



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



**DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA  
DESMINERALIZADA I-103 DE UN COMPLEJO PETROQUÍMICO**

**REALIZADO POR:**  
**GUTIÉRREZ, MAYRA**  
**PÉREZ, JULIO**

**BÁRBULA, JUNIO DE 2013**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



**DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA  
DESMINERALIZADA I-103 DE UN COMPLEJO PETROQUÍMICO**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICÍSTA**

**REALIZADO POR:**  
**GUTIÉRREZ, MAYRA**  
**PÉREZ, JULIO**

**BÁRBULA, JUNIO DE 2013**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



### **CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del jurado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “**DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA DESMINERALIZADA I-103 DE UN COMPLEJO PETROQUÍMICO**”, realizado por los bachilleres: Gutiérrez Hoyos Mayra Alejandra, C.I.: 19.842.872, y Pérez Di Egidio Julio Alberto, C.I.: 18.060.533, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Oriana Barrios  
TUTOR

---

Prof. Teddy Rojas  
JURADO

---

Prof. Norma Vargas  
JURADO

Bárbula, Junio 2013



## RESUMEN

El presente trabajo de grado plantea una propuesta de Diseño de la Automatización de la Planta de Agua Desmineralizada I-103 del Complejo Petroquímico Morón, con el fin de mejorar el proceso llevado a cabo actualmente en la misma y cambiar de una manipulación manual a una automática. Esto ya que la instalación presenta dificultades para la empresa en cuanto al control efectivo y la seguridad para el operador, debido a que actualmente se maneja mediante una operación manual que no cumple con los estándares requeridos por la empresa.

La metodología empleada para este trabajo fue canalizada mediante un diseño documental descriptivo y el tipo de investigación aplicada para dar cumplimiento al alcance y a las metas establecidas en este trabajo. Fue necesario en primer lugar realizar una investigación en la que se empleó observación directa e indirecta en la recaudación de la información, se determinaron los equipos en estado de obsolescencia para ser reemplazados, se establecieron las herramientas necesarias para el diseño (PLC Quantum Unity Pro e IHM Indusoft Web Studio), se actualizó el plano de instrumentación, se diseñaron los planos necesarios para la instalación de hardware y por último se documentó de manera concisa y detallada toda la información relativa al diseño propuesto para una fácil implementación e instalación por parte del personal especializado de la empresa Pequiven.

El propósito final de este trabajo es el de facilitar la automatización de la planta al brindar las pautas necesarias para dicho fin, utilizando como guía la información compilada y esquematizada que cubre lo justo para cumplir la meta establecida por la empresa; mantenerse a la vanguardia tecnológica y proveer de condiciones seguras de trabajo a sus empleados.



Palabras Claves:

- Agua Desmineralizada.
- Intercambio iónico.
- Automatización.
- PLC (Controlador Lógico Programable).
- IHM (Interfaz Humano-Máquina).



## AGRADECIMIENTOS

*Primeramente agradezco a mis padres por darme el apoyo para culminar mis estudios, por brindarme su amor y su confianza para lograr este triunfo, que más que mío, es nuestro.*

*A nuestra tutora Oriana Barrios por brindarnos su colaboración y orientación en el desarrollo del presente trabajo de grado y durante la carrera.*

*Al complejo Petroquímico Morón por habernos abierto sus puertas, especialmente al Ing. Edgleen Reyes y la Ing. Tibisay Salazar, nuestros tutores empresariales, gracias por los aportes dados para el desarrollo de este trabajo, y la colaboración brindada en la empresa.*

*Muchas gracias a Javier Troya, por lograr que saliera una sonrisa en mi rostro en los momentos de más estrés, por la atención brindada durante la tesis y por ser testigo de nuestros logros.*

*Gracias por el apoyo brindado durante el desarrollo de la tesis a mi compañero Julio Pérez y su familia.*

*A mis hermanos y amigos por todo el tiempo compartido con ellos.*

*Gracias a quienes no mencione pero de igual manera son importantes.*

*Finalmente, Gracias a todo y a todos.*

*Mayra A. Gutiérrez H.*



## DEDICATORIA

*Principalmente y con mucho cariño a mis Padres, Diana Hoyos y Jorge Gutiérrez, sin la ayuda de ustedes no podría haber llegado hasta donde he llegado. Gracias por creer en mí.*

*A la ilustre Universidad de Carabobo, quien me albergo en su seno durante mi carrera, que a pesar de algunos traspies y dificultades, he logrado mi formación como Ing. Electricista.*

*Se lo dedico a mi familia: hermanos, abuelos, tíos, primos, que aunque algunos se encuentren lejos, se les tiene en el corazón.*

*A los profesores de nuestra facultad de ingeniería, sin los cuales nuestra formación como profesionales no fuese sido posible. Gracias por guiarnos.*

*A mis amigos, que han estado conmigo durante la carrera y algunos fuera de ella. Los aprecio.*

*Por último, pero no menos importante, a Javier Troya, que aunque no estuvo conmigo durante toda la carrera, ha estado presente los últimos años con su apoyo incondicional.*

*Mayra A. Gutiérrez H.*

***“Un sutil pensamiento erróneo puede dar lugar a una indagación fructífera que revela verdades de gran valor.”***

***Isaac Asimov.***



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar quiero agradecer a mi madre y a mi padre por ser artífices de mi existencia y por siempre destinar en mí grandes esperanzas y sueños. También por enseñarme desde pequeño la importancia que posee el estudio, que me sirvió de impulso para cumplir esta meta.*

*Quiero agradecer también a mi familia, a mis tías y tíos que me han apoyado de gran manera en muchas facetas de mi vida y en una de las más importantes como lo es esta; siempre han estado dispuestos a asistirme en los momentos en que los he necesitado. Espero poder recompensarlos y ser razón de orgullo en sus corazones.*

*A nuestra tutora empresarial la Ing. Tibusay Salazar que nos apoyó desde un principio y dedico mucho de su ser a ayudarnos a cumplir nuestros objetivos, y que aunque quizá no tenga oportunidad de leer esto que sepa que dejó huella, no solo por asistirnos en nuestro trabajo sino por sus charlas y su empeño de hacernos mejores individuos.*

*A nuestro tutor empresarial el Ing. Edgleen Reyes a quien admiro mucho por su dedicación, su increíble saber y su excelente disposición a asistirnos en lo que necesitáramos. Gracias.*

*Al personal del departamento de Automatización y Control de la Gerencia Técnica de Pequiven que nos colaboraron y trabajaron con nosotros. Al Ing. Humberto Sarmiento y al Ing. Cesar Freitez por toda la colaboración brindada.*

*A nuestra tutora la Prof. Oriana Barrios por aceptarnos bajo su ala, por guiarnos con su conocimiento y brindarnos su disposición.*





---

*A mi amiga y hermana Verónica Guadagno por siempre estar ahí conmigo en las buenas y en las malas y por siempre brindarme palabras de aliento cuando mis ánimos decaían.*

*A mi compañera de tesis Mayra Gutiérrez con la que compartí por tanto tiempo y con la que cumplo esta meta gracias al trabajo en equipo. A veces el camino se tornó pedregoso pero caminamos juntos y salimos triunfantes.*

*Para finalizar agradezco a todo aquel que colocó su granito de arena en pro del cumplimiento de esta meta. Gracias por ser parte de este logro.*

*Julio A. Pérez D.*



## DEDICATORIA

*Dedico el cumplimiento de esta meta a mis padres que son los que me han acompañado en todo y me han dedicado mucho amor y confianza. A Dios por siempre estar a mi lado y a todo el que ha creído en mí.*

*A todos mis profesores que dejaron parte de ellos en mí, tanto en forma de conocimiento como también de inspiración.*

*A nuestra grande y prestigiosa Universidad de Carabobo por brindarme la oportunidad de convertirme en un profesional apto y orgulloso de haber estudiado en este centro de estudios.*

*A mi familia a la que quiero mucho y que siempre llevo en mi corazón.*

*A todos mis amigos, que me han enseñado lecciones de vida y que forman parte de mi ser.*

*A todo aquel que no se sienta suficiente para cumplir sus metas, que sepa que con trabajo, constancia y dedicación nada es imposible.*

*Finalmente a ti que te encarnaste profundamente dentro de mí y que fuiste motor de mis acciones en muchas oportunidades.*

*Julio A. Pérez D.*



## INTRODUCCIÓN

En el transcurso de la historia, el ser humano ha estado creando, mejorando numerosos mecanismos y procesos basándose en sus destrezas para cubrir la creciente demanda de productos y servicios por parte de la sociedad. Como resultado de esto, se han venido desarrollando distintas metodologías y tecnologías para tratar los problemas que han surgido en los procesos, en las maquinarias y con el rendimiento de las habilidades de las personas que laboran, todo esto por el esfuerzo de asegurar el mejor rendimiento de las metas que se plantean día a día en las empresas.

En este mismo sentido ha crecido la importancia referente a las tecnologías que se usan para manejar los procesos que se llevan en una planta, en las cuales se busca que la producción sea máxima y eficiente, para así minimizar costos en mantenimiento y asegurar la vida útil de los equipos relacionados con estas. Además cuando se manejan procesos en instalaciones con productos químicos, se corren riesgos de vida por accidentes o mala manipulación de los instrumentos asociados a estos.

En el contexto de la tecnología, la automatización de los procesos en una planta se hace necesaria cuando esta posee varios peligros evidentes en el caso de la industria petrolera y química. Esto trae beneficios en muchos sentidos, como lo es controlar las variables que se manejan en la instalación, poseer monitorización de los cambios que podrían ocurrir y así aplicar inmediatamente las medidas respectivas, evitar el contacto directo con el proceso de parte de los operadores y minimizar los riesgos de accidentes de los mismos. De igual manera es muy importante esta aplicación para que la planta posea una gran productividad.

De acuerdo con esto, el éxito en la producción de una empresa se desarrolla en la efectividad de sus procesos. En tal sentido el presente trabajo de grado plantea la modernización a nivel de una instalación, ya que se propone el diseño de la automatización



de la planta de agua desmineralizada I-103 de un complejo petroquímico que permitirá actualizar la misma para el manejo de las variables involucradas.

El diseño de esta automatización consiste en el planteamiento de nueva instrumentación capaz de transmitir las señales de cada una de las variables involucradas al PLC Modicon Quantum el cual procesará las mismas mediante el software Unity Pro XLS y a la vez este se conectará con la Interfaz Humano-Máquina Indusoft Web Studio, la cual permitirá la visualización en la pantalla de un computador, y así los operadores podrán monitorizar el proceso desde su cabina.

El presente trabajo de grado está conformado por cinco capítulos, en los cuales se observa el orden aplicado en el desarrollo del proceso de investigación, de forma tal, que permita lograr todos los objetivos específicos propuestos.

En este sentido, en el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos planteados para alcanzar el éxito de la investigación, así como también se presentan las condiciones que justifican la realización del proyecto y culmina con el alcance de la investigación.

En el Capítulo II, se presentan los antecedentes y las bases teóricas necesarias para el desarrollo del diseño de la automatización, tales como conceptos básicos sobre la producción de agua desmineralizada y la aplicación de la metodología de control de la misma, funcionamiento y operación del proceso de producción de agua desmineralizada, descripción y configuración del PLC Modicon Quantum, el software Unity Pro XLS y el IHM Indusoft Web Studio, además se explican la generalidades de las Normas ISA para la especificación de los instrumentos.

En el Capítulo III, se explica el tipo y diseño de investigación, así mismo la estructura organizativa de las fases metodológicas que se requieren llevar a cabo para lograr los



objetivos propuestos, indicando además las técnicas e instrumentos de recolección de información necesaria para el desarrollo del presente trabajo de grado.

En el Capítulo IV, se exponen cada uno de los resultados obtenidos de acuerdo a cada fase metodológica, haciendo énfasis en la instrumentación que se propone agregar, la configuración del PLC, el desarrollo de la programación, la creación de las pantallas del operador en el IHM utilizado y especificación de los planos de instrumentación y metalmecánicos agregados al diseño.

El Capítulo V, contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo de este trabajo, en función del cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Adicionalmente se ha incluido una sección de apéndice que contiene detalles del programa creado en el Unity Pro, las pantallas del operador en el Indusoft Web Studio, las hojas de parámetros de operación y especificación de los instrumentos según las Norma ISA 20.00.03-2001 y los planos realizados.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa esquemático de Pequiven.....2

Figura 2.1. Escala de pH.....11

Figura 2.2. Control supervisor.....17

Figura 2.3. Proceso I-103.....20

Figura 2.4. Modicon Quantum.....21

Figura 2.5. Modificación de tamaño de bastidor.....22

Figura 2.6. Ventana de elección de un nuevo módulo.....23

Figura 2.7. Ventana de resultados.....24

Figura 2.8. Creación automática de variables.....24

Figura 2.9. Lista de variables creadas en el módulo seleccionado.....25

Figura 2.10. Direccionamiento de variables.....26

Figura 2.11. Creación de una variable nueva.....28

Figura 2.12. Secciones de la tarea MAST.....29

Figura 2.13. Nueva sección.....29

Figura 2.14. Creación de una nueva sección.....29

Figura 2.15. Orden de ejecución de las secciones.....30

Figura 2.16. Lenguaje de Programación LD.....31

Figura 2.17. Representación en Lenguaje FBD.....32

Figura 2.18. Conjunto de Librerías.....33

Figura 2.19. Menú generar-Regenerar todo el proyecto.....34

Figura 2.20. Ventana de resultados con errores de aplicación.....34

Figura 2.21. Ventana de resultados con el proyecto compilado correctamente.....35

Figura 2.22. Menú PLC -> Establecer dirección.....36

Figura 2.23. Ventana en la que se define la conexión con el PLC.....37

Figura 2.24. Ventana que indica la buena configuración de la dirección.....37

Figura 2.25. Ventana que indica un error de configuración.....38

Figura 2.26. Menú PLC – Conectar.....38



Figura 2.27. Menú PLC – Transferir proyecto a PLC.....	38
Figura 2.28. Menú PLC – Ejecutar – Aceptar.....	39
Figura 2.29. Menú Generar–Generar cambios.....	39
Figura 2.30. Ejemplo de control de proceso.....	40
Figura 2.31. Creación de una Nueva pantalla.....	41
Figura 2.32. Propiedades de pantalla.....	41
Figura 2.33. Pestaña Esquema del objeto Rectángulo.....	42
Figura 2.34. Pestaña Animación del objeto Rectángulo.....	42
Figura 2.35. Pestaña Tipo de animación del objeto rectángulo.....	43
Figura 2.36. Menú Herramientas – Librerías de pantalla de operador.....	43
Figura 2.37. Librería de pantallas de operador.....	44
Figura 2.38. Entorno de trabajo de Indusoft Web Studio.....	45
Figura 2.39. El espacio de trabajo de IWS.....	46
Figura 2.40. Ventana de propiedades de los objetos.....	49
Figura 2.41. Propiedades de los objetos (Reemplazo).....	50
Figura 2.42. Ventana New -> Pestaña Project.....	53
Figura 2.43. Project Wizard.....	54
Figura 2.44. Insertar una pantalla nueva.....	55
Figura 2.45. Ventana de atributos de pantalla.....	55
Figura 2.46. Cambiar color de fondo.....	56
Figura 2.47. Pestaña Comm del Workspace.....	57
Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de la planta I-103.....	71
Figura 4.2. Rutinas de los Filtros F-1 y F-2.....	73
Figura 4.3. Rutinas del Cati3n Tren Grande.....	73
Figura 4.4. Rutinas del Ani3n Tren Grande.....	74
Figura 4.5. Rutinas del Suavizador.....	75
Figura 4.6. Instrumentaci3n obsoleta de la instalaci3n I-103.....	79
Figura 4.7. Sensor tipo toroidal de diámetro amplio y estrecho.....	82
Figura 4. 8. Sensor de pH con electrodo de vidrio.....	83



Figura 4.9. Transmisor de nivel por presión diferencial.....	84
Figura 4.10. Medición de nivel por ultrasonido.....	84
Figura 4.11. Medición de flujo con placa orificio.....	85
Figura 4.12. Medición con un flujómetro magnético.....	86
Figura 4.13. Transmisor de Presión con válvulas Manifolds.....	86
Figura 4.14. Transmisor de temperatura y sensor RTD pt100.....	87
Figura 4.15. Arquitectura general del sistema de procesos.....	98
Figura 4.16. Fuente de alimentación 140CPS11420.....	99
Figura 4.17. Vista Frontal del CPU Unity 140CPU65150.....	100
Figura 4.18. LEDs indicadores de estado y detalle de conexión del módulo 140 DAI 540 00.....	102
Figura 4.19. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del módulo 140 ACI 040 00.....	103
Figura 4.20. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del módulo 140 DAO 853 00.....	104
Figura 4.21. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del módulo 140 DRA 840 00.....	105
Figura 4.22. Conexión de red RIO.....	106
Figura 4.23. Indicadores LED de estado del módulo de comunicación RIO.....	107
Figura 4.24. Partes del módulo de E/S remotas (RIO).....	107
Figura 4.25. Indicadores LED de estado del módulo de estación RIO.....	108
Figura 4.26. Pasos para crear una aplicación en Unity Pro.....	110
Figura 4.27. Ventana de escogencia del procesador.....	111
Figura 4.28. Ventana de bus local y escogencia del bastidor.....	112
Figura 4.29. Ventana de Bus local.....	112
Figura 4.30. Ventana de Bus RIO.....	113
Figura 4.31. Configuración global del CPU seleccionado.....	113
Figura 4.32. Creación de la red Ethernet.....	114
Figura 4.33. Configuración de la red Ethernet.....	115





Figura 4.34. Configuración de la red lógica en el CPU.....	115
Figura 4.35. Variables elementales y derivadas.....	117
Figura 4.36. Bloques funcionales listados en el programa.....	118
Figura 4.37. Secciones creadas en la programación.....	119
Figura 4.38. Diagrama de flujo general de las restricciones.....	120
Figura 4.39. Diagrama de la sección de Inicialización.....	120
Figura 4.40. Diagrama de la sección de Asignaciones_DI_DO_Memoria.....	121
Figura 4.41. Diagrama de la sección de Asignaciones_AI_Memoria.....	121
Figura 4.42. Diagrama de la sección de Base_Tiempo.....	122
Figura 4.43. Diagrama de la sección de Conversión_AI_ING.....	122
Figura 4.44. Diagrama de flujo de la sección Filtro_1 y Filtro_2.....	123
Figura 4.45. Diagrama de flujo de la secciones Catión y Anión.....	124
Figura 4.46. Diagrama de flujo de la sección Suavizador.....	125
Figura 4.47. Diagrama de la sección Bombas.....	125
Figura 4.48. Diagrama de la sSección Tanque_H2SO4_SR_2A.....	126
Figura 4.49. Diagrama de la sección Tanque_SR_3A.....	126
Figura 4.50. Despliegue de las pantallas internas del operador.....	128
Figura 4.51. Ventana principal del Indusoft Web Studio.....	130
Figura 4.52. Base de datos del Indusoft (Application Tags).....	131
Figura 4.53. Base de datos del Indusoft (Class).....	131
Figura 4.54. Despliegue de las pantallas del operador (Screen).....	132
Figura 4.55. Ejemplo de los componentes de la pantalla (Anión).....	133
Figura 4.56. Diagrama del desplazamiento de las pantallas.....	136
Figura 4.57. Ventana de comunicación por Drivers.....	137
Figura 4.58. Ventana de configuración del driver de comunicación.....	138
Figura 4.59. Despliegue de hojas de trabajo y formato de hojas de trabajo.....	139



ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Planteamiento del Problema.....1

