado en panel de control	Medidor de Turbiedad	
<b>Electroválvula proporcional Danfoss EV260B</b>	Dosificado de polímero	Suministro de polímero de acuerdo a los tiempos establecidos	
<b>Computadora Central</b>	Cuarto de Maquinas	Sistema de supervisión y control	
<b>Circuitos de mando</b>	Tablero de control	Control de la electroválvula	

<b>Circuitos de potencia</b>	Tablero control	de	Protección de los actuadores y elementos del controlador	
<b>Conectores RS232</b>	Tablero control	de	Conexión de los sensores al controlador	
<b>Cable</b>	Tablero control	de	Conexión entre los diferentes elementos del controlador.	



Símbolo	Nombre	Configuración
	Alimentación 110Vca	Tres hilos Fase, Neutro, Tierra
	Cable RS232	NullModem apantallado
	Cable de dispositivo USB	USB estandar Tipo A macho
	Cable USB	USB estándar Tipo B macho; Usb estándar Tipo A macho
	Conexión Daq- driver	Punto a punto
	Conexión Driver-electroválvula	Punto a punto

Tanto el medidor de caudal como el de turbiedad se conectan mediante cables a un convertidor DB-9 a USB, de esta manera entablar la comunicación entre los dispositivos de entrada con el computador.

## FUNCIONAMIENTO

El controlador difuso esta desarrollado en Labview y para su correcto funcionamiento debe permaneces activado las 24 horas del día en una computadora central previamente realizado las acciones correspondientes para su utilización.

El controlador cuenta con una base de datos la misma que se encuentra desarrollada en Access y enlazada directamente con el controlador lo cual nos permite realizar cambios, modificar datos o crear usuarios tanto desde Access como desde el mismo controlador. En la base de datos se deben ingresar los datos de todos los operarios que trabajan dentro de la planta del Casigana, los campos a llenar son:

- Cédula
- Nombres
- Apellidos
- Nombre del Usuario
- Contraseña
- Cargo
- Teléfono

CEDULA	NOMBRES	APELLIDOS	NOM_USU_REC_SIST	CONT_USU_REC_SIST	CARGO	TELEFONO
1245786854	ISRAEL	ARAUJO	ISRAEL	ISRAEL	PROGRAMADOR	65535
1245789633	DAVID FERNANDO	RODRIGUEZ VARGAS	DAVID	2222	VISITANTE	032558300
1804017737	PAUL JESUS	RODRIGUEZ VARGAS	JESUS	1234	ADMINISTRADOR	65535
1804017739	SEBASTIAN FABRICIO	SANCHEZ RODRIGUEZ	SEBASTIAN_J	1111	PROGRAMADOR	03255897845
1804593432	DANIEL	JIMENEZ	DANIEL	1234		
4578561256	ALFREDO	RODRIGUEZ	ALFREDO	ALFREDO	VISITANTE	032558300
*						

Con la contraseña que se le asigna a cada uno de los operadores podrán ingresar a visualizar y controlar el proceso de dosificado.

Para ello deben ingresar al sistema de registro donde escribirán su nombre de usuario y contraseña.

SISTEMA DE REGISTRO

FECHA: 03/02/2014 HORA: 22:21

USUARIO: [ ]

CONTRASEÑA: [ ]

INGRESAR

SALIR

OPCIONES ESPECIALES

En **1** se ingresa el nombre de usuario, el nombre que se le asignó como nombre de usuario, en **2** se introduce la contraseña que se le fue asignado, finalmente en **3** se da click para ingresar al controlador difuso.

En el sistema de registro se tiene **opciones especiales** la misma que al dar click se abre una ventana denominada Sistema de Control y Registro, donde ingresar el nombre de usuario y la contraseña, sólo el administrador podrá ingresar.

SISTEMA DE CONTROL Y REGISTRO

USUARIO: [ ]

CONTRASEÑA: [ ]

OK

SALIR

Una vez ingresado el nombre se visualizará dos opciones:

**Explorador de registro:** Se visualizará a todos los usuarios que se encuentren dentro de la base de datos así como modificar alguna de ellas.