    1.1. Planteamiento del problema.....1

    1.2. Justificación del problema.....4

    1.3. Objetivos.....5

        1.3.1. Objetivo General.....5

        1.3.2. Objetivos Específicos.....5

    1.4. Alcance.....6

Capitulo II. Marco teórico.....7

    2.1. Antecedentes.....7

    2.2. Bases teóricas.....10

        2.2.1. Conceptos Básicos.....10

        2.2.2. Bases de funcionamiento y operación del proceso de producción de agua desmineralizada.....17

            2.2.2.1. Fundamentos del intercambio iónico.....17

            2.2.2.2. Descripción del mecanismo para remoción de contra-iones por intercambio iónico.....19

            2.2.2.3. Proceso de obtención de agua desmineralizada.....19

        2.2.3. Descripción y configuración de la gama de PLC Modicon de Schneider Electric.....20

            2.2.3.1. Configuración básica.....21

            2.2.3.2. Editor de datos.....25

            2.2.3.3. Sección de programación.....29

            2.2.3.4. Pantalla de operador.....40

        2.2.4. Descripción y configuración del programa IHM Indusoft Web Studio.....44

        2.2.5. Generalidades de la Norma ISA 20.00.03-2001.....57

Capitulo III. Marco metodológico.....63

    3.1. Diseño y Tipo de Investigación.....63



3.2. Técnicas de Investigación o Recolección de Datos.....	64
3.3. Fases Metodológicas.....	67
3.3.1. Análisis del Proceso de la planta de Agua Desmineralizada I-103 a fin de establecer las necesidades del diseño propuesto.....	67
3.3.2. Diseño del sistema de control para la planta I-103.....	67
3.3.3. Diseñar una interfaz Humano-Máquina mediante el software de creación de IHM Indusoft.....	68
3.3.4. Elaboración y actualización de planos.....	68
Capitulo IV. Resultados.....	69
4.1. Análisis del Proceso de la planta de Agua Desmineralizada I-103 a fin de establecer las necesidades del diseño propuesto.....	69
4.2. Diseño del sistema de control para la planta I-103.....	78
4.3. Diseño de la interfaz Humano-Maquina mediante el software de creación IHM Indusoft.....	129
4.4. Elaboración y actualización de planos.....	139
Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	141
Conclusiones.....	141
Recomendaciones.....	143
Referencias Bibliográficas.....	144
<b>Apéndices.....</b>	<b>147</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>209</b>



ÍNDICE GENERAL

Portada 1.....	I
Portada 2.....	II
Certificado de Aprobación.....	III
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Dedicatoria.....	VIII
Índice General.....	IX
Índice de Contenido .....	X
Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas.....	XVI
Resumen.....	XVIII
Introducción.....	XIX



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1. Variables y tipos de datos elementales.....26

Tabla 2.2. Descripción de los campos para la creación de variables.....28

Tabla 2.3. Parámetros de conexión.....36

Tabla 2.4. Variables cagadas en la Base de datos.....47

Tabla 2.5. Descripción de la ventana de propiedades de los objetos.....50

Tabla 2.6. Descripción de la ventana de propiedades de los objetos (Reemplazo).....51

Tabla 2.7. Carpetas de variables del IWS.....52

Tabla 2.8. Tipo de variables manejadas en el IWS.....52

Tabla 2.9. Parámetros correlacionados.....61

Tabla 4.1. Categoría sobre sistemas de control automatizados.....69

Tabla 4.2. Referentes teóricos sobre el proceso y las rutinas de trabajo de la I-103. ....70

Tabla 4.3. Instrumentos presentes actualmente en la instalación 103.....75

Tabla 4.4. Normas utilizadas en el desarrollo del proyecto.....77

Tabla 4.5. Instrumentos a sustituir respecto al diseño propuesto en la planta I-103.....80

Tabla 4.6. Instrumentos de análisis a agregar respecto al diseño propuesto.....88

Tabla 4.7. Instrumentos de nivel a agregar respecto al diseño propuesto.....89

Tabla 4.8. Instrumentos de flujo a agregar respecto al diseño propuesto.....89

Tabla 4.9. Instrumentos de presión a agregar respecto al diseño propuesto.....90

Tabla 4.10. Instrumentos de temperatura a agregar respecto al diseño propuesto.....91

Tabla 4.11. Señales digitales de entrada.....92

Tabla 4.12. Señales analógicas de entrada.....93

Tabla 4.13. Señales discretas de salida.....94

Tabla 4.14. Referentes teóricos sobre el PLC Modicon Quantum.....96

Tabla 4.15. LEDs Indicadores Estado modulo DI 140DAI54000.....101

Tabla 4.16. LEDs Indicadores Estado módulo AI 140ACI04000.....103

Tabla 4.17. LEDs Indicadores Estado modulo DO 140DAO85300.....104

Tabla 4.18. LEDs Indicadores Estado modulo DO 140DRA84000.....105



## ÍNDICE DE TABLAS

---



Tabla 4.19. LEDs Indicadores Estado modulo expansión 140CRP93X00.....	107
Tabla 4.20. Indicadores luminosos módulo 140CPA93X00.....	108
Tabla 4.21. Referentes teóricos sobre el software de programación Unity Pro XLS.....	109
Tabla 4.22. Referentes teóricos sobre el software IHM Indusoft.....	129



## CAPÍTULO I

### PROBLEMA

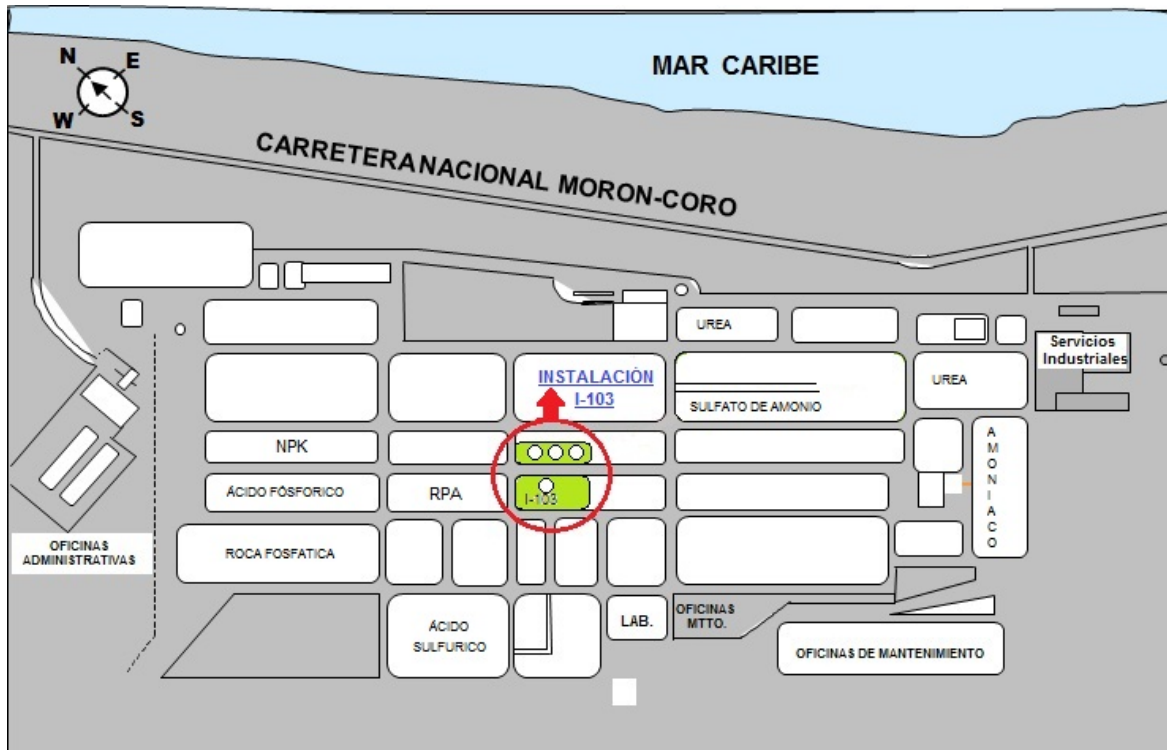
En este capítulo se describen los aspectos relacionados con el Problema de investigación, tales como el Planteamiento del Problema, la Justificación de la investigación, los objetivos, tanto el general como los específicos así como el alcance de la misma.

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Complejo Petroquímico Morón (CPM), está ubicado en la costa del estado Carabobo, cercano a la población de Morón, y es el mayor productor de fertilizantes del país. Su producción es destinada básicamente a la manufactura de urea, sulfato de amonio (SAM) y fertilizantes granulados NPK/NP. Este complejo está dividido en dos áreas principales: área de Nitrogenados y área de Fosfatados. El área de Nitrogenados comprende las plantas de amoníaco, urea y servicios industriales y el área de Fosfatados conformado por las plantas: Ácido fosfórico, Ácido sulfúrico, Granulados NPK, Fosfato diamónico (DAP) y Sulfato de amonio (SAM I-330). [1]

El área de Servicios Industriales en el CPM, está provista de instalaciones capaces de abastecer los servicios básicos que requieren sus operaciones, principalmente agua para uso industrial, aire comprimido y electricidad. La sección de los servicios industriales está compuesta, entre otros, por: Planta de Aguas Crudas, Planta de Aguas Servidas, Plantas de Agua de Enfriamiento (I-105 C/D), Plantas de Agua Desmineralizada (I-103/103-A), Plantas de Aire Comprimido (I-111 A/B e I-112 A) y Planta de Generación de Energía Eléctrica (TG-1/TG-2). [1]

En la Figura 1.1 se muestra el mapa esquemático de PEQUIVEN y las principales plantas que la componen, y se observa la ubicación de la instalación I-103.



**Figura 1.1. Mapa esquemático de Pequiven.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La mayoría de las plantas que operan en PEQUIVEN poseen sistemas de control automatizado. Una de las excepciones a esta afirmación es la planta de Agua Desmineralizada para fosfatados (Instalación I-103), la cual actualmente se opera de forma manual. Esta situación genera dificultades en su producción ya que no se posee un control óptimo del proceso. Uno de los aspectos más importantes a considerar en el proceso es mantener el nivel de pH del agua desmineralizada que se elabora en la planta en 7 (pH neutro), con tolerancia de  $\pm 5\%$ , ya que por debajo de este valor el agua empieza a comportarse como un ácido. La acidez del agua puede causar daños aguas abajo a nivel de proceso, equipos y tuberías, originando paradas de plantas imprevistas, pérdidas de material





e insumo y a su vez percances en los procesos y producción de las distintas instalaciones que requieran el producto.

Adicionalmente a lo mencionado, otro de los problemas que se presentan en esta planta es la situación actual de seguridad del operador. Éste se ocupa manualmente de todo el proceso, el cual involucra el manejo de compuestos peligrosos como lo son el ácido sulfúrico y la soda cáustica, con el fin de lograr el producto requerido. Estos compuestos químicos están calificados por la NFPA (National Fire Protection Association) como sustancias altamente corrosivas y reactivas, dañinas para la salud del operador en exposición directa y que pueden causarle graves lesiones a pesar de poseer la protección requerida, ya que está expuesto a sus vapores y los maneja muy de cerca.

Con el fin de disminuir los problemas existentes y mejorar la situación actual de la instalación mencionada del complejo (I-103), se propone “Diseñar el sistema de control automatizado para la planta de Agua Desmineralizada, Instalación I-103, del Complejo Petroquímico Morón”.



## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Siendo uno de los objetivos principales de PEQUIVEN como empresa del estado “desarrollar el mantenimiento de los más altos índices de productividad y tecnología para dar cumplimiento con el plan de siembra nacional y mantener la calidad de vida de sus obreros y empleados” [2], se hace evidente la necesidad de la corporación de mantenerse a la vanguardia de las tecnologías de control de procesos. Por tanto este proyecto es requerido para dar cumplimiento con el Plan de Inversión de la Superintendencia de Automatización y Control de Procesos de la Gerencia Técnica de PEQUIVEN Morón, cuyo programa de procura de equipos para la automatización de la Instalación I-103 es una meta de inversión financiera del presente año.

Mediante la automatización de la Instalación I-103 se logrará un control óptimo de las fases del proceso de producción de agua desmineralizada promoviendo el manejo de la planta de una forma más apropiada y apegada al procedimiento establecido, y no a la merced del operador de turno. Así se garantiza un proceso más rápido y eficiente lo que se traduce en una mayor producción de la planta. A su vez, se destaca como otra ventaja de la automatización la protección del operador ya que se elimina el contacto directo con el proceso al hacer que el mismo pueda ser manipulado desde el centro de control. Esto mantiene al operador alejado del contacto directo con las sustancias peligrosas y por consiguiente previene accidentes debidos a imprudencias o impericia dentro de la planta.

Este proyecto entra en la línea de investigación de “Instrumentación Industrial” e introduce una actualización a una planta que no posee control automático, lo que creará un precedente tecnológico en plantas similares que se deseen actualizar. A su vez generará una mayor eficiencia y velocidad en la producción, lo que se traduce en ventajas en la manufactura de los productos finales de Pequiven, que siendo una empresa del Estado forma parte del capital social del país. Adicionalmente se busca eliminar accidentes por



derrames de los químicos que son utilizados en el proceso (tanto el ácido sulfúrico como la soda cáustica son perjudiciales para el medio ambiente), con la integración de parámetros de seguridad en el diseño, y con esto evitar desastres ambientales en la zona.

### **1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar la automatización de la planta de Agua Desmineralizada I-103 del Complejo Petroquímico Morón con el fin de mejorar el proceso llevado a cabo actualmente en la misma y llevar de una manipulación manual a una automática.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio del funcionamiento de la planta para el análisis de cada fase del proceso.
- Diseñar el sistema de control para la I-103 en función a los instrumentos y equipos necesarios, logrando así modernizar el funcionamiento de esta planta.
- Realizar una Interfaz Hombre-Máquina con el fin de facilitar la operación e inspección del sistema automatizado de la instalación.
- Dibujar los planos necesarios para la implementación de la instrumentación y hardware requerido en el sistema, y con esto documentar conforme a la actualización de esta planta.



#### 1.4. ALCANCE

El desarrollo de este proyecto involucra la realización de un estudio detallado del funcionamiento de la Instalación 103 de agua desmineralizada, mediante el análisis de cada fase del proceso llevado a cabo en la planta. Luego se identifican las variables que interactuarán con el sistema de control diseñado en la I-103, para lo cual se realizó una base de datos de las mismas. Se especificó la instrumentación a incluir en el diseño y la reestructuración y actualización de los planos de la planta.

Por último se realizó el diseño del sistema de control de la I-103 de Agua Desmineralizada. Esto lleva consigo una documentación de la narrativa de la lógica del sistema de control de la planta y una interfaz Humano-Máquina para la operación de la planta cuando posteriormente se realice la implementación del diseño.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En el Marco teórico de la investigación se presentan los soportes documentales en los cuales se sustenta el presente estudio, dichos documentos se ordenaron de acuerdo a las características de la investigación en: antecedentes de investigación, síntesis de los conceptos y bases teóricas para la comprensión del proceso llevado a cabo, bases de funcionamiento y operación necesarias para la automatización, descripción y configuración de la gama de PLC Modicon de Schneider Electric, descripción y configuración del programa IHM Indusoft Web Studio y por último generalidades de la Norma ISA 20.00.03 – 2001 para especificación de instrumentos.

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En los antecedentes se hace referencia a autores y trabajos resaltantes en el área de la automatización de plantas de agua desmineralizada así como también de la implementación del PLC QUANTUM UNITY y su software de programación UNITY PRO XL para el fin mencionado, con la finalidad de resaltar los aportes que endosan el contexto teórico del presente diseño. En este sentido es importante destacar que el área de Servicios Industriales de PEQUIVEN, está provista de instalaciones capaces de abastecer los servicios básicos que requieren sus operaciones. La mayoría de las plantas que se encuentran operativas poseen sistemas de control automatizado lo cual hace que sus procesos sean confiables y ayuden a mantener una buena producción. Pero actualmente la instalación I-103 de Agua Desmineralizada no posee un sistema automatizado, causando esto dificultades en su productividad.

A manera de introducción, se entiende que el agua que se utiliza en calderas debe pasar por un proceso de filtrado y desmineralización ya que los minerales del agua a altas



temperaturas se cristalizan y bloquean las tuberías de vapor, generando así daños mecánicos a las calderas que pueden ser irreversibles. Por esto, es común que tanto en Venezuela como en otros países se encuentren instaladas plantas de desmineralización de agua en empresas que dentro de sus procesos de producción posean calderas de vapor, y muchas de ellas poseen un sistema de control automático. Evidencia de lo mencionado es el proyecto “ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA, PARA USO EN CALDERAS DE ALTA PRESIÓN, EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA” [10] realizado por Selvin Estuardo Hernández Padilla para obtener el título de Ingeniero Electricista, en la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2010. En este documento se detalla un diseño de control para una planta de tratamiento de agua que se encuentra ubicada en la empresa Duke Energy, localizada en Charlotte, Carolina del Norte en los Estados Unidos de América. Esta empresa genera y distribuye energía eléctrica a aproximadamente 4.4 millones de clientes y tiene presencia en algunos países de América Latina, siendo Guatemala uno de ellos.

Debido a su relevancia las plantas de desmineralización de agua no solo se pueden encontrar en el complejo Pequiven Morón. También existen en otras dependencias de Pequiven, como por ejemplo en el Complejo Petrolero Petroquímico e Industrial General José Antonio Anzoátegui en la empresa Súper Octanos C.A. ubicado en Barcelona, estado Anzoátegui. Dentro de esta empresa existe una planta de MTBE (Metil – Butil – Eter) que requiere como materia prima agua desmineralizada para el funcionamiento de las calderas involucradas en el proceso, que se produce en una instalación llamada Unidad 770. Para la misma se realizó un proyecto de grado llamado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA LA UNIDAD 770 DE UNA PLANTA DE MTBE” [11] por Neyla Villarroel Arredondo para optar por el título de Ingeniero Electricista, en la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui en el año 2010. En este proyecto se diseñó una actualización del sistema de control de la Unidad 770 que primeramente poseía un PLC



Siemens modelo S115U y que fue reemplazado, debido a ser declarado obsoleto, por el modelo Rockwell Automation 1769 – L35E.

En el documento “SERVICIO DE SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL PARA LAS INSTALACIONES 105D, 111B Y 103” preparado por la Ing. Tibusay Salazar de la Gerencia Técnica del Complejo Pequiven Morón en el año 2008 [3], se especifica la necesidad de implementar un nuevo sistema de control para la instalación 103 de agua desmineralizada, señalando los aspectos de la instalación a mejorar. En este documento se encuentra plasmada la importancia de esta planta para el complejo así como la disposición de la empresa, tanto en el ámbito económico como en el ámbito técnico, de realizar mejoras al proceso en los aspectos de instrumentación y automatización.

Así, dentro de lo requerido por la empresa se plantea homologar esta planta I-103 con una de funcionamiento similar también de agua desmineralizada que se encuentra en funcionamiento llamada I-103A, la cual posee un sistema de control mediante PLC y cuyo desarrollo e instalación se encuentran definidos en el proyecto “PLANTA DE AGUA DESMINERALIZADA, INSTALACIÓN 103A – PEQUIVEN MORÓN” [4] realizado en noviembre de 2008 por la empresa Hytek Ingeniería, C.A. En este documento se encuentra información sobre la instrumentación utilizada en su diseño y posiblemente requerida para la automatización de la planta I-103 de agua desmineralizada, así como del PLC MODICON QUANTUM de Schneider Electric propuesto para la implementación del sistema de control nuevo a diseñar, y su manual de programación y configuración mediante el software UNITY PRO XL.



## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se enuncian conceptos necesarios para la comprensión del proceso de producción de agua desmineralizada y la aplicación de la metodología de control de la misma:

- **Desmineralización**

Eliminación de los cationes y aniones de una solución. Se utiliza para producir agua de alta pureza requerida en calderas que funcionan a alta presión. [12]

- **Agua desmineralizada**

Según Ávila y Martínez, es aquella a la que se le han sustraído minerales como el hierro, aluminio, cromo, además del magnesio, calcio y sílice, a través de tratamientos químicos donde sufre transformaciones físico – químicas. La calidad del agua desmineralizada normalmente se evalúa por su conductividad eléctrica específica, medida en Mega Ohm.cm (mo.cm) o microSiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). [12] Entre los usos del agua desmineralizada se destacan:

- *Procesos donde el agua es “materia prima” y debe presentar siempre características fijas y reproducibles, prácticamente sin desviaciones de sus valores; ejemplos son la industria farmacéutica, la industria alimenticia y la industria de bebidas.*
- *Procesos industriales donde depósitos de sales deben evitarse siempre; industria microelectrónica (circuitos impresos), industria textil (procesos de lavado y teñido), industria metalmecánica (procesos de decapado de láminas).*

Para obtener agua desmineralizada se dispone de dos tecnologías actualmente conocidas: intercambio iónico y osmosis inversa. [12]



- **Agua cruda**

Agua previamente tratada para removerle impurezas biológicas y hacerla potable para su uso en procesos. [1]

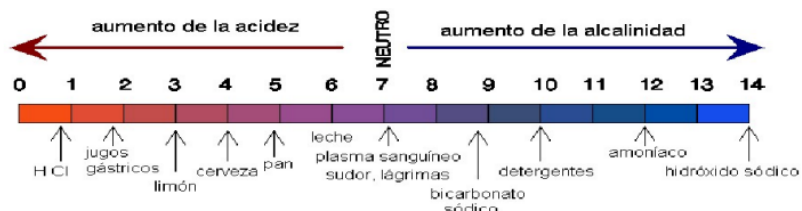
- **pH**

Según El mundo de la química (2006), el pH es una escala logarítmica que permite explicar, de una manera simple, muchos procesos químicos, y clasificar muchos compuestos como ácidos o bases.

La escala de pH adopta valores generalmente positivos que van de 0 a 14, a 25 °C. El agua pura a 25 °C tiene una concentración de  $H^+$ (ac) igual a  $1 \times 10^{-7}$  mol/l, por lo que el pH del agua es 7.

Según se muestra en la Figura 2.1 a 25 °C las soluciones a pH 7 son neutras, mientras que aquellas que tienen un pH menor a 7 son ácidas, y las que tienen un pH mayor a 7 son básicas.

Sin embargo cabe destacar que según SKOOG D Y OTROS (2004) la definición de pH aceptada por el National Institute of Standards and Technology (NIST), se basan en la calibración directa del potenciómetro con amortiguadores patrón perfectamente establecido seguido de la determinación potenciométrica del pH de soluciones. [12]



**Figura 2.1. Escala de pH**

Fuente:

[www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/pH.jpg](http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/pH.jpg)



- **Conductividad**

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución para conducir la corriente eléctrica. Los iones que posee el agua son los que van a transportar esta corriente, es decir, que la conductividad dependerá de la cantidad de iones presentes y su movilidad. En un campo de corriente directa, los iones positivos (cationes) se dirigen hacia el electrodo negativo (cátodo), mientras que los negativos (aniones) se dirigen hacia el electrodo positivo (ánodo). La mayoría de los compuestos inorgánicos (ácidos, bases y sales como el HCl, NaOH, NaCl, entre otros) son buenos conductores. Por el contrario, la mayoría de los compuestos orgánicos (alcoholes, azúcares, hidrocarburos, carbohidratos, etc.), los cuales no se disocian en solución acuosa, no son conductores, o en todo caso, muy malos conductores. [12]

- **Sílice**

El silicio es, después del oxígeno, el elemento más abundante de la corteza terrestre. Aparece como óxido (sílice) en el cuarzo y la arena y se combina con los metales en forma de variados silicatos minerales complejos, especialmente en las rocas ígneas. La degradación de las rocas que contienen sílice explica su presencia en las aguas naturales como partículas en suspensión, en estado coloidal o polimérico, y como ácidos silícicos o iones silicato. El contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), en el agua natural suele oscilar entre 1 y 30 mg/L. [12]

El Sílice y los silicatos no causan normalmente ningún problema en el agua prevista para consumo doméstico. Sin embargo su presencia es indeseable en el agua usada en variedad de usos industriales. Esto es porque tal agua tiende a formar una costra dura en los equipos. El Sílice y el silicato que contiene el agua es particularmente molesto en plantas de generación del vapor tales como calderas de alta presión puesto que la costra de sílice puede acumularse en las láminas de la turbina. [12]



- **Resina de Intercambio Iónico**

Las Resinas de Intercambio iónico son sustancias granulares insolubles que tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos capaces de permutar, sin cambio aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización. Los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales por otros del mismo signo se encuentran en solución en el líquido de contacto con ellos. Mediante este intercambio de iones puede modificarse la composición iónica del líquido que se va a tratar. [12]

- **Filtro Catiónico (CATIÓN)**

Filtro compuesto por una o varias cámaras donde se almacenan las resinas del tipo catiónico. [12]

- **Filtro Aniónico (ANIÓN)**

Filtro compuesto por una o varias cámaras donde se almacenan las resinas del tipo aniónico. [12]

- **Regeneración**

Procedimiento mediante el cual las resinas de intercambio iónico restablecen su condición operativa de intercambio. [12]

- **Solución regenerante**

Es una solución de agua con un ácido (si la resina a regenerar es catiónica) o una base (para resina aniónica) que regenera las propiedades de la resina mediante la inversión del proceso de intercambio de iones cedidos por el agua, recibiendo los iones regenerantes de la solución ( $\text{H}^+$  en la columna catiónica y  $\text{OH}^-$  en la columna aniónica).



- **Factores que influyen en el funcionamiento de una Caldera**

El funcionamiento de una caldera se puede ver afectado por diversos factores. Sin embargo, hay dos de ellos que se pueden considerar los más importantes, como los son: las incrustaciones o depósitos, y la corrosión:

- ***Incrustaciones o Depósitos:*** La deposición de sólidos es el mayor problema que puede ocurrir en un sistema de generación de vapor, y esta consiste en la acumulación de material en las superficies internas de la caldera. Para evitar la formación de estas incrustaciones es necesario un tratamiento adecuado de las aguas de alimentación a las condiciones de la caldera, y las características de la solubilidad de ciertas sales. Muchos sólidos que se encuentran disueltos en el agua de alimentación, pueden precipitar dentro de la caldera, y las características de la solubilidad de ciertas sales. Uno de los cambios químicos más importantes es la transformación de los bicarbonatos a carbonatos, los cuales luego reaccionan con el calcio, formando carbonato de calcio, que es una sal relativamente insoluble. Otros cambios químicos en el agua de la caldera se ven representados por la conversión de hierro a hidróxido ferroso y el magnesio a hidróxido de magnesio. Hay otras sales como los silicatos y los aluminatos, que a medida que aumenta la temperatura, va disminuyendo su solubilidad en el agua. Calcio, Hierro, Magnesio, Sílice, entre otros, son los contaminantes más comunes que pueden formar depósitos dentro de las calderas.
- ***Corrosión:*** en orden de importancia, la corrosión es el segundo factor causante de problemas dentro de una caldera. El ejemplo más común es el ataque del acero por el oxígeno. Esto puede ocurrir a lo largo del sistema surtidor de agua en los sistemas de tratamiento antes de la caldera; en la caldera propiamente, en las líneas de recirculación de condensado, porque en todas estas existe la posibilidad de presencia de oxígeno disuelto. El oxígeno tiene mayor capacidad de atacar a altas temperaturas y a bajos niveles de pH. La eliminación del oxígeno disuelto del agua de



alimentación de la caldera es el mayor paso en el control de la corrosión de una caldera. Otro ejemplo es el ataque directo del vapor en la superficie de acero de la caldera a una elevada temperatura. [12]

- **Proceso**

El *Diccionario Merriam-Webster* define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado; o una operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. [8]

- **Planta**

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular. [8]

- **Sistema**

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares. [8]

- **Sistema de control en lazo abierto**

En un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. [8]



- **Variable controlada y variable manipulada**

La variable *controlada* es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable *manipulada* es la cantidad o condición que el controlador modifica a través del Elemento Final de Control (E.F.C.), para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. *Controlar* significa medir el valor de la variable controlada del sistema y cambiar la variable manipulada para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado. [13]

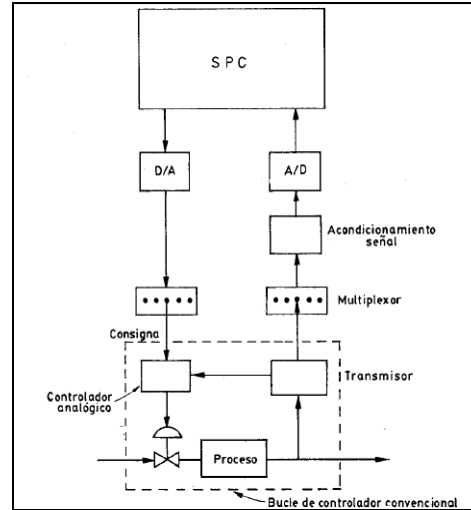
- **PLC (Programmable Logic Controller)**

Un Controlador Lógico Programable es básicamente una computadora conectada a dispositivos de entradas y salidas, analógicas y digitales. Responden a señales de entrada con señales de salida que intentan mantener el/los valores de Set point.

- **Control supervisor**

Este tipo de control se basa en que un ordenador calcula los puntos de consigna más convenientes en cada instante para un proceso y los aplica a los lazos de control situados dentro del propio ordenador o bien en el exterior en controladores individuales. Se observa que en paralelo con el bucle de control entre el transmisor y el controlador analógico, el ordenador calcula los puntos de consigna y los envía secuencialmente a cada instrumento. Si se presenta cualquier avería, el controlador regula la variable del proceso en el último punto de consigna que recibió del controlador. [13]

En la Figura 2.2 se muestra un diagrama que muestra los componentes que conforman un sistema supervisorio.



**Figura 2.2. Control supervisor.**

Fuente: Instrumentación Industrial. Creus A.

- **Sistema SCADA**

Un sistema SCADA es aquel que mediante un ordenador huésped (host) usa los datos transmitidos desde el campo y presenta los resultados al operador para que actúe como supervisor e inicie alguna acción de control, y utiliza unidades remotas de transmisión situadas a largas distancias (kilómetros) del ordenador. [13]

## 2.2.2. BASES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA.

### 2.2.2.1. Fundamentos del Intercambio Iónico

Según Robert Treybal (2004), las operaciones de intercambio iónico son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrolito en solución y un electrolito insoluble con el cual se pone en contacto la solución. Los Intercambiadores Iónicos son elementos conformados por una estructura sólida de forma esférica (diámetro de partícula +/-) 0,4 mm y que tienen la capacidad de remover los Iones (Cationes o Aniones) llamados Contra-iones presentes en una fase líquida, mediante la sustitución del mismo con otro ión con el mismo tipo de carga o ión. La especie removida es retenida en otra fase líquida confinada



en la estructura sólida o gel Intercambiador iónico. Los propósitos para realizar el Intercambio Iónico son:

- Purificación o modificación de la concentración de iones de una fase líquida original.
- Reconcentración, aislamiento o depuración de uno o más componentes iónicos.
- Separación de una mezcla de diferentes componentes iónicos en dos o más fracciones.

[12]

Originalmente, los primeros intercambiadores iónicos utilizados fueron tierras naturales (Zeolitas, y a inicios de los años 30 se empezaron a sintetizar compuestos orgánicos, siendo éstos últimos los que en la actualidad se emplean casi exclusivamente bajo el nombre de “Resinas de Intercambio”, con las siguientes áreas de aplicación a manera de ejemplo:

- **Tratamiento de Aguas:** depuración del agua eliminando o reduciendo su contenido salino.
- **Industria Farmacéutica:** depuración absoluta de la salinidad del agua, para preparación de fármacos.
- **Análisis de Trazas:** determinación de los iones contenidos en una muestra de análisis.
- **Hidrometalurgia:** recuperación de metales en los efluentes de diversos procesos metalúrgicos. [12]

Es importante destacar que todas las “Resinas de Intercambio” operan bajo el mismo mecanismo: *“En el Intercambio Iónico, la transferencia de iones transcurre entre dos fases líquidas; el Contra-ión se desplaza desde una Fase Externa (Agua) a otra llamada Fase Interna, la cual se encuentra confinada por la estructura sólida de la resina, actuando como una membrana semi-permeable. Adicionalmente, dicha estructura sirve de soporte para los centros activos donde se lleva a cabo el intercambio de iones”*. [12]





### 2.2.2.2. Descripción del mecanismo para remoción de contra-iones por intercambio iónico

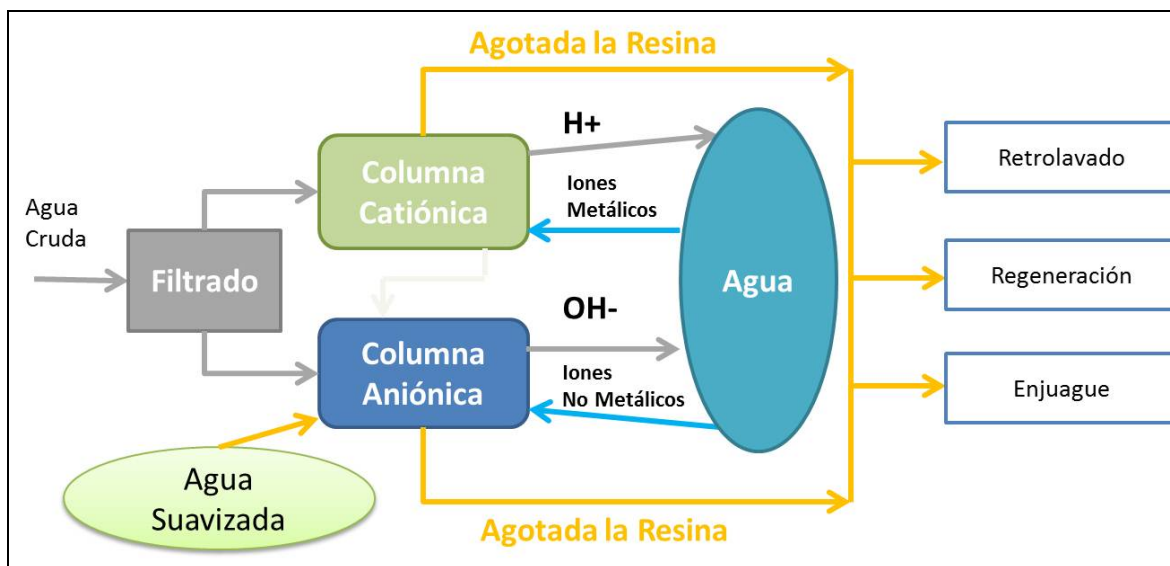
Para que suceda la remoción o sustitución de especies iónicas por medio del uso de resinas de intercambio, inicialmente debe ocurrir un desplazamiento (difusión) de los contra-iones contenidos en el agua hacia el interior de la resina, una vez dentro se lleva a cabo la reacción química para ser sustituido por su correspondiente co-ión, posteriormente el co-ión cedido se deberá desplazar hacia el agua. Este proceso cesará tan pronto como la reacción química alcance su punto de equilibrio, o agotamiento. [12]

En Intercambio Iónico se entiende como ciclo de *Servicio* al proceso cuando la resina lleva a cabo la remoción de los Contra-iones hasta su agotamiento, y *Regeneración* a la reacción inversa donde se restituyen los Co-iones en la resina. Es viable que ambos procesos ocurran en forma controlada debido a la capacidad de reversibilidad que presentan las reacciones en equilibrio. [12]

### 2.2.2.3. Proceso de obtención de agua desmineralizada

El proceso está basado en reacciones químicas en donde se efectúan intercambios iónicos entre el agua a tratar, resinas y soluciones regenerantes. El agua cruda previamente filtrada por filtros de carbón activado, se hace pasar a través de la columna de resina. Las resinas de intercambio iónico funcionan de la siguiente manera: si la columna es catiónica, los iones hidrógeno ( $H^+$ ) se intercambian por los iones metálicos contenidos en el agua; si es aniónica, los iones hidróxidos ( $OH^-$ ) presentes en la resina, se intercambian por los iones no metálicos o negativos en el agua hasta agotar la capacidad de intercambio de la resina. Una vez agotada la resina, se limpia y acondiciona para la inyección del regenerante. Esto se logra invirtiendo la dirección en la que el agua atraviesa la columna (retrolavado). Luego, se inyecta el regenerante de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en la columna catiónica y de Soda Cáustica (NaOH) en la columna aniónica. En este paso se invierte el proceso de intercambio: la resina cede los iones tomados del agua y recibe los iones regenerantes de la solución ( $H^+$  en columna catiónica y  $OH^-$  en aniónica). El agua se hace pasar a través de

cada una de las columnas de resinas para desplazar los excesos de regenerante (enjuague). Para la regeneración de las columnas aniónicas se encuentra un equipo suavizador, el cual acondiciona el agua para el retrolavado y enjuague de la resina. Una vez que las columnas hayan sido enjuagadas apropiadamente, se procede a colocarlas en servicio. Para asegurar la calidad del agua se realiza análisis de sodio ( $\text{Na}^+$ ) a la salida del catión ( $<0,45$  ppm) y análisis de sílice (como  $\text{SiO}_2$ ) en la salida del anión ( $<0,04$  ppm). El agua desmineralizada es enviada a tanques de almacenamiento para su posterior uso. [1]. En la figura 2.3 se muestra todo el proceso descrito en un esquema.



**Figura 2.3. Proceso I-103.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

### 2.2.3. DESCRIPCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL PLC MODICON QUANTUM DE SCHNEIDER ELECTRIC

La familia de plataformas Modicon cuenta algunos modelos importantes en el área industrial:

- Modicon M340, especialistas de las máquinas.
- Modicon Premium, para la industria manufacturera y las infraestructuras.

- Modicon Quantum, para sistemas críticos en industrias de proceso e infraestructuras.

El ultimo mencionado en esta clasificación es el utilizado en el diseño propuesto y en la Figura 2.4 se visualiza este.



**Figura 2.4. Modicon Quantum.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Para la automatización de procesos el más óptimo es el Quantum, cuyas características principales son:

- Gran experiencia en redundancia, es decir es ideal para las aplicaciones que necesitan un gran nivel de disponibilidad.
- Se encuentra adaptado a aplicaciones críticas como la petroquímica, la metalurgia, el cemento, la energía, los túneles y los aeropuertos

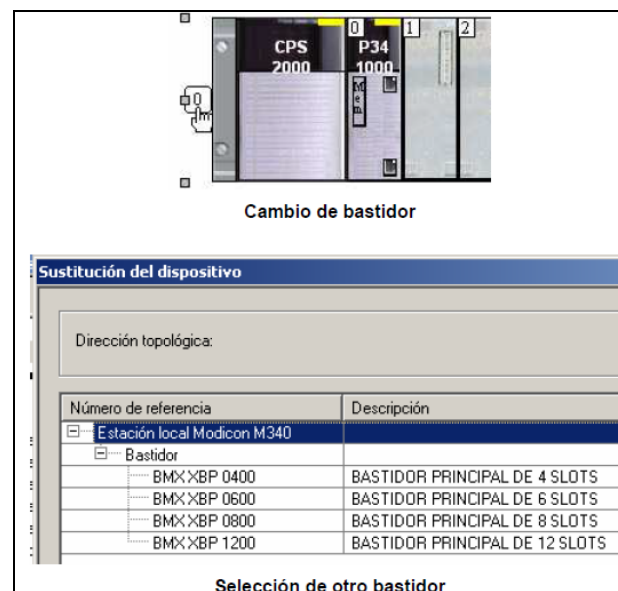
### 2.2.3.1. Configuración básica

- **Configuración del bastidor**

Para configurar un PLC se ha de ir al editor de configuración haciendo un doble clic en *Configuración* en el *Explorador de proyectos*. Se tienen que abrir 2 ventanas:

- Un *catálogo de hardware* que contiene todos los módulos organizados en familias que pueden insertarse en el bastidor. Si desaparece la ventana de catálogo puede encontrarse en el menú *Herramientas/Catálogo de Hardware*.
- Una ventana que contiene la *configuración gráfica del bastidor* en la que se han de seleccionar los módulos que lo componen.

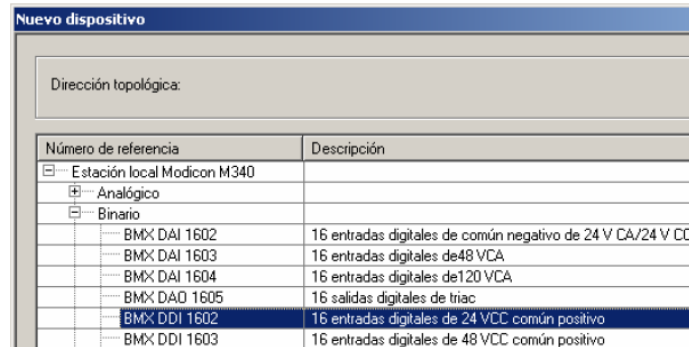
Para modificar el tamaño del bastidor basta con hacer un doble clic en el mismo donde está marcado el [0] (parte izquierda del bastidor). Para abrir una ventana en la que puede seleccionarse otro bastidor o cancelar el cambio. En la Figura 2.5 se observa un ejemplo de esta configuración.



**Figura 2.5. Modificación de tamaño de bastidor.**

Fuente: Manual Unity Pro

Luego para configurar el PLC basta con hacer un doble clic en una posición libre, se abre una ventana en la que se puede seleccionar el módulo que se desea añadir o utilizando el arrastrar/soltar desde la librería de hardware. Esta ventana se muestra en la Figura 2.6.