**Nuevo registro:** Se creará un nuevo usuario.

**SISTEMA DE CONTROL Y REGISTRO**

**NOMBRES**  
SEBASTIAN FABRICIO

**CEDULA**  
1804017739

**# REGISTRO**  
1

**APELLIDOS**  
SANCHEZ RODRIGUEZ

**TELEFONO**  
03256897845

**DIRECCION**  
AMBATITO

**e-MAIL**  
sebista@gmail.ex

NUEVO REGISTRO

SALIR

EDITAR REGISTRO

ELIMINAR REGISTRO

INICIO ANTERIOR SIGUIENTE ULTIMO

Los operadores tendrán funciones limitadas dentro del controlador esto significa que no podrán visualizar determinadas funciones, sólo el administrador podrá ingresar a todas las pestañas dentro del controlador.

Una vez realizado los tres primeros pasos se estará dentro del panel principal del controlador designado como HMI.

## HMI

En el panel principal cuenta con un visualizador de la hora, fecha, nombre del operador, tipo de control, usuario y registro.

30/09/2013

OPERADOR  
DANIEL JIMENEZ

18:51:09

CONTROL AUTOMATICO (green light)  
MANUAL (red light)

REGISTRO (green light)

USUARIO

**Fecha:** El controlador se actualiza automáticamente y nos muestra la fecha actual.

**Hora:** El controlador asigna la hora exacta en ese instante.

**Operador:** Aquí se visualiza el nombre y apellido del operador a cargo en ese instante del proceso.

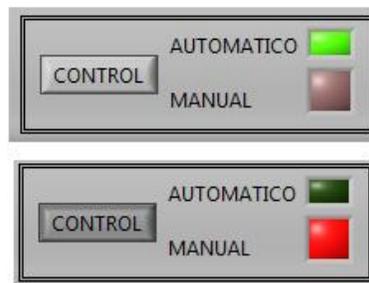
**Usuario:** Dando click en usuario se regresa de nuevo al sistema de registro donde se ingresa un nuevo usuario, esto se lo deberá realizar en cada cambio de turno, recordando que la Planta del Casigana cuenta con 3 turnos diarios.



**Control:** Presionar la palabra control para cambiar la opción de automático a manual, el controlador difuso por defecto empezará a funcionar con la opción automática.

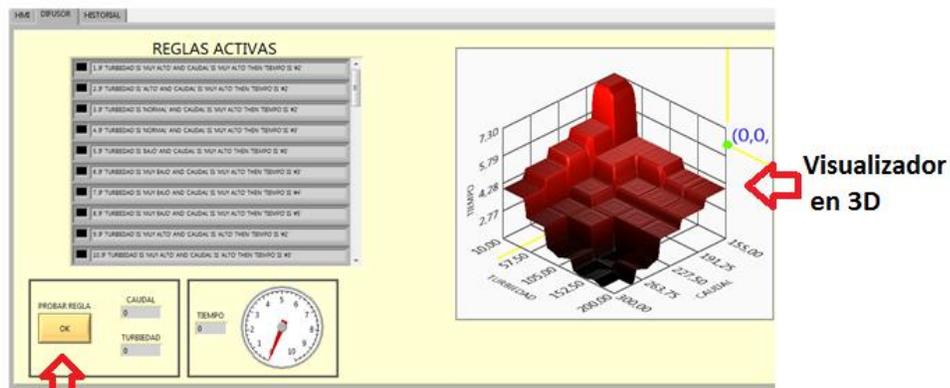


La luz piloto indica el tipo de control que se encuentra, el color verde indica control automático y el color rojo significa que se encuentra en control manual.