**Figura 2.6. Ventana de elección de un nuevo módulo**  
Fuente: Manual Unity Pro

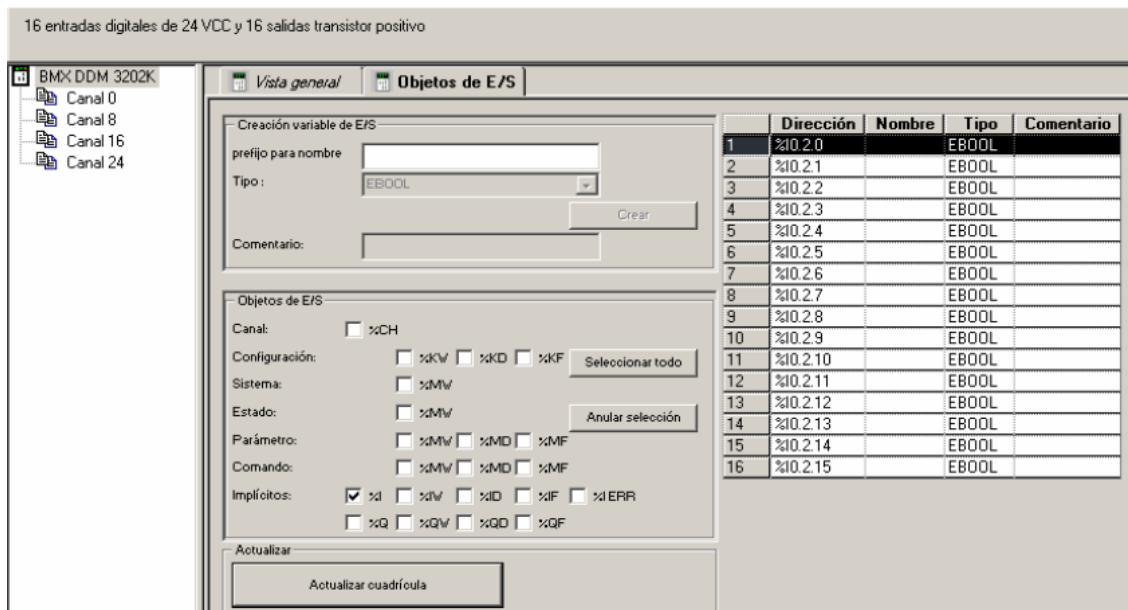
Es posible eliminar un módulo seleccionándolo, haciendo un clic derecho y eligiendo *Eliminar* o pulsando en la tecla *suprimir* del teclado. También es posible desplazar un módulo de posición seleccionándolo y arrastrándolo hasta su nueva posición. Los módulos de un PLC Modicon Quantum pueden ponerse en cualquier lugar pero la fuente de alimentación suele estar aislada del resto de los módulos por temas de disipación de calor.

- **Creación de variables desde los módulos de E/S.**

Haciendo un doble clic sobre un módulo de señales digitales o analógicas, nos aparece una ventana en la que seleccionamos la referencia (en la parte superior de la columna que se encuentra a la izquierda) y después la pestaña objetos (parte derecha de la ventana). Luego se ha de seleccionar el tipo de señal. Los tipos de señales principales con los que se puede trabajar a nivel de vías de E/S son las siguientes:

- **%I:** Entrada digital (direccionamiento Mb: 1x)
- **%Q:** Salida Digital (direccionamiento Mb: 0x)
- **%IW:** Entrada analógica (direccionamiento Mb: 3x)
- **%QW:** Salida analógica (direccionamiento Mb: 4x)

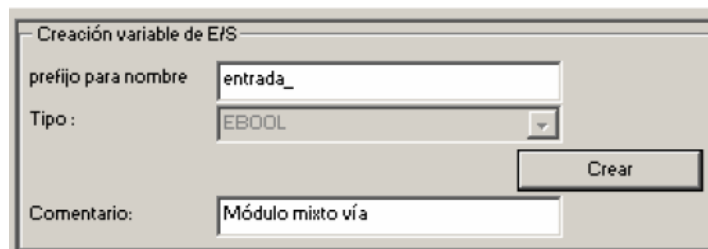
Una vez seleccionado el tipo de dato o los tipos de datos que se desean visualizar se ha de pulsar en *Actualizar cuadrícula*. Aparecerá entonces la lista de todas las vías asociadas al tipo de señal que se ha seleccionado previamente como se observa en la Figura 2.7.



**Figura 2.7. Ventana de resultados**

Fuente: Manual Unity Pro

Seleccionar una o varias vías, escribir un prefijo para el nombre de las variables (por ejemplo: entrada\_) y escribir un comentario (por ejemplo: Módulo mixto vía). Una vez escrito los textos pulsar en el botón *Crear*. Ver figura 2.8.



**Figura 2.8. Creación automática de variables**

Fuente: Manual Unity Pro

El sistema creará automáticamente las variables que luego se podrán modificar en el editor de datos como se visualiza en la Figura 2.9.

	Dirección	Nombre	Tipo	Comentario
1	%I0.2.0	entrada_0	EBOOL	Módulo mixto vía 00
2	%I0.2.1	entrada_1	EBOOL	Módulo mixto vía 01
3	%I0.2.2	entrada_2	EBOOL	Módulo mixto vía 02
4	%I0.2.3	entrada_3	EBOOL	Módulo mixto vía 03
5	%I0.2.4	entrada_4	EBOOL	Módulo mixto vía 04
6	%I0.2.5	entrada_5	EBOOL	Módulo mixto vía 05
7	%I0.2.6	entrada_6	EBOOL	Módulo mixto vía 06
8	%I0.2.7	entrada_7	EBOOL	Módulo mixto vía 07
9	%I0.2.8	entrada_8	EBOOL	Módulo mixto vía 08
10	%I0.2.9	entrada_9	EBOOL	Módulo mixto vía 09
11	%I0.2.10	entrada_10	EBOOL	Módulo mixto vía 10
12	%I0.2.11	entrada_11	EBOOL	Módulo mixto vía 11
13	%I0.2.12	entrada_12	EBOOL	Módulo mixto vía 12
14	%I0.2.13	entrada_13	EBOOL	Módulo mixto vía 13
15	%I0.2.14	entrada_14	EBOOL	Módulo mixto vía 14
16	%I0.2.15	entrada_15	EBOOL	Módulo mixto vía 15

**Figura 2.9. Lista de variables creadas en el módulo seleccionado**

Fuente: Manual Unity Pro

### 2.2.3.2. Editor de datos

- **Variables**

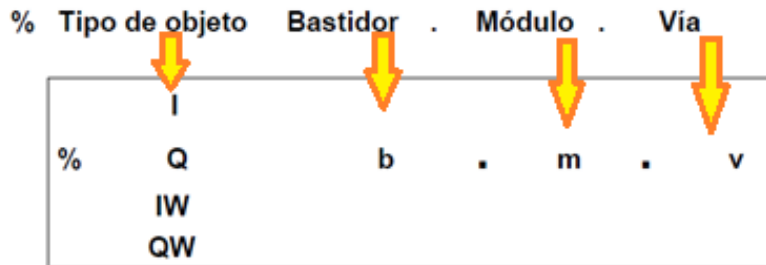
Una variable es una entidad de Memoria de los tipos BOOL, WORD, DWORD, entre otras. Una variable contiene como mínimo un nombre y un tipo de datos. Además es posible añadirle una dirección, un valor por defecto (se inicializará al transferir la aplicación o inicializando el PLC) y un comentario.

Una variable alcatada (con dirección) es una variable que está asociada a un módulo de entradas/salidas o bien está asociada a una referencia de memoria. Una variable no alcatada (sin dirección) es una variable que no está asociada a ninguna entrada / salida o bien a ninguna referencia de memoria (no es posible conocer esta posición en la memoria).

Las constantes son unas variables del tipo INT, DINT o REAL alcatadas en el campo constante (%K), o variables usadas en direcciones directas (%KW, %KD, o %KF). Sus contenidos no pueden modificarse por el programa durante la ejecución.

- **Direccionamiento de las variables**

El direccionamiento de variables sigue la estructura mostrada en la Figura 2.9.



**Figura 2.10. Direccionamiento de variables.**

Fuente: Manual Unity Pro.

- **Variables y tipos de datos elementales (EDT)**

Estas variables y su descripción serán presentadas en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Variables y tipos de datos elementales.**

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
<b>Booleanos</b>	BOOL	FALSE (= 0) O TRUE (= 1)
	EBOOL	FALSE (= 0) O TRUE (= 1) e información relativa a la gestión de flancos (ascendentes o descendentes y el forzado).
<b>Enteros</b>	INT	Con signo y formato de 16 bits (-32768 hasta 32767).
	DINT	Con signo y formato de 32 bits (-2147483648 hasta 2147483647).
	UINT	Sin signo y formato de 16 bits (0 hasta 65535).
	UDINT	Sin signo y formato de 32 bits. (0 hasta 4294967295).

Fuente: Manual Unity Pro.





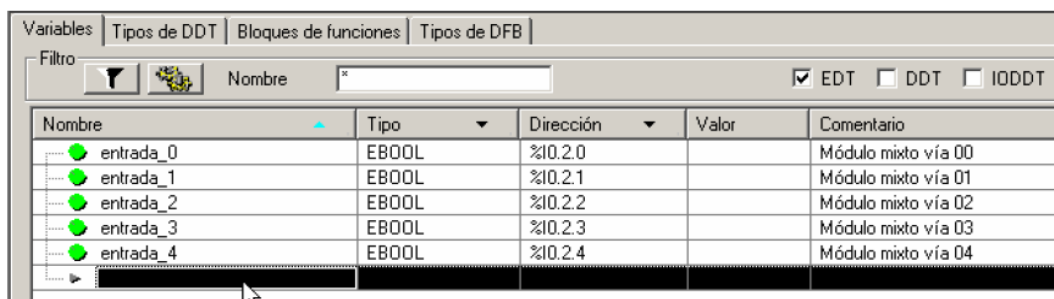
Tabla 2.1. Variables y tipos de datos elementales (Continuación).

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN
<b>Cadena de caracteres (Formato)</b>	STRING	Caracteres ASCII codificados en 8 bits. El tamaño se optimiza mediante el comando STRING[<size>], <size> = UINT y define una cadena de 1 a 65.534 caracteres ASCII.
<b>Cadena de bits</b>	BYTE	Codificado en un formato de 8 bits.
	WORD	Codificado en un formato de 16 bits.
	DWORD	Codificado en un formato de 32 bits.
<b>Fecha/Hora/... (Formato)</b>	DATE	Formato de 32 bits: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Año codificado: 16 bits.</li> <li>• Mes codificado: 8 bits.</li> <li>• Día codificado: 8 bits.</li> </ul>
	Date and Time (DT)	Formato de 64 bits: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Año de codificado: 16 bits.</li> <li>• Mes codificado: 8 bits o Día codificado: 8 bits</li> <li>• Hora codificada: 8 bits.</li> <li>• Minutos codificados: 8 bits.</li> <li>• Segundos codificados: 8 bits.</li> </ul>
	Time of Day (TOD)	Formato de 32 bits: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hora codificada: 8 bits.</li> <li>• Minutos codificados: 8 bits.</li> <li>• Segundos codificados: 8 bits.</li> </ul>
	T# o TIME#	Tipo entero doble sin signo (UDINT). Representa aproximadamente 49 días en milisegundos. Las unidades de tiempo para representar el valor son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Día (D).</li> <li>• Horas (H).</li> <li>• Minutos (M)</li> <li>• Segundos (S).</li> <li>• Milisegundos (MS).</li> </ul>
<b>Real (Formato)</b>	REAL	Formato de 32 bits con como flotante de un solo decimal según el estándar ANSI/IEEE.

Fuente: Manual Unity Pro.

- **Creación de una variable.**

Para crear una variable nueva hay que hacer un doble clic en la última línea (la que aparece con la flecha en la Figura 2.11) en el campo *Nombre*, escribir el nombre de la variable que se desea crear. Aparecerá un tipo por defecto que se habrá de modificar si es necesario.



**Figura 2.11. Creación de una variable nueva.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Cada campo debe ser llenado según lo indicado en la Tabla 2.2.:

**Tabla 2.2. Descripción de los campos para la creación de variables.**

CAMPO	DESCRIPCIÓN
<b>Nombre</b>	Cadena de caracteres sin espacio o con guión bajo (_).
<b>Tipo</b>	Aparece siempre un tipo de datos. Se selecciona el adecuado según los descritos en la tabla 2.1.
<b>Dirección</b>	Se escribe una dirección física (%I, %Q, %IW, %QW) o una de memoria (%M, %MW) si se requiere.
<b>Valor</b>	Valor numérico. Puede ser enteros, reales, cadena de bits, cadena de caracteres, tipo STRING o tipo TIME. Este valor se le asigna a la variable cuando se transfiere el proyecto al PLC.
<b>Comentario</b>	Escribir cualquier comentario respecto a una variable.

Fuente: Manual Unity pro.

### 2.2.3.3. Sección de Programación

La sección de programación permite escribir el programa que se desea ejecutar. En este documento se tratan únicamente secciones de programación en la tarea MAST (maestra) como se observa en la Figura 2.12.



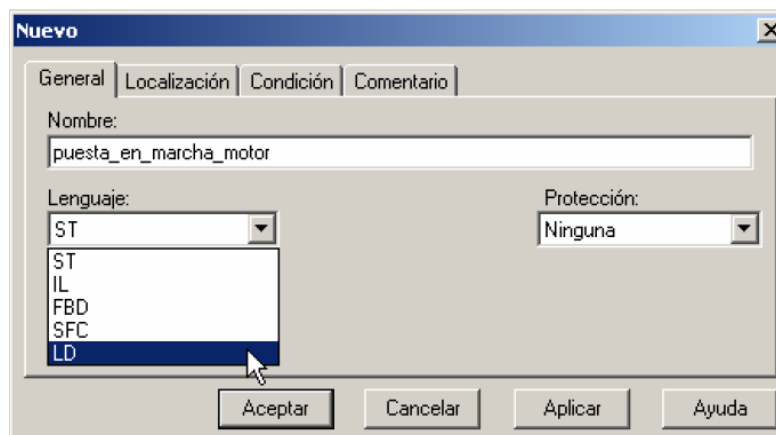
**Figura 2.12. Secciones de la tarea MAST**  
Fuente: Manual Unity Pro

Para crear una nueva sección hacer un clic derecho en *secciones* y seleccionar *Nueva sección* de acuerdo con la Figura 2.13:



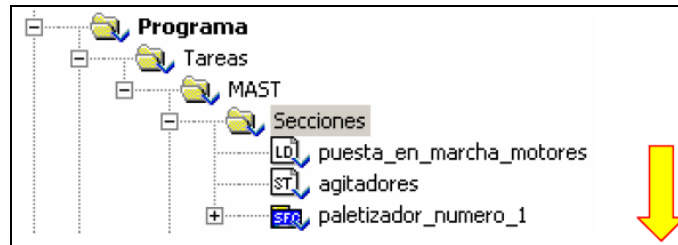
**Figura 2.13. Nueva sección**  
Fuente: Manual Unity Pro

Aparecerá una ventana en la que se tendrá que introducir un nombre (32 caracteres como máximo y sin espacio) y un lenguaje de programación. Ver Figura 2.14.



**Figura 2.14. Creación de una nueva sección.**  
Fuente: Manual Unity Pro

Es posible crear varias secciones con lenguajes diferentes. El orden de ejecución de las secciones será definido por el orden de las diferentes secciones creadas como se ve en la Figura 2.15. Es posible cambiar este orden arrastrando una sección antes o después de otra.



**Figura 2.15. Orden de ejecución de las secciones.**

Fuente: Manual Unity Pro

- **Lenguajes de programación**

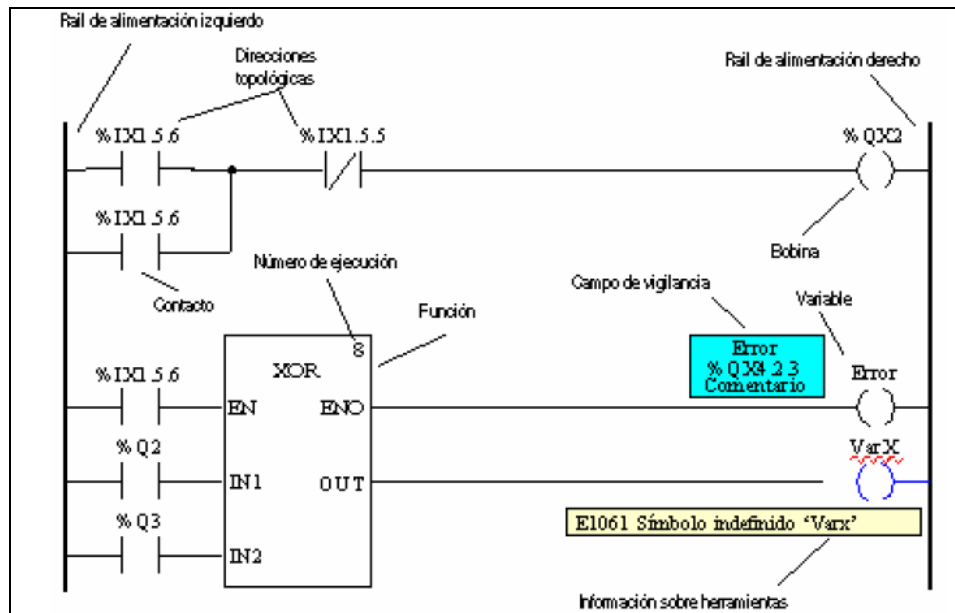
Unity Pro proporciona los lenguajes de programación siguientes para crear el programa de usuario:

- Lenguaje de contactos (LD).
- Lenguaje de bloques funcionales (FBD).
- Lista de instrucciones (IL).
- Literal estructurado (ST).
- Diagrama funcional en secuencia (SFC).

Todos estos lenguajes de programación pueden utilizarse juntos en el mismo proyecto. Todos ellos cumplen la norma IEC 61131-3. En este documento solo será referenciado el Lenguaje de contactos (LD) ya que fue el utilizado en la elaboración de este proyecto, por ser el único permitido para proyectos de automatización mediante PLCs por la empresa Pequiven, por su fácil manejo y porque es el lenguaje para el cual está capacitado el personal técnico de la empresa.

- **Diagrama de contactos (LD)**

El Editor LD permite la programación gráfica de los diagramas de contactos según el CEI 61131-3. En el ejemplo de la Figura 2.16 se describe cada una de los elementos que componen a este.



**Figura 2.16. Lenguaje de Programación LD.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Los objetos del lenguaje de programación LD que se pueden insertar en una sección son los siguientes:

- Contactos.
- Bobinas.
- Bloques de funciones.
- Llamadas de subrutinas.
- Saltos.
- Conexiones.
- Comentarios.

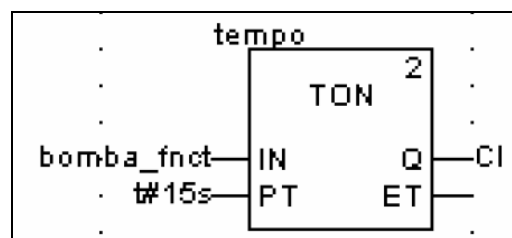
Las secciones LD tienen una rejilla de fondo que divide la sección en filas y columnas. El lenguaje de programación LD está basado en celdas, es decir, en cada celda se puede colocar un único objeto. Para las secciones LD se puede definir un tamaño de 11-64 columnas y 17-2.000 filas. El programa se puede introducir mediante el teclado o mediante el ratón.

- **Biblioteca de funciones**

En los lenguajes de programación LD, ST, FBD y IL es posible insertar bloques de función. El bloque función aparece en formato de bloque en los lenguajes gráficos (LD y FBD) y en formato texto/estructura en los lenguajes de tipo de texto (ST y IL). Los bloques de función vienen de un conjunto de librerías y dentro de cada librería se encuentran familias.

- **Representación de los bloques de función**

En los lenguajes gráficos (FBD y LD), un bloque función se representa como una trama de bloques con entradas y una salida. Tal como se muestra en la Figura 2.17.



**Figura 2.17. Representación en Lenguaje FBD**

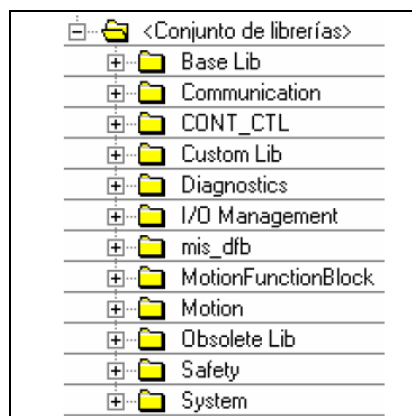
Fuente: Manual Unity Pro

En los lenguajes de tipo texto (ST e IL), un bloque función se representa como una estructura de datos con el nombre de la instancia y entre paréntesis sus entradas y sus salidas.

- **Tipos de bloques de función**

En Unity Pro se utilizan distintos tipos de bloques. Debemos distinguir los siguientes tipos de bloques:

- **Función elemental (EF):** Estas no disponen de estado interno y sólo cuentan con una salida. Por ejemplo siempre que se ejecuta la suma de dos valores el resultado es el mismo.
- **Bloques de funciones elementales (EFB):** Tienen estados internos. Si las entradas disponen del mismo valor, el valor de la salida puede variar cada vez que se ejecuten los bloques de funciones. Por ejemplo, con un contador aumenta el valor de la salida. Se utilizan instancias
- **Bloques de funciones derivados (DFB):** presentan las mismas propiedades que los bloques de funciones elementales. Sin embargo, el usuario los crea en los lenguajes de programación FBD, LD, IL o ST.



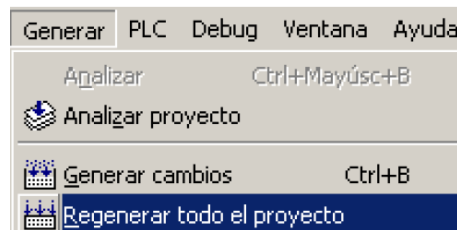
**Figura 2.18. Conjunto de Librerías**

Fuente: Manual Unity Pro

En las librerías mostradas en la Figura 2.18 se encuentran todos los bloques ordenados de acuerdo a su función.

- **Analizar y generar**

Antes de transferir la aplicación al PLC, se debe asegurar que la aplicación no contiene errores, y de ser así crear el código ejecutable. Para *Analizar* o *Generar* la aplicación se escoge en el menú *Generar* y una de las opciones que muestra la Figura 2.19.:

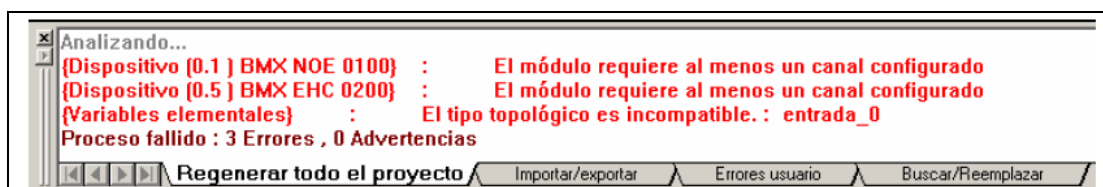


**Figura 2.19. Menú generar-Regenerar todo el proyecto**

Fuente: Manual Unity Pro

- *Analizar* o *Analizar proyecto* corresponde a la revisión y detección de posibles errores.
- *Generar cambios* (disponible en modo conectado: para cargar los cambios).
- *Regenerar todo el proyecto* corresponde al análisis y la generación del código ejecutable.

En el caso de tener errores, aparecerá la descripción de los errores en la ventana de resultados mostrada en la Figura 2.20 y haciendo un doble clic sobre la línea, el programa nos llevará directamente a la parte del proyecto que contiene el error.



**Figura 2.20. Ventana de resultados con errores de aplicación**

Fuente: Manual Unity Pro

Los errores “habituales” pueden ser los siguientes:



- El módulo de comunicación **Ethernet NOE** no tiene el **canal configurado** (seleccionar el canal y luego la función ETHERNET TCP IP).
- El módulo de **contaje** no tiene el **canal configurado** (ninguna función seleccionada).
- El tipo de las direcciones físicas booleanas (%i ó %Q) son de tipo **EBOOL**.
- **Error de sintaxis** en una sección de programación.

Cuando el proyecto compilo correctamente esta ventana arroja el comentario *Proceso satisfecho* como se ve en la Figura 2.21.



**Figura 2.21. Ventana de resultados con el proyecto compilado correctamente.**

Fuente: Manual Unity Pro.

- **Condiciones de Transferencia:**

- Para poder transferir una aplicación hace falta tener la indicación siguiente (en la parte derecha de la barra de estado): **GENERADO**.
- Mientras tenga las indicaciones siguientes, si es posible conectarse pero no es posible transferir la aplicación: **Analizado** o **NO GENERADO**.
- También es posible utilizar los iconos que se encuentran en la barra correspondiente:



Analizar el proyecto.



Generar cambios.



Regenerar todo el proyecto.

En modo desconectado (offline), *Generar cambio* consiste en analizar y generar los cambios realizados en la aplicación. En modo conectado (online), permite analizar, generar y cargar los cambios realizados al PLC.

- **Transferencia de proyecto**

Para poder transferir un proyecto del PC al PLC se ha de seleccionar un modo de funcionamiento (modalidad estándar o modalidad simulación ) , tener el proyecto compilado, conectarse al PLC físicamente con un cable (serie, USB, Ethernet,...) si se trata de la modalidad estándar y luego conectarse mediante el software Unity Pro.

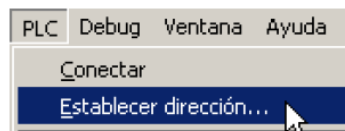
Para el enlace entre equipos de programación y autómatas, es importante conocer la red en que se encuentra el participante, de modo que se seleccione el tipo de protocolo correcto. La Tabla 2.3 permite definir cuáles son los parámetros para cada conexión:

**Tabla 2.3. Parámetros de conexión.**

	Dirección del PLC	Medio de Comunicación
<b>Uni – Telway</b>	SYS	UNTLW01
<b>USB</b>	SYS	USB
<b>ETHERNET</b>	<Dirección IP del PLC>	TCP/IP
<b>MODBUS</b>	<Dirección MB del PLC>	MODBUS01

Fuente: Manual Unity Pro.

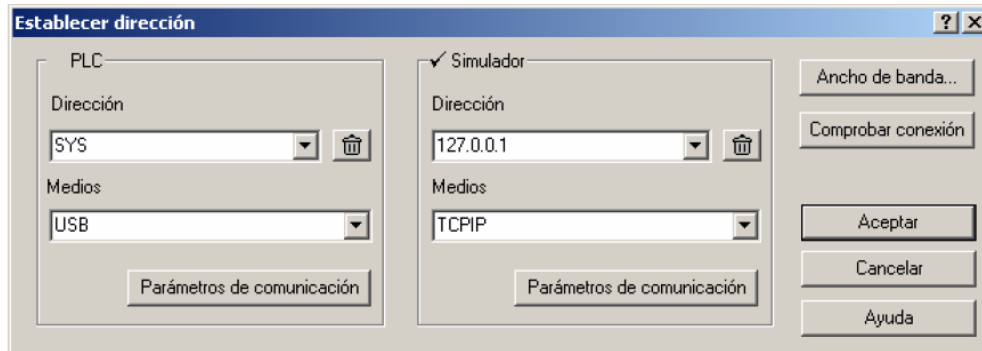
Esta operación se realiza mediante el menú *PLC* y *Establecer dirección*. Ver figura 2.22.



**Figura 2.22. Menú PLC -> Establecer dirección**

Fuente: Manual Unity Pro

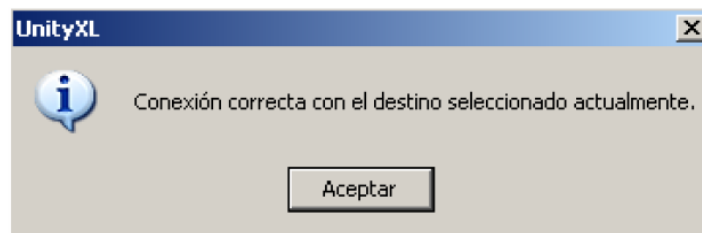
Aparecerá una ventana (Ver Figura 2.23) en la que se ha de seleccionar el protocolo (medio de comunicación) y la dirección:



**Figura 2.23. Ventana en la que se define la conexión con el PLC.**

Fuente: Manual Unity Pro

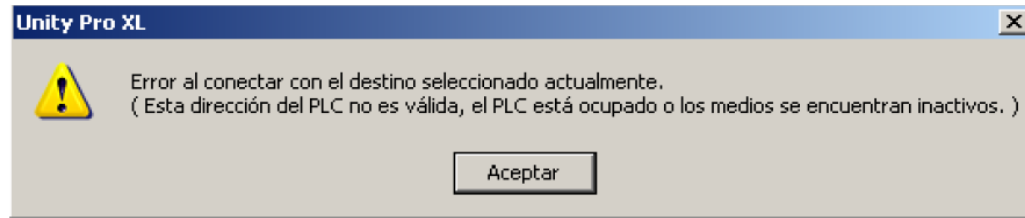
Una vez asignada la dirección, se puede pulsar en *Comprobar conexión* para verificar si la configuración de la dirección es la correcta. Si aparece la ventana de la Figura 2.24, la configuración es correcta:



**Figura 2.24. Ventana que indica la buena configuración de la dirección.**

Fuente: Manual Unity Pro.

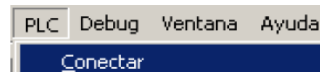
Si aparece la otra ventana de la Figura 2.25, hay un error de configuración de la dirección, error de configuración en esta ventana o en la configuración de los drivers (programa Drivers Manager).



**Figura 2.25. Ventana que indica un error de configuración.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Si la configuración es correcta, el siguiente paso es conectarse mediante el menú *PLC* y *Conectar*. Ver figura 2.26.



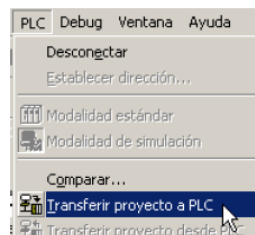
**Figura 2.26. Menú PLC – Conectar**

Fuente: Manual Unity Pro

Una vez conectado se ha de mirar los indicadores siguientes:

- o Estado entre el proyecto compilado y la aplicación que lleva el PLC: **DIFERENTE** o **IGUAL**.
- o Estado del PLC: **RUN** (se ejecuta la aplicación) o **STOP** (aplicación detenida) o **NO CONF.** (el PLC no lleva ninguna aplicación).

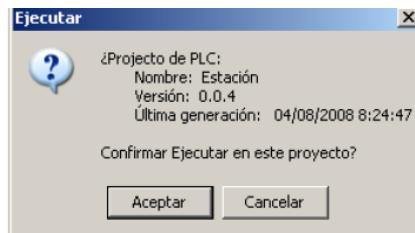
Si la indicación es **IGUAL** no hace falta transferir. Si la indicación es **DIFERENTE** se ha de ir al menú *PLC* y seleccionar *Transferir proyecto a PLC* de acuerdo a los mostrado en la Figura 2.27.



**Figura 2.27. Menú PLC – Transferir proyecto a PLC**

Fuente: Manual Unity Pro

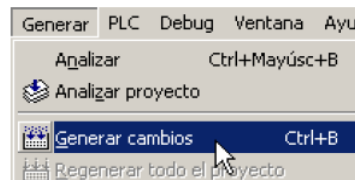
Luego la información indicada será **IGUAL** y **STOP**. Para ejecutar la aplicación del PLC se ha de ir al menú PLC y seleccionar *Ejecutar* o mediante el ícono que se encuentra en la barra correspondiente. Al pulsar en este ícono aparece una ventana de confirmación en la que se pulsa *Aceptar* si se desea realmente ejecutar la aplicación. Ver Figura 2.28.



**Figura 2.28. Menú PLC – Ejecutar – Aceptar**

Fuente: Manual Unity Pro

Pueden realizarse cambios online (en modo conectado). Al acabar de realizar los cambios se ha de ir al menú *Generar* y seleccionar *Generar los cambios* como en la Figura 2.29. El sistema analizará los cambios realizados y cargará estos cambios al PLC sin tener que transferir otra vez (sin detener el PLC).



**Figura 2.29. Menú Generar–Generar cambios.**

Fuente: Manual Unity Pro

Para trabajar de forma normal se ha intentar tener siempre los indicadores “verdes” siguientes: **GENERADO**, **IGUAL** y **RUN**.

#### 2.2.3.4. Pantallas de operador

Las pantallas de operador son pantallas en las que es posible insertar objetos como botones, indicadores, textos, números, barras, casilla de verificación, imágenes desde una librería de pantallas de operador o desde su disco, etc. Su diseño es totalmente libre o sea que no hay que seguir ninguna regla especial. La librería de operador permite utilizar numerosos objetos gráficos ya creados que facilitan la creación de pantallas de operador. En la Figura 2.30 se observa un ejemplo de lo mencionado.

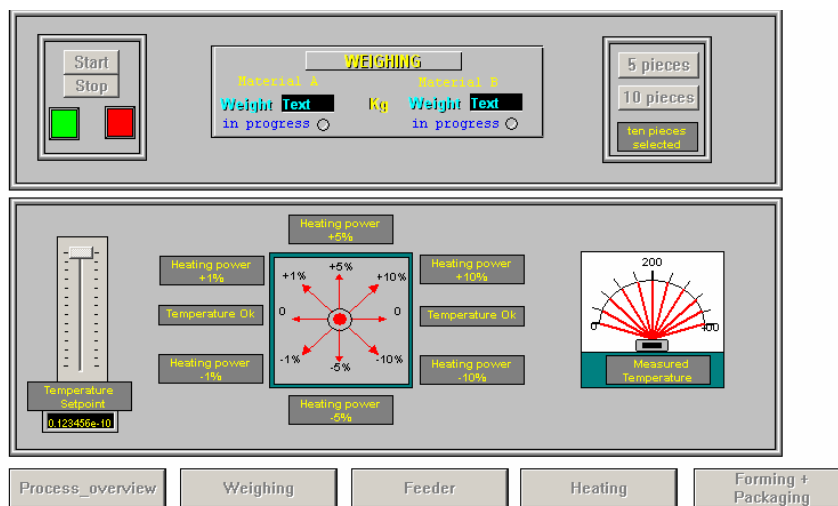
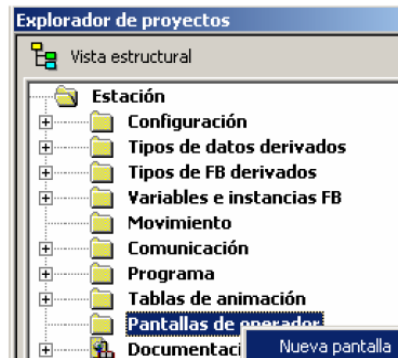


Figura 2.30. Ejemplo de control de proceso.

Fuente: Manual Unity Pro.

#### ○ Creación de una nueva pantalla

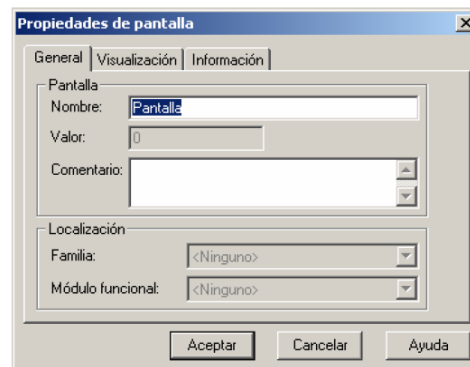
Para crear una pantalla de operador se hace clic derecho en *pantallas de operador* desde el *explorador de proyectos* y seleccionar *nueva pantalla* de acuerdo con lo mostrado en la Figura 2.31 a continuación.



**Figura 2.31. Creación de una Nueva pantalla.**

Fuente: Manual Unity Pro

Aparece la ventana de propiedades de la Figura 2.32 en la que es posible cambiar el nombre la pantalla, escribir un comentario. También es posible cambiar el tamaño de la pantalla en la pestaña *Visualización*.



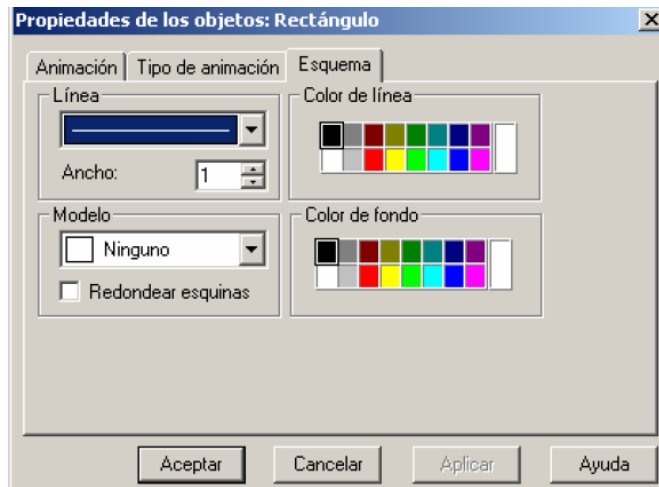
**Figura 2.32. Propiedades de pantalla.**

Fuente: Manual Unity Pro.

- **Configuración de los objetos gráficos**

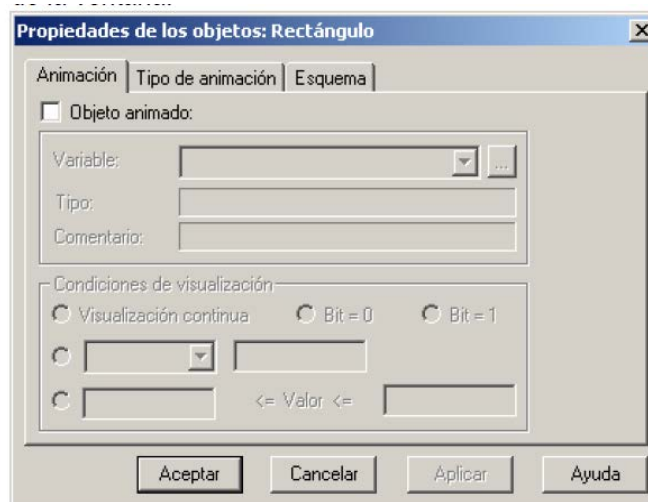
Para configurar un objeto insertado previamente se hace un doble clic en el objeto. Por ejemplo con el objeto rectángulo aparecen las pestañas siguientes:

- **Pestaña esquema:** configuración de colores y de la línea como se ve en la Figura 2.33.



**Figura 2.33. Pestaña Esquema del objeto Rectángulo.**  
Fuente: Manual Unity Pro.

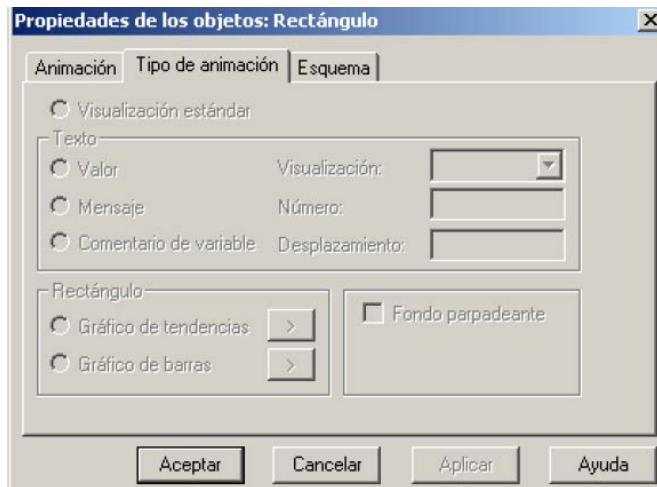
- **Pestaña Animación:** es posible definir un objeto como objeto animado y asociarle una variable. Según el tipo de variable podrá decidir si quiere visualizar el objeto cuando está igual a 0, a 1 o siempre o según un rango definido en la parte inferior de la ventana. Ver Figura 2.34.



**Figura 2.34. Pestaña Animación del objeto Rectángulo.**  
Fuente: Manual Unity Pro.

- **Pestaña Tipo de animación:** Se encuentran más opciones para visualizar un texto, un valor o un gráfico de barras o tendencias. Ver Figura 2.35.



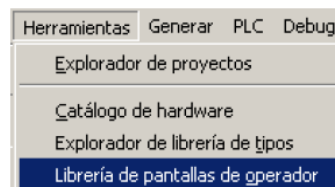


**Figura 2.35. Pestaña Tipo de animación del objeto rectángulo.**

Fuente: Manual Unity Pro.