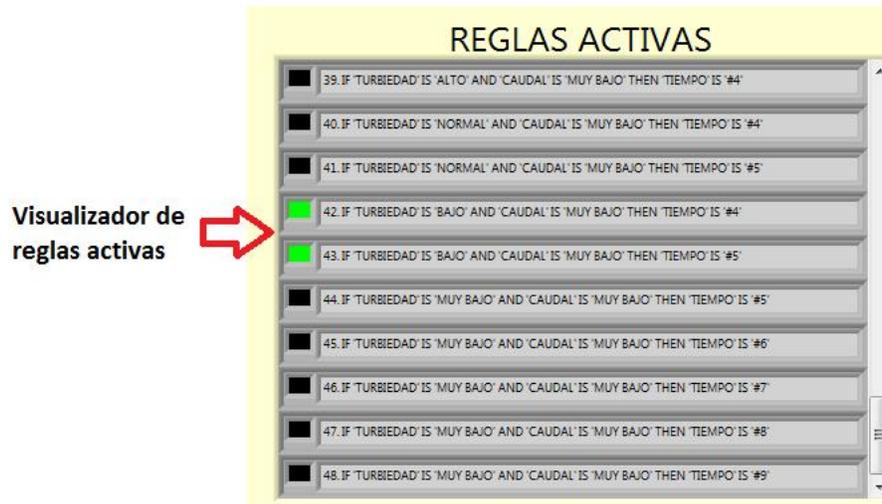
## DIFUSOR

A esta opción únicamente tendrá acceso el administrador y podrá verificar las reglas para realizar los ajustes necesarios. Para ello se da click en la pestaña difusor y se procede a seleccionar la opción probar regla y modificar los valores de caudal y turbiedad lo cual nos permitirá analizar y verificar si las reglas están acorde a los criterios de dosificado.

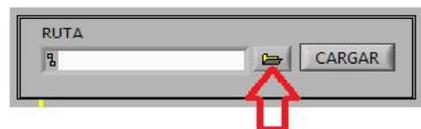


Click para iniciar comprobación

En esta pantalla se visualiza un led de color verde cuando la o las reglas estén en uso.



Después de realizar estas pruebas se detecta un deterioro en su funcionamiento, el administrador tendrá a potestad de realizar los ajustes necesarios al controlador desde la opción **Fuzzy System Designer**, una vez realizados los ajustes correspondientes podrá cargar el archivo al controlador y automáticamente el programa empezará a funcionar con el nuevo control fuzzy.



Seleccionar el nuevo controlador fuzzy

## HISTORIAL

Es otra pantalla de acceso restringido para los operadores, se puede visualizar todos los datos que el controlador a registrado, para poder ir cambiando de datos debe dar click en las opciones que se encuentran ubicado en la parte inferior de la pantalla.

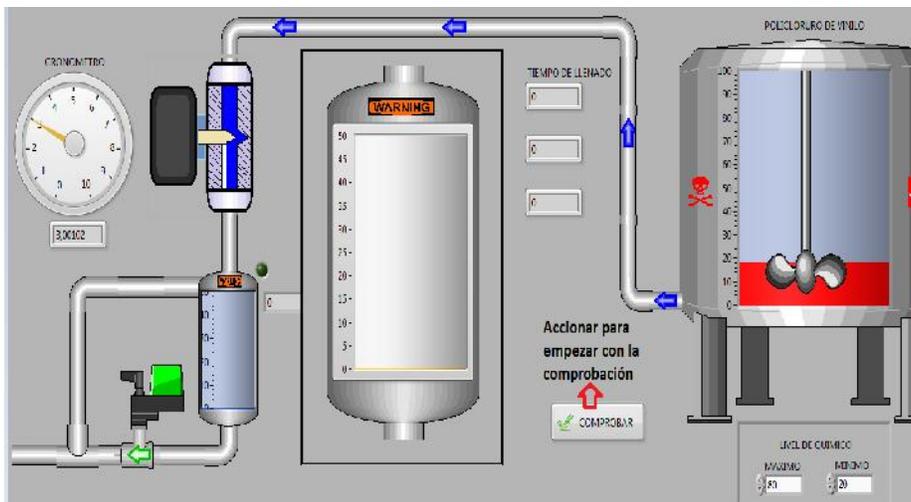
El administrador podrá visualizar los registros en forma gráfica o tabulados los datos para ello solo debe seleccionar la opción deseada.



Dando click en crear informe crea un archivo en Word donde se encuentra todos los registros producidos en el controlador y permitirá al administrador imprimir los reportes y ser utilizados a su conveniencia.

## SERVO VÁLVULA

En esta pantalla se realiza la verificación del tiempo de dosificado, el operador debe accionar, comprobar y empezará a visualizar en tiempo real la verificación.



## ALARMA

En esta pantalla se puede monitorear los parámetros que intervienen en el controlador, así como puntos críticos dentro del proceso lo cual se acciona una alarma sonora para que tomen los correctivos necesarios los responsables del proceso.