- **Librería de pantallas de operador.**

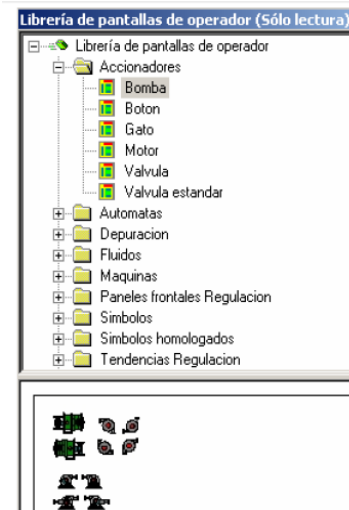
La librería de pantallas se abre cuando se crea una pantalla de operador. Si no se abre la ventana puede ir al menú *Herramientas* y seleccionar *Librería de pantallas de operador*. Este despliegue se observa en la Figura 2.36.



**Figura 2.36. Menú Herramientas – Librerías de pantalla de operador.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Puede seleccionar dentro de un catálogo amplio numerosos objetos gráficos que pueden configurarse. En la Figura 2.37. se encuentra un ejemplo de esto.



**Figura 2.37. Librería de pantallas de operador.**

Fuente: Manual Unity Pro.

Haciendo doble clic sobre un tipo (por ejemplo: Bomba), se abre una ventana que contiene todos los objetos gráficos de este tipo. Es posible copiar este en su pantalla de operador. Todos los objetos pueden desagruparse para configurar una animación a una parte del objeto. [14]

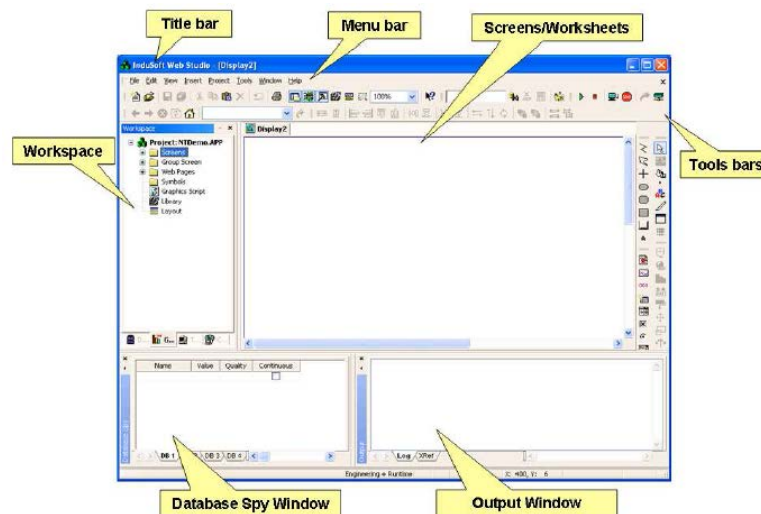
#### **2.2.4. DESCRIPCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA IHM INDUSOFT WEB STUDIO**

- **Descripción**

Indusoft Web Studio es una aplicación que consiste en un conjunto de pantallas que funcionan como interfaz con el operador, drivers de comunicación (para PLC's y protocolos de E/S como Modbus, DFS, Profibus, CD600 entre otros), una base de datos de las variables (Tags Database), y otros módulos como alarmas, tendencias, lógica, recetas, reportes, base de tiempo y seguridad. IWS provee de aplicaciones que sirven de interfaz con sistemas industriales de E/S y otras aplicaciones de Windows durante su tiempo de ejecución, entre éstas se encuentran ODBC, DDE, NetDDE, OPC o protocolos TCP/IP. Las aplicaciones se pueden manejar vía web (Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla). Este producto consiste de dos partes:

- El software del sistema de desarrollo (Development), el cual se ejecuta en una PC de escritorio, laptop, o PC industrial que opere con algún sistema soportado por Microsoft, excepto Windows CE.
  - El software del sistema de ejecución (Run-Time), el cual funciona en una estación de trabajo donde el sistema operativo sea soportado por Microsoft, incluido Windows CE.
- **Entorno de trabajo**

El entorno de trabajo estándar de IWS, está integrado con el de las aplicaciones de Windows, haciendo que la interfaz y las herramientas de esta aplicación sean amigables para el usuario. IWS también posee un entorno único e integrado (ver la Figura 2.38) de fácil acceso a las herramientas y a la información.



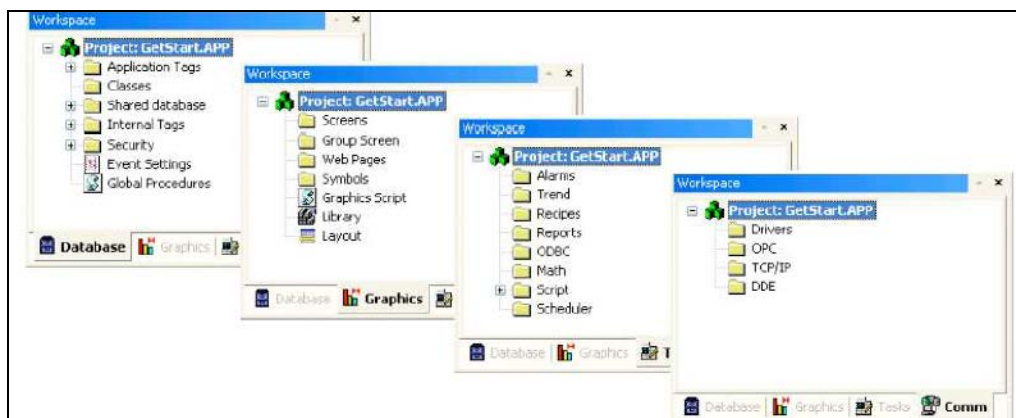
**Figura 2.38. Entorno de trabajo de Indusoft Web Studio**  
Fuente: Manual Indusoft Web Studio

El entorno de trabajo consiste en las siguientes áreas básicas:

- **Barra de Título (Title Bar):** Indica la pantalla o la hoja de trabajo que se encuentre activa.

- **Barra de Menú (Menu Bar):** Contiene las principales opciones de controles y productos, a los que se puede acceder fácilmente usando el cursor o el teclado.
  - **Pantalla/Hojas de trabajo (Screen/Worksheet):** Es el área a usar para editar las pantallas y las hojas de trabajo.
  - **Barras de Herramientas (Toolbars):** Este provee accesos directos a los principales comandos usados en el entorno de trabajo de IWS.
  - **Espacio de Trabajo (WorkSpace):** Este posee un esquema ramificado el cual permite el acceso a las pantallas y a las hojas de trabajo del proyecto.
  - **Ventana espía (Database Spy Window):** Provee las herramientas de depuración, para monitorear y forzar las variables, y para ejecutar funciones.
  - **Ventana de Salida de datos (Output Window):** Muestra los mensajes de depuración de la aplicación.
- 
- **Espacio de trabajo (Workspace)**

El espacio de trabajo de IWS es una interfaz que permite encontrar y crear de forma rápida algún componente de la aplicación (variables, pantallas, hojas de trabajo entre otros); los cuales son organizados en un esquema ramificado, cada uno de ellos posee un ícono y una descripción propia. Este se puede desplazar, re-dimensionar y ocultar. En la Figura 2.39 se observan las ventanas que lo componen.



**Figura 2.39. El espacio de trabajo de IWS.**

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.



El espacio de trabajo de IWS está dividido en cuatro módulos, que se describen a continuación:

- **Bases de datos (Database).**

Permite acceder a todas las variables de la aplicación y a los componentes de seguridad del sistema. Este módulo incluye las carpetas explicadas en la Tabla 2.4:

**Tabla 2.4. Variables cagadas en la Base de datos.**

<b>Tipo de Variables</b>	<b>Descripción</b>
<b>Variables de la aplicación (Application Tags)</b>	Variables creadas durante el desarrollo de la aplicación.
<b>Clases (Classes)</b>	Variables compuestas, llamadas clases, estas se crean para asociar un conjunto de valores con un objeto.
<b>Base de datos compartida (Shared Database)</b>	Variables creadas en otra aplicación y son importadas a IWS.
<b>Variables del sistema (System Tags)</b>	Variables predefinidas por IWS. Estas son de solo lectura por tanto el usuario no las puede modificar ni eliminar.
<b>Seguridad (Security)</b>	Contiene todos los grupos y usuarios de seguridad configurados para la aplicación.
<b>Procedimientos globales (Global Procedures)</b>	Contiene funciones y procedimientos en VBScript que pueden ser llamados desde cualquier otro Script en la aplicación.
<b>Configuración de los eventos (Event Settings)</b>	Contiene las condiciones de registro y recuperación de eventos.

Fuente: Manual Unity Pro.

Se puede visualizar, insertar y editar variables (tags) en las carpetas de variables de la aplicación, clases, base de datos compartida o variables de sistema de la siguiente manera:

- Haga doble clic en *Datasheet View* para abrir las hojas de trabajo de las variables, las cuales se utilizan para crear y modificar las variables de la aplicación.



- Abrir la carpeta de *Tag List* o *Member Tag* y hacer doble clic sobre el nombre de cualquier variable (*tag*) y se abrirá un cuadro de diálogo con las propiedades de la variable. Las cuales pueden ser modificadas según se desee.

Para configurar una cuenta de seguridad existente se debe hacer doble clic sobre el grupo o el nombre del usuario. Cuando se visualiza el cuadro de dialogo de un grupo o un usuario, los parámetros mostrados permiten modificar las propiedades de los grupos o usuarios.

### o Gráficos

Permite acceder a todas las pantallas y símbolos de la aplicación. Este módulo incluye las siguientes carpetas e íconos:

- Pantallas (Screens).
- Grupos de Pantallas (Group Screen).
- Páginas Web (Web Pages).
- Símbolos (Symbols).
- Comandos de Pantallas (Graphics Script).
- Librería (Library).
- Disposición de las pantallas (Layout).

Para abrir una pantalla, página web o símbolo para editar se debe hacer clic sobre el botón apropiado.

### o Tareas (Tasks)

Permite acceder a todas las hojas de trabajo en la aplicación. Este módulo incluye las siguientes carpetas:

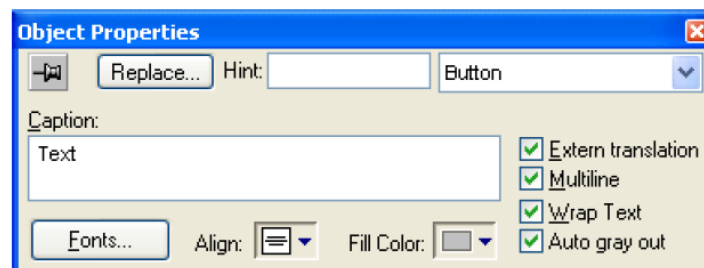
- Alarmas (Alarms).

- Tendencias (Trend).
- Recetas (Recipes).
- Reportes (Reports).
- ODBC.
- Matemáticas (Math).
- Script.
- Bases de tiempo (Scheduler).
- Base de datos externas (External Database).

Para abrir las hojas de trabajo que desea editar, debe hacer doble clic en el botón de la tarea y la hoja de trabajo se va a mostrar en la pantalla de visualización.

#### o Ventana de Propiedades de los Objetos (Object Properties Dialog)

La ventana de propiedades de los objetos (Object Properties Dialog) es la interfaz que permite configurar los parámetros para los objetos y el diseño dinámico con el editor de pantallas de Indusoft Web Studio. Esta puede ser abierta haciendo doble clic en el objeto. Y se despliega la ventana mostrada en la Figura 2.40.



**Figura 2.40. Ventana de propiedades de los objetos.**

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

El contenido de esta ventana depende del objeto o grupo de objetos que haya seleccionado el usuario. Los campos explicados en la Tabla 2.5 son comunes para cualquier objeto o grupo de objetos.

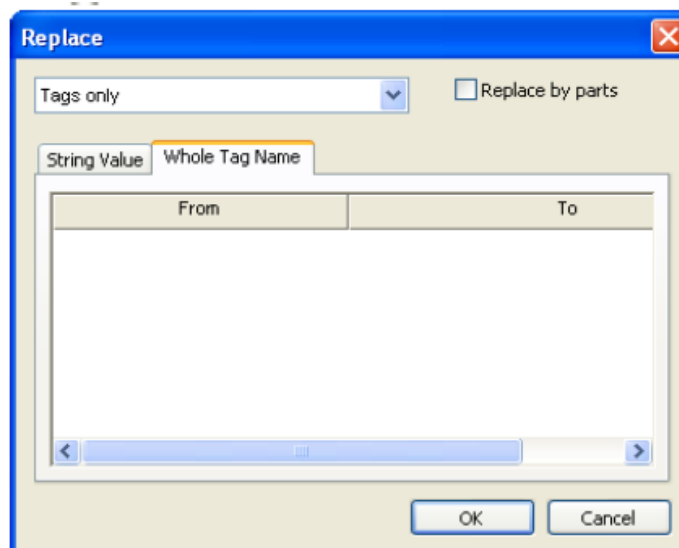
**Tabla 2.5. Descripción de la ventana de propiedades de los objetos.**

Campo	Comentarios	Sintaxis
Botón Pin	Cuando el botón pin es liberado, el foco pasa al objeto en la pantalla tan pronto como el objeto es seleccionado. Cuando es pulsado se mantiene el enfoque en la ventana de propiedades de los objetos aun cuando se seleccione otro objeto.	Botón
Reemplazar (Replace)	Muestra el cuadro de dialogo de reemplazar, donde se pueden reemplazar cadenas de caracteres, variables o propiedades del objeto o grupo de objetos seleccionados.	Botón
Indicio (Hint)	Descripción aparece durante el tiempo de ejecución, cuando el usuario mantiene el cursor del ratón sobre el objeto durante unos segundos. Esta opción es utilizada para darle una indicación al usuario durante el tiempo de ejecución.	Texto y/o variable (hasta 256 caracteres)
Botón	Este combo-box permite seleccionar el objeto dinámico específico o grupo de objetos que deben ser editados	Combo-Box

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

o **Ventana de reemplazo**

Al pulsar el botón Reemplazar de la ventana de Propiedades de los objetos, se muestra el cuadro de diálogo representado en la Figura 2.41.



**Figura 2.41. Propiedades de los objetos (Reemplazo).**

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.





Este cuadro de diálogo ofrece una herramienta rápida y fácil para reemplazar cadenas de caracteres, las variables y/o propiedades de un objeto (o grupo de objetos). Las principales interfaces de esta pantalla se describen en la Tabla 2.6 a continuación:

**Tabla 2.6. Descripción de la ventana de propiedades de los objetos (Reemplazo).**

Campo	Comentarios	Sintaxis
Tags only <input type="button" value="v"/>	Permite filtrar el tipo de información que puede ser sustituida: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tags only:</b> Muestra sólo las variables configuradas directamente.</li> <li>• <b>Tags + Propiedades:</b> Muestra las variables configuradas directamente y las propiedades como nemónico.</li> <li>• <b>Custom Propiedades:</b> Muestra solamente los nemónico configurados</li> </ul>	Botón
Reemplazar por partes  (Whole tag name)	Cuando se activa permite que el usuario puede modificar una parte de la variable por separado: Nombre de la variable, índice del arreglo, miembro de la clase y campo de la variable. Esto es muy utilizado cuando se desea reemplazar una propiedad en específico para diferentes variables configuradas en un mismo grupo de objetos.	Botón

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

- **Carpeta de las variables**

Se pueden usar las variables como puntos de comunicación con equipos en campo, resultados de cálculos, puntos de alarmas, etc. En IWS, todas las variables son organizadas dentro de carpetas en el módulo de base de datos (Database) de acuerdo a su origen (aplicación, internos, compartidos). IWS también posee una carpeta de bloques de variables estructuradas, conocido como *Classes*.

A continuación se hace una descripción de las carpetas de las variables que existen en IWS, de acuerdo con la Tabla 2.7.






**Tabla 2.7. Carpetas de variables del IWS.**

Carpeta de variables	Descripción
Variables de la aplicación (Application Tags)	Variables creadas por el usuario. Algunos de sus usos son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pantallas.</li> <li>• Lectura y escritura de valores con los equipos en campo.</li> <li>• Control.</li> <li>• Realizar cálculos matemáticos.</li> </ul>
Clases (Classes)	Permite un alto nivel de encapsulación en la base de datos de la aplicación. Al crearse este tipo de variable, esta contiene un grupo de valores en vez de un único valor.
Variables compartidas (Shared Tags)	Son variables que han sido importadas de otra aplicación a IWS. Estas variables no pueden ser modificadas desde IWS. Pueden ser usadas como cualquier variable.
Variables de sistema (System Tags)	Son variables predefinidas por IWS. Las variables de sistema tienen funciones predeterminadas (tales como: tiempo, fecha, reconocimiento de alarmas, nombre de usuario conectado, entre otros).

Fuente: Manual Unity pro.

También se manejan diferentes tipos de variables dentro de la aplicación de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8. Tipo de variables manejadas en el IWS.**

Imagen	Tipo	Descripción
	<b>Booleano (Boolean)</b>	Es una variable digital (0 ó 1).
	<b>Entero (Integer)</b>	Es un número entero (positivo, negativo o cero).
	<b>Real</b>	Es un número real (flotante), se almacena internamente como una palabra doble.
	<b>Cadena (String):</b>	Variable de hasta 1024 caracteres que puede contener letras, números o caracteres especiales.
	<b>Clase (Class):</b>	Variable compuesta definida por el usuario.

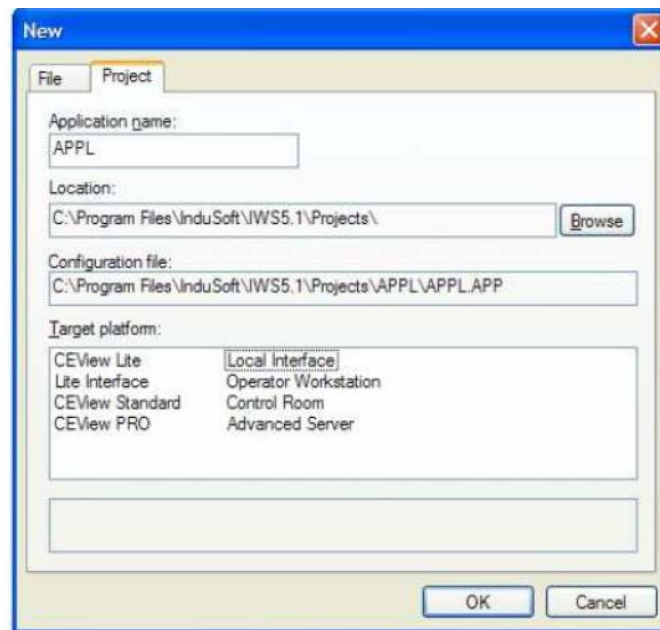
Fuente: Manual Unity Pro.

Los íconos o imágenes mostradas en la tabla anterior están localizados en las carpetas del módulo de base de datos (*Database*).

- **Crear una aplicación en IWS**

Se usa el siguiente procedimiento para crear una nueva aplicación en IWS:

- Desde la barra del menú principal se selecciona **File** → **New**.
- Cuando se visualice la ventana **New** seleccione la pestaña **Project**. Ver Figura 2.42.

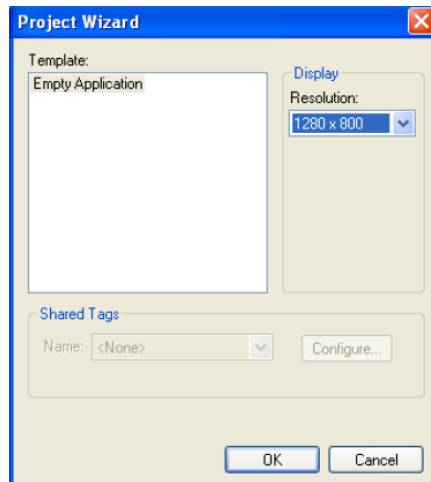


**Figura 2.42. Ventana New -> Pestaña Project.**

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

- Se debe escribir el nombre de la aplicación dentro del campo de texto *Application Name* e indicar en donde se va a guardar el proyecto en el campo de *Location*. IWS automáticamente crea un nuevo directorio con el mismo nombre y asigna el archivo de aplicación a ese directorio.
- Se selecciona la plataforma de la lista de *Target Platform*, y haga clic en el botón de *Ok*.

- Cuando la ventana de diálogo *Project Wizard* se muestra (en la Figura 2.43), se escoge *Empty Application* de la lista que se visualiza en *Template*, se define la resolución de la lista que se despliega del combo-box de *Resolution* y se hace clic en *OK*.



**Figura 2.43. Project Wizard.**

Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

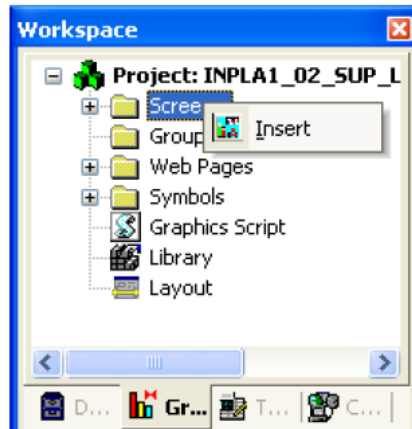
El nombre del archivo de la nueva aplicación se visualiza en la ventana de *Workspace*.

- **Creación de pantallas y gráficos**

- **Creación de una pantalla:**

Para crear una nueva pantalla en una aplicación, se siguen los siguientes pasos:

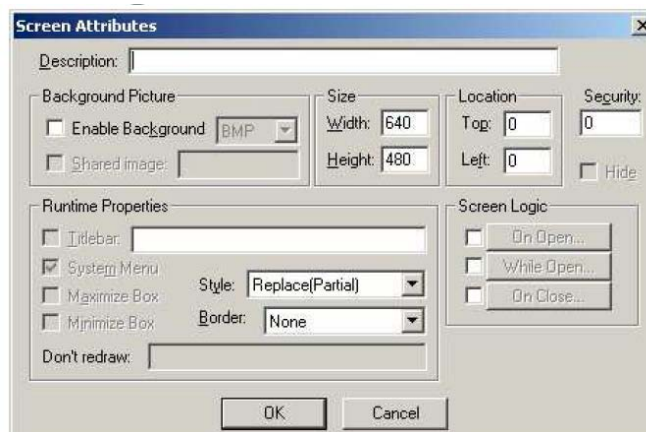
- En la ventana de *Workspace*, se hace clic en la pestaña de *Graphics*. Y luego se pulsa el botón derecho sobre la carpeta de *Screens*. En la Figura 2.44 se observa cómo se realiza este procedimiento.



**Figura 2.44. Insertar una pantalla nueva.**  
Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

IWS muestra todas las pantallas que han sido creadas para una aplicación en esta carpeta.

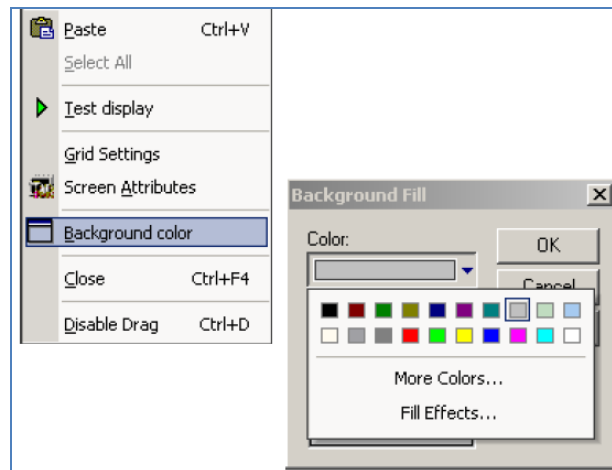
- Cuando el menú emergente se muestra, se selecciona la opción de *Insert* para abrir la ventana de *Screen Attributes*. Ver Figura 2.45.



**Figura 2.45. Ventana de atributos de pantalla.**  
Fuente: Manual Indusoft Web Studio.

- Se usa esta ventana para establecer las propiedades de la pantalla tales como tamaño y tipo. Para este ejemplo se hizo clic en el botón *Ok* para dejar las propiedades por defecto que está arroja.

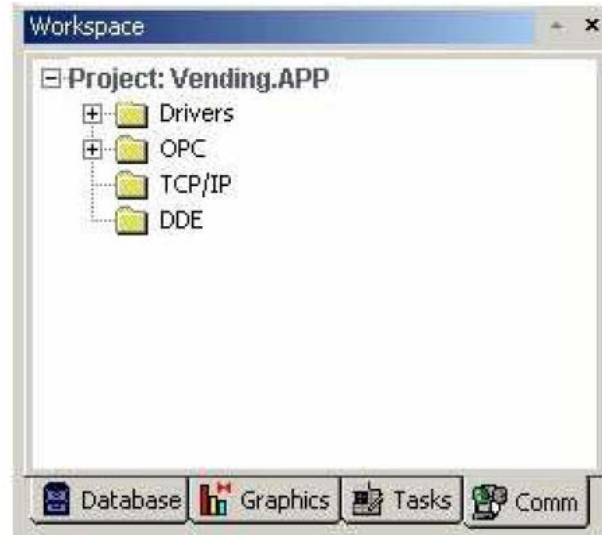
- Se hace clic derecho sobre la nueva pantalla y se selecciona la opción de *Background color* del menú emergente. Se elige un color y se hace clic en *Ok* para aplicar ese color a la pantalla tal cual como se muestra en la Figura 2.46.



**Figura 2.46. Cambiar color de fondo.**  
Fuente: Manual de Indusoft Web Studio.

- **Configuración de las comunicaciones**

Seguidamente se explicará la configuración de las hojas de trabajo en el módulo de comunicaciones de IWS. En esta se maneja la comunicación de una aplicación de IWS con otras aplicaciones, con dispositivos remotos (PLC, Controladores, transmisores, entre otros) y cualquier dispositivo que utilice OPC y servidores DDE. Por medio de la pestaña *Comm* del *Workspace* se puede acceder a todas las hojas de trabajo de las comunicaciones que se están utilizando en la aplicación, como se observa en la Figura 2.47. [15]



**Figura 2.47. Pestaña Comm del Workspace.**  
Fuente: Manual Indusoft Web Studio.

## 2.2.5. GENERALIDADES DE LA NORMA ISA 20.00.03 – 2001 PARA ESPECIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS

- **Alcance de la Norma ISA 20.00.03 – 2001**

Este estándar establece los requerimientos para los formatos de especificación de instrumentos publicadas por la ISA. El uso de la misma está recomendado para organizaciones que generen sus propias formas de especificación equivalentes. Las directrices que se presentan en este estándar asisten en la producción eficiente de los formatos de especificación que mantienen consistencia y compatibilidad con los formatos de especificación de la ISA.

- **Aplicación**

Miembros de comités de estándares, usuarios o fabricantes, y expertos pueden usar su conocimiento de los componentes particulares de instrumentos en conjunto con esta guía para desarrollar nuevos formatos de especificación, proveer instrucciones de ayuda contextual, y desarrollar listas de escogencia para llenar dichos formatos.



Estos requerimientos de los formatos y guías de desarrollo pueden ser usados para las siguientes funciones:

- Evaluar la adecuación de un formato de especificación de *Parámetros de Operación* para la especificación de un nuevo dispositivo de hardware.
- Desarrollar formatos de *Especificación de Dispositivo* para nuevos instrumentos.
- Establecer criterios de revisión para formatos nuevos o revisados que buscan ser aprobados.

- **Requerimientos e información opcional**

- **Tipos de formato, contenido y orden**

Los formatos de especificación generalmente se componen de tres tipos de formatos por la organización de información siguiente:

- ***Parámetros de Operación.*** Los formatos de Parámetros de operación han sido desarrollados para comunicar las variables del proceso, las condiciones de operación, las condiciones de diseño del proceso, los criterios de diseño de los componentes, las propiedades de los materiales y las condiciones del entorno de operación en la aplicación de un dispositivo.
- ***Especificación de Dispositivos.*** Los formatos de Especificación de Dispositivos han sido desarrollados para comunicar los requerimientos de hardware del dispositivo y las propiedades para un dispositivo principal y para dispositivos acoplados y directamente asociados.
- ***Requerimientos Generales o Especiales.*** Los formatos de Requerimientos Generales o Especiales han sido desarrollados para comunicar una tabla que contiene los requerimientos generales o especiales que son aplicables al





dispositivo, pero que necesitan un espacio adicional más allá del disponible en los otros dos tipos de formatos.

### o **Contenido de los formatos de Parámetros de Operación.**

Los formatos de Parámetros de Operación han sido desarrollados para identificar las variables de proceso a ser medidas o controladas, y los parámetros del entorno y de procesos que afectan los objetivos de medida o control. Un solo formato es apropiado para todos los tipos de instrumentos que se relacionan con la variable medida común identificada o con el elemento final de control. Las categorías de información siguientes son requeridas para estos formatos, si son apropiados para el tipo de dispositivo:

- Identificaciones administrativas.
- Identificaciones de servicio.
- Criterio de diseño del componente
- Condiciones de variables de flujo del material necesarias para realizar cálculos de dimensionamiento o de selección de dispositivos.
- Condiciones de diseño del proceso necesarias para la selección del tipo de dispositivo.
- Nombre del material, composición y propiedades requeridas para el cálculo, dimensionamiento de dispositivo o evaluación de idoneidad.
- Condiciones de operación del entorno.
- Datos de instalación física requeridos para evaluar la aplicación.

Los parámetros opcionales que deben ser evaluados para su inclusión en un formato de Parámetros de Operación, o en una página suplementaria del formato, incluyen lo siguiente:

- Requerimientos especiales para la aplicación o hardware del dispositivo.



- Resultados de cálculo de análisis de dimensionamiento preliminares pertinentes para el dimensionamiento o selección del tipo de dispositivo.
- Datos de diseño de ingeniería básicos que identifican los parámetros de servicio y del entorno entre los cuales debe trabajar el dispositivo.
- Datos detallados de la composición del material.

### ○ **Contenido de los formatos de Especificación del dispositivo.**

Los formatos de Especificación de Dispositivo han sido desarrollados para compilar la información requerida que define al instrumento físico y los requerimientos para sus dispositivos secundarios inmediatamente asociados. Las propiedades de dispositivo secundarias pueden ser desarrolladas en una página del formato adicional.

El contenido específico de cualquier formato de especificación debe ser primordialmente dependiente solo de las características del dispositivo que son necesarias para la comunicación entre el especificador y el fabricante. La intención del formato de especificación, como un documento preliminar para la procura, una especificación tradicional o una especificación complementaria, puede afectar que tanto del contenido del formato es requerido para cumplir con los objetivos respectivos.

- **Sección de tipo y estilo:** Cada subsección del formato debe empezar con un campo de “tipo” con la intención de clarificar la clasificación de más alto nivel del componente del dispositivo. Un campo de “estilo” a veces es ventajoso de agregar para clasificar la construcción del componente.
- **Sección de verificación de conformidad:** La sección de parámetros correlacionados es requerida para proveer confirmación de que las propiedades del dispositivo están conformes con los límites de parámetros de operación identificados en la especificación. Los campos de categorías típicos que deben ser considerados para la inclusión son mostrados en la siguiente tabla:



Tabla 2.9. Parámetros correlacionados.

Campo de categoría de formato de Parámetros de Operación	Campo de categoría de formato de Especificación de Dispositivo
Criterio de diseño del componente	Características de desempeño
Condiciones de diseño del proceso	Clasificación de diseño
Rango de variables medidas	Límites de rango medidas
VARIABLES de operación calculadas	Límites de trabajo
Propiedades de terminación de tubería	Propiedades de terminación
Materiales de tubería	Materiales de construcción

Fuente: Norma ISA 20.00.03–2001.

➤ **Sección de designación de modelo:** Los catálogos de fabricantes de dispositivos generalmente especifican los datos requeridos para ordenar el dispositivo. Esta sección es requerida para cubrir aquellas propiedades al identificar explícitamente cada uno de los atributos del dispositivo que son usados para generar el modelo de número. Esta sección generalmente incluye las siguientes tipos de propiedades:

1. Modelo de la serie que identifica el tipo o estilo de dispositivo.
2. Tamaño nominal.
3. Tamaño nominal de conexión al proceso, categoría, tipo y clasificación.
4. Valores de ajuste o calibración.
5. Acción de control.
6. Fuente de poder de señal
7. Tipo de señal de salida y límites de rango.
8. Componentes opcionales de diseño estándar.
9. Materiales de construcción para componentes de fronteras de presión.
10. Materiales de construcción para componentes internos de contacto.
11. Configuración o tipo de montaje.
12. Clasificación de encerramiento.
13. Accesorios de montaje opcionales.
14. Certificaciones de seguridad, listados o aprobaciones.



- **Contenido de los formatos de Requerimientos Generales o Especiales.**

El formato de Requerimientos Generales o Especiales, el cual es opcional, ha sido desarrollado para especificar requerimientos que no pueden adecuadamente descritos en los formatos de Parámetros de Operación o de Especificación de Dispositivo. La primera hoja de este formato deberá contener una nota referenciando los requerimientos como parte de la especificación, y una Tabla de Contenidos de los requerimientos generales o especiales. Deben ser incluidos el mismo encabezado del formato de especificación, una crónica de revisión, y una sección de observaciones en el pie de página usada en los formatos de Parámetros de Operación o de Especificación de Dispositivo. Una página subsecuente puede usar el mismo formato o uno diferente como sea apropiado para las referencias. [16]



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

En relación con el objetivo general de la investigación; Diseñar la automatización de la planta de Agua Desmineralizada I-103 del Complejo Petroquímico Morón con el fin de disminuir los problemas existentes actualmente en la misma debido a la manipulación manual, se siguió el diseño documental descriptivo y un tipo de Investigación Aplicada, apoyada por la investigación Documental. Todo esto de acuerdo a los conceptos planteados por los siguientes autores:

De acuerdo con Balestrini, Miriam (2006), *“El Diseño Documental es el plan global de investigación, orientado a la búsqueda de soluciones que emerjan de situaciones o fenómenos concretos analizados a través de fuentes documentales que sirven de aporte a una comunidad o grupo”*[5].

Igualmente de acuerdo al autor anterior, *“El Diseño Descriptivo proporciona al investigador mayor información sobre el problema, es decir, define clara y profundamente la situación problema, ayuda a obtener un conocimiento preciso de aquello que se estudia, a fin de obtener los mayores beneficios”*[5].

Según Pineda, Canales y Alvarado (2002), *“La Investigación Aplicada busca o perfecciona recursos de aplicación del conocimiento ya obtenido mediante la investigación pura y por tanto, no busca la verdad, como la investigación pura, si no la utilidad. En otras palabras, se trata aquí de investigar las maneras en que el saber científico producido por la investigación pura puede implementarse o aplicarse en la realidad para obtener un resultado práctico. Se trata de investigaciones que se caracterizan por su interés en la*



*aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos y guarda íntima relación con la investigación pura o básica, pues depende de sus descubrimientos y avances y se enriquece de ellos” [6].*

La investigación recibió el apoyo determinante de la investigación documental, la cual es definida por Sierra (2002) como: *“la revisión exhaustiva de un fenómeno o problema desde el enfoque teórico que permite desarrollar soluciones fundamentales en teorías referenciales” [7].*

### **3.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN O RECOLECCIÓN DE DATOS**

En el presente trabajo de grado la recopilación de datos se realizó haciendo uso de las siguientes técnicas:

- **Análisis documental:**

Esta actividad se define como la búsqueda y análisis de los documentos donde se exponen los hechos trascendentes o criterios que deben ser usados para la interpretación de los mismos hechos, y en consecuencia, tomar una decisión. A través de esta técnica se describen las bases teóricas, legales y prácticas sobre las cuales se sustenta la investigación.

De esta manera, se realizó la recolección en libros, manuales, publicaciones y páginas web del material bibliográfico relacionado con los sistemas de control automatizados, el software de programación UNITY PRO XLS (su configuración, conexiones y aplicación como tal), la interfaz Humano-Maquina (IHM, y todo respecto a su comunicación con el programa UNITY PRO XLS), sobre la instrumentación adecuada para el funcionamiento con estas interfaces y las normas a seguir y sobre el proceso que se modernizara en la instalación I-103.



- **Recolección de datos:**

Se ejecutó la recolección de los datos directamente sobre lo que hay en la planta, la instrumentación, la manera como se maneja el monitoreo de las variables y cuales se hacen importantes para garantizar mejoras en la producción de agua desmineralizada, con esto también se buscó conocer el lugar y espacio físico para la ubicación del gabinete donde se ubicará todo lo referente a la arquitectura que integra el sistema de control. En otro sentido, se recopilaron los datos necesarios a través de manuales, planos de instrumentación, descripción del proceso y experiencias adquiridas del personal involucrado con esta planta, de acuerdo a las características requeridas para el diseño a realizar, tomando en cuenta los equipos que mejor se adapten a las condiciones y normas de trabajo, y así dar inicio a la creación de especificaciones técnicas para el desarrollo de este proyecto.

- **Entrevistas informales:**

Consiste en la actividad que hace uso del diálogo orientado hacia la adquisición de ciertos objetivos previamente clasificados. Es una conversación entre dos o más sujetos, iniciado por la parte interesada en obtener información relevante para su investigación.

Referente a esto, se realizaron consultas con los especialistas encargados del área de estudio en la empresa (personal de gerencia técnica, procesos, producción, y operadores), de igual manera con la tutora del proyecto, todo esto con el fin de obtener la información necesaria para la realización del trabajo especial de grado, como lo son recomendaciones y sugerencias provenientes de la experiencia laboral y educativa de ambas partes para aclarar las dudas que estuvieron presentes durante el desarrollo lo cual permitió enfocar de mejor manera el camino a seguir para cumplir con los objetivos propuestos.



- **La observación:**

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o acaso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoyó el investigador para obtener el mayor número de datos.

Dentro de la observación destacan dos tipos tales como:

1. Observación Directa.
2. Observación Indirecta.

**1. Observación Directa:** Es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar.

**2. Observación Indirecta:** Es indirecta cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de reconocimientos realizados anteriormente por otras personas. Tal cual ocurre usando nos valemos de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc., relacionadas con lo que estamos investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes el mismo objetos de estudio.

En esta investigación se utilizó la observación directa para determinar los equipos presentes y la necesidad de sustituir o agregar nuevos, y la indirecta para reforzar lo observado directamente y fusionar esta información con los manuales existentes para dejar una documentación actualizada de lo que tiene la planta y de lo que se propone como diseño.





### 3.3. FASES METODOLÓGICAS

A continuación se muestran las actividades que se llevaron a cabo para cumplir con cada uno de los objetivos planteados.

#### 3.3.1. Análisis del Proceso de la planta de Agua Desmineralizada I-103 a fin de establecer las necesidades del diseño propuesto.

- Recopilación de la documentación necesaria sobre los sistemas de control de procesos automatizados.
- Conocimiento acerca del proceso de la planta I-103.
- Determinación de las rutinas de trabajo de la planta.
- Revisión de los planos de instrumentación.
- Determinación e identificación de la instrumentación y equipos que posee dicha planta.
- Especificación de las normas y estándares a seguir en el momento de la ejecución del proyecto.

#### 3.3.2. Diseño del sistema de control para la planta I-103.

- Análisis de las mejoras que requiere el proceso.
- Descripción de las variables digitales y analógicas que interactúan con el sistema de control respectivo a la I-103.
- Se listó la base de datos del proceso en la instalación.
- Recopilación de la documentación sobre el PLC Modicon Quantum y los módulos E/S y de comunicación.
- Recopilación de información sobre el software de programación Unity Pro XLS (para el PLC Modicon Quantum).



- Realización de la configuración de cada uno de los módulos del PLC de acuerdo a las variables (digitales/analógicas) requeridas como entradas y salidas del proceso.
- Desarrollo de la estructura del programa para el manejo las variables involucradas en el mismo.

### **3.3.3. Diseño una interfaz Humano-Máquina mediante el software de creación de IHM Indusoft.**

- Recopilación de información sobre la interfaz Humano-Máquina Indusoft y su conexión en red con el PLC Modicon Quantum.
- Diseño de pantallas con imágenes análogas al aspecto físico de la planta.
- Se Incluyó en las pantallas opciones para controlar el funcionamiento de la planta, referidas a las rutinas que debe cumplir en su operación.
- Configuración de la comunicación mediante conexión en red necesaria para comunicar el PLC con el IHM.

### **3.3.4. Elaboración y actualización de planos.**

- Actualización los planos de instrumentación de la planta.
- Diseño de los planos eléctricos que involucran la alimentación del PLC, sus módulos y los instrumentos de medición a instalar.
- Diseño de los planos metalmecánicos del gabinete donde estará reflejado el posicionamiento del PLC, sus módulos y borneras.

**CAPÍTULO IV****RESULTADOS**

Según la metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación, se aplicaron diversas técnicas para recopilar los datos necesarios, procesarlos y obtener los resultados esperados. Estos resultados se explican a continuación, de acuerdo a la sección 3.2 del capítulo III del presente trabajo de grado.

#### **4.1. Análisis del Proceso de la planta de Agua Desmineralizada I-103 a fin de establecer las necesidades del diseño propuesto.**

Se realizó la recopilación en libros, publicaciones, manuales y páginas web del material bibliográfico relacionado con los sistemas de control automatizados. De igual manera se estudió el proceso de la planta de agua desmineralizada para así tener conocimiento de la instrumentación que posee actualmente a través de la observación directa de la planta y de la lectura de sus planos. Con esto también se logra obtener la descripción exacta de cada rutina de trabajo en la instalación, para así de acuerdo a las normas y estándares adecuados, ejecutar el proyecto eficientemente. En función de la investigación documental para referentes teóricos se organizó en tablas de categorías (Tabla 4.1 y Tabla 4.2) para identificar los documentos consultados:

**Tabla 4.1. Categoría sobre sistemas de control automatizados**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<b>Ingeniería de Control Moderna OGATA K. (1998).</b>	Se obtuvo la información referente a los sistemas de control en lazo abierto y variables que estos manejan.
<b>Control de Procesos, Instrumentación y Comunicaciones Industriales VIGNONI J. (2002).</b>	En este libro se adquirió la información sobre los sistemas automatizados a través de dispositivos lógicos programables (PLC).

Fuente: Gutiérrez M y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.2. Referentes teóricos sobre el proceso y las rutinas de trabajo de la I-103.**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<b>Descripción de Procesos de Servicios Industriales (2010).</b>	Se adquirió información básica sobre el proceso de la planta I-103.
<b>Proceso de producción de Agua Desmineralizada Inst. 103 (Manual de Operación).</b>	Aquí se recolectó información de cada una de las rutinas de trabajo y de cómo se maneja la planta de manera manual.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Todo lo que se recolectó a través de los textos mencionados en las tablas anteriores se ve reflejado en el Capítulo II del presente trabajo especial de grado.

#### **4.1.1. Descripción breve del proceso llevado en la planta de Agua Desmineralizada I-103:**

En este resumen se planteó lo que se refiere a la materia prima usada, insumos y función de la instalación como tal, para con esto ver un desarrollo paulatino desde lo más general a lo más específico de todo el proceso llevado a cabo.

La materia prima que se requiere:

- Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).
- Soda caustica (NaOH).
- Salmuera (NaCl).

Los insumos que se requieren para el proceso son:

- Agua Cruda.
- Aire de Procesos.

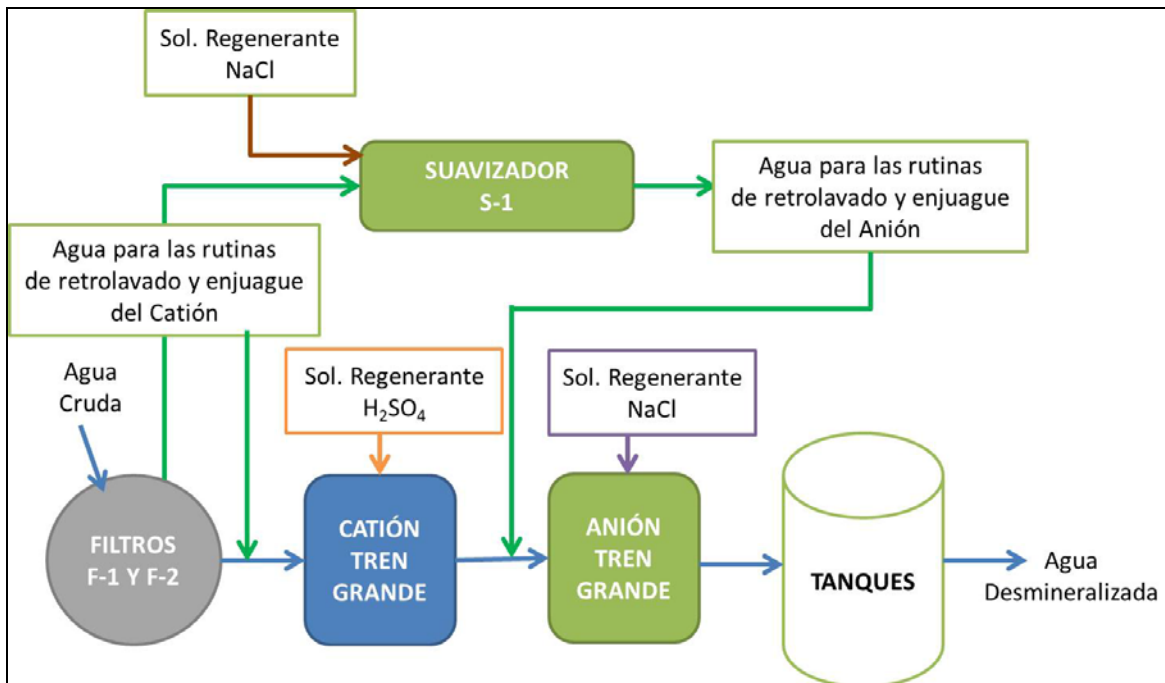
Función:

- Producir Agua desmineralizada con una concentración de sílice  $\leq 0.04$  ppm y un pH entre 7.5 y 8.0.

Producto:

- Agua desmineralizada.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques de la planta de agua desmineralizada: la línea azul indica el servicio, la línea verde indica el agua usada para retrolavado y enjuague, la línea de los demás colores representa la regeneración de cada equipo.



**Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de la planta I-103.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.1.2. Rutinas de trabajo en la planta de agua desmineralizada.

En función de la Figura 4.1 se observa cada uno de los bloques donde se desenvuelven las rutinas del proceso, de las cuales el conocimiento de cada una de éstas en la instalación



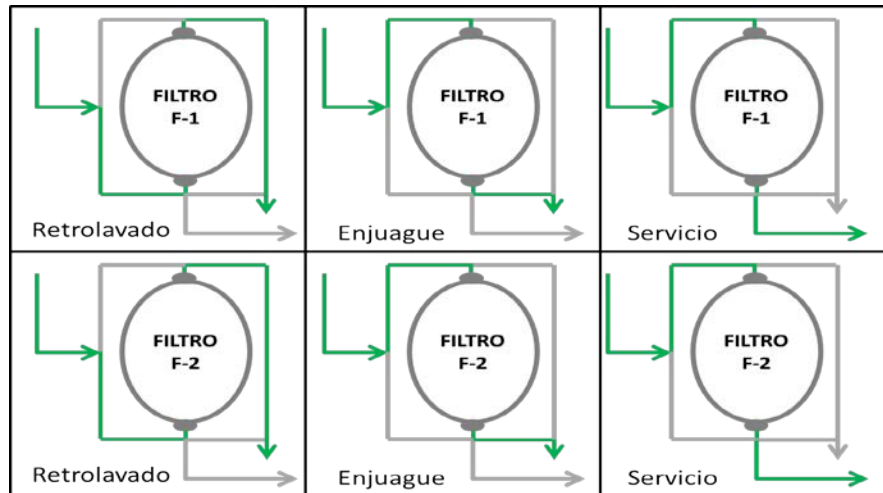
se obtuvo a través de entrevistas informales con el personal de procesos, de gerencia técnica y operadores que laboran en la planta, de igual manera se utilizó como guía documental el manual de operaciones de la misma.

De acuerdo con lo obtenido anteriormente, se describió cada una de las rutinas involucradas en el proceso en general. Se explican estos conceptos para entender, como se desenvuelven estos en el proceso individual de cada equipo (Filtro F-1, Filtro F-2, Cación, Anión y Suavizador):

- **Lavado en contracorriente:** En esta parte para cada equipo se realiza un enjuague con agua, aplicando la presión de la misma en el sentido contrario del flujo normal de agua para remover impurezas que se depositan en los tanques.
- **Enjuague:** Aquí para cada equipo se realiza un lavado de los mismos en el sentido normal del flujo de agua para liberar restos de las impurezas que se encuentran en la parte alta de los tanques.
- **Regeneración:** Se aplica una solución regenerante de acuerdo a la función de cada equipo para así recuperar la condición óptima de trabajo de la resina que posee cada uno de estos.
- **Servicio:** Luego de aplicado los pasos necesarios para el buen funcionamiento del equipo, se procede a ponerlos en servicio.

Ya explicando a que se refiere cada rutina, ahora se especifica cada etapa del proceso de desmineralización del agua:

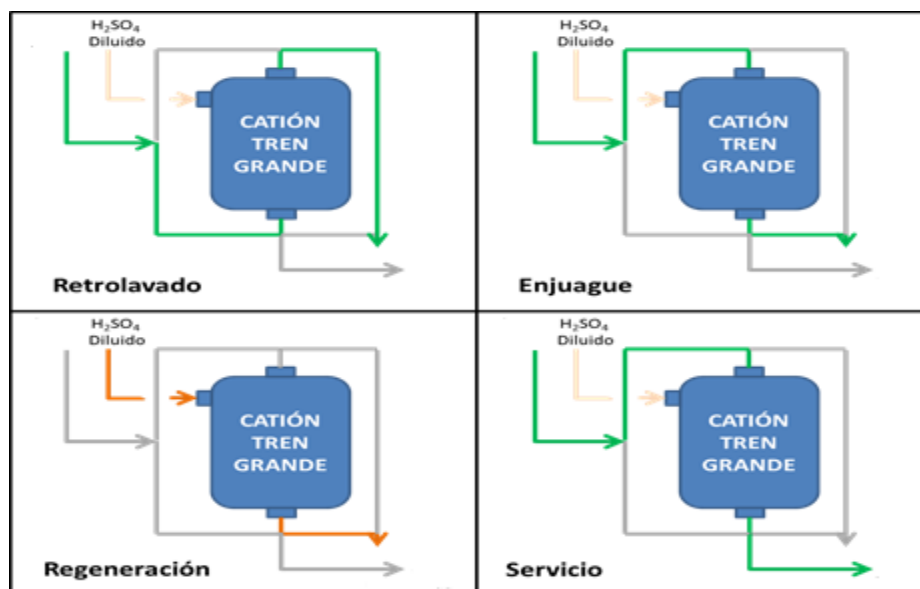
- **Filtros:** Para los dos filtros (F-1 y F-2) primero se realiza un lavado en contracorriente por 15 minutos o hasta que el agua salga limpia, un enjuague durante 10 minutos y luego se pueden colocar en servicio cada uno de estos. En la Figura 4.2 se ejemplifica cada una de las rutinas en los filtros.



**Figura 4.2. Rutinas de los Filtros F-1 y F-2.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

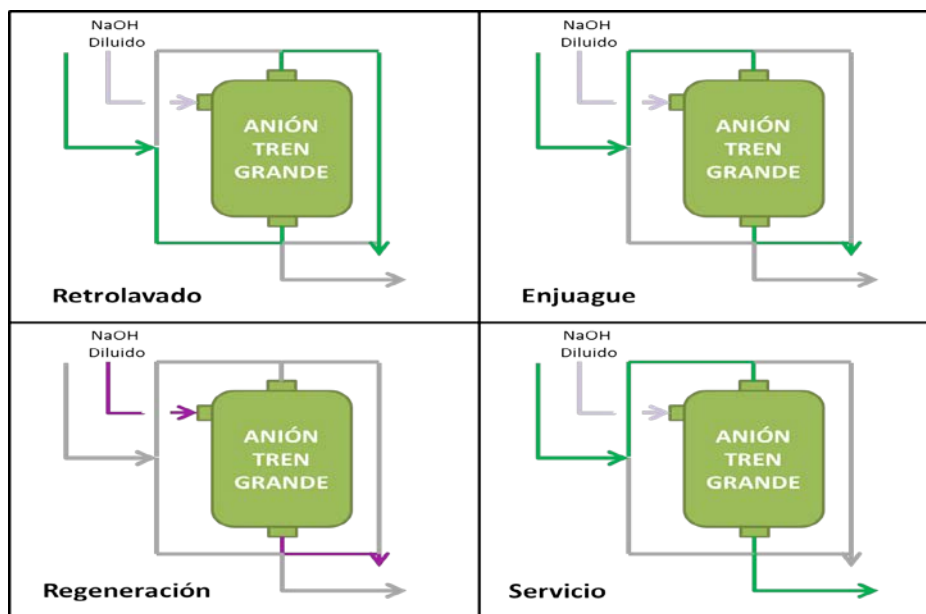
- **Catión Tren Grande:** En este equipo primero se realiza un lavado en contracorriente durante 30 minutos o hasta que el agua salga limpia, después se aplica la regeneración de la resina del equipo con una solución de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) diluido al 20% durante 5 minutos y por último se realiza un enjuague durante 30 minutos para poder colocar el equipo en servicio (Ver Figura 4.3).



**Figura 4.3. Rutinas del Catión Tren Grande.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

- **Anión Tren Grande:** El procedimiento en este equipo es muy parecido al del Cation, se empieza con el retrolavado durante 30 minutos o hasta que el agua este clara, luego se aplica la regeneración de la resina del equipo con una solución de Soda Caustica (NaOH) diluida con agua suavizada al 15% durante 5 min y por último se realiza el enjuague respectivo durante 30 minutos para colocar en servicio a este equipo. En la Figura 4.4 se observa un diagrama que representa cada una de las rutinas llevadas a cabo en el Anión.

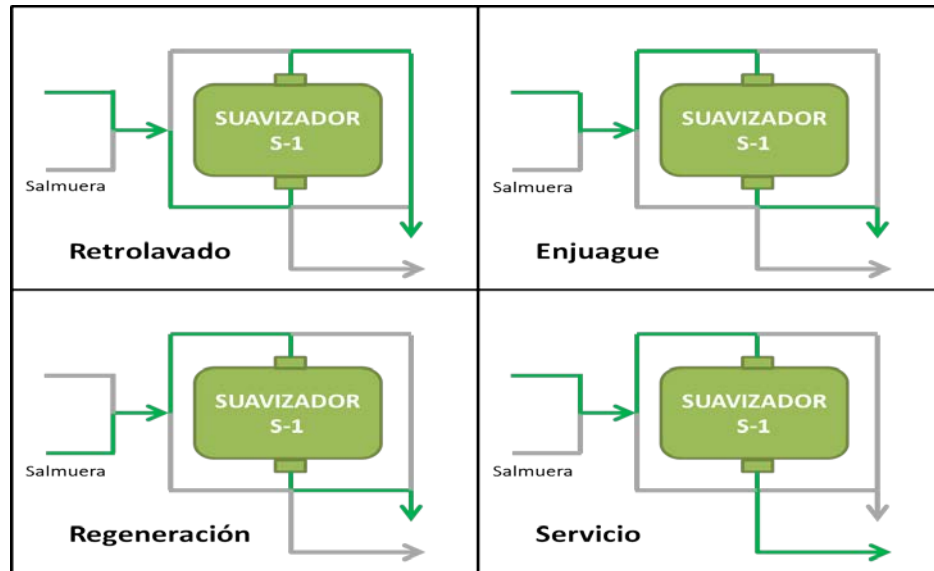


**Figura 4.4. Rutinas del Anión Tren Grande.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

- **Suavizador:** Se realiza un retrolavado durante 15 minutos, después si es pertinente se ejecuta la regeneración del equipo (esto es cada 3 meses) pasando todo el contenido de la dilución de salmuera (NaCl) del tanque SR-5 a este, luego se efectúa un enjuague durante otros 15 minutos para poder colocar en marcha este equipo. Ver ejemplo del flujo de cada rutina en la Figura 4.5.





**Figura 4.5. Rutinas del Suavizador.**  
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.1.3. Revisión de los planos e identificación de la instrumentación de la planta

De acuerdo con el plano de instrumentación (D.T.I. Diagrama de procesos Agua Desmineralizada Inst. 103) y a la observación directa en la planta, se identificó la instrumentación que esta posee. La misma se organiza en la tabla 4.3 para identificar las necesidades que se requieren en la sección 4.2.1, explicada más adelante.

**Tabla 4.3. Instrumentos presentes actualmente en la instalación 103.**

	INSTRUMENTO	TAG	PRODUCTO A MEDIR	EQUIPO RELACIONADO
1	MANÓMETRO	PG(*)	AGUA CRUDA DE ENTRADA A LA PLANTA	PC-4
2	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA EN EL FILTRO 1	F-1
3	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA TOMA DE MUESTRA DEL FILTRO 1	F-1
4	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA EN EL FILTRO 2	F-2
5	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA TOMA DE MUESTRA DEL FILTRO 2	F-2

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.3. Instrumentos presentes actualmente en la instalación 103 (Continuación).**

	INSTRUMENTO	TAG	PRODUCTO A MEDIR	EQUIPO RELACIONADO
6	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA TOMA DE MUESTRA DEL CATIÓN	CATIÓN TREN GRANDE
7	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA TOMA DE MUESTRA DEL ANIÓN	ANIÓN TREN GRANDE
8	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA ENTRADA DE AGUA DEL ANIÓN	ANIÓN TREN GRANDE
9	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN EN LA ENTRADA DE AGUA AL SUAVIZADOR	S-1
10	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	PC-3/SR-1
11	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	SR-2ª
12	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	SR-2B
13	MANÓMETRO	PG(*)	PRESIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	SR-2C
14	TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO	FT-01 FIT-01	FLUJO DE AGUA AL TANQUE SR-1	SR-1
15	TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO	FT-02 FIT-02	FLUJO DE AGUA A LOS TANQUE SR-2ª/2B/2C	SR-2ª/2B/2C
16	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	LT-1 LI-1	NIVEL DE ACIDO SULFURICO EN TANQUE SR-2	SR-2
17	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	LT-10 LI-10	NIVEL DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO SR-1	SR-1
18	VALVULA MULTIPASO	N.A.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	F-1
19	VALVULA MULTIPASO	N.A.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	F-2
20	VALVULA MULTIPASO	N.A.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	CATIÓN TREN GRANDE
21	VALVULA MULTIPASO	N.A.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	ANIÓN TREN GRANDE
22	VALVULA MULTIPASO	N.A.	PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	SUAVIZADOR

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

(\*) Los manómetros no poseen identificación específica en la instalación I-103.

(N.A.) No aplica. Las válvulas multipaso no poseen identificación.



#### 4.1.4. Especificación de normas y estándares a seguir

Al momento de realizar el proyecto se tomaron en cuentas algunas normas importantes para especificar la instrumentación y para la implementación de los equipos, los colores adecuados, entre otras cosas. Entre estas, están normas de la empresa como tal (PEQUIVEN, PDVSA) y estándares internacionales. A continuación se muestra la tabla 4.4 donde se indican las normas que se usaron:

**Tabla 4.4. Normas utilizadas en el desarrollo del proyecto**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<p><b>“Instrumentation Symbols and Identification”</b> ANSI/ISA-S5.1-1984(R1992)</p>	<p>Con estas normas se logró modificar los planos de instrumentación de acuerdo al diseño planteado.</p>
<p><b>“Código de colores para tuberías y equipos”</b> Petroquímica de Venezuela, s.a.</p>	<p>Estos 3 textos se usaron como guía para conocer los fluidos que se manejan en la planta, y base de diseño para los equipos que se verán en el HMI. Esto es importante por seguridad al momento de estar en zonas con manejo de sustancias peligrosas, tener en cuenta la protección necesaria y también para el mantenimiento efectivo de los equipos.</p>
<p><b>“Carta de colores para líneas”</b> Gerencia de la seguridad de los procesos Identificación de líneas y equipos PDVSA</p>	
<p><b>“Carta de colores para tanques, recipientes, equipos y estructuras”</b> Gerencia de la seguridad de los procesos Identificación de líneas y equipos PDVSA</p>	
<p><b>“Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments”</b> ISA-TR20.00.01-2007</p>	<p>Esta norma se usó para la especificación de los instrumentos que se agregaron al diseño. Tablas de especificación de dispositivo y parámetros operacionales.</p>

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



## 4.2. Diseño del sistema de control para la planta I-103.

### 4.2.1. Análisis de las mejoras que requiere el proceso.

En la propuesta del diseño presentado para el proceso de la instalación I-103 de Agua Desmineralizada se requirió cambiar los siguientes aspectos:

- Llevar el manejo de la planta de manual a automatizado: lo cual se hace necesario para asegurar una buena producción, aumentar la vida útil de los equipos, evitar paradas imprevistas, pérdidas de materiales y garantizar la seguridad de los operadores involucrados en el proceso, a través de un software confiable y que represente para la empresa un fácil manejo y mantenimiento.
- Se necesita cambiar y agregar instrumentación adecuada para el manejo automático y monitorización de la planta. Los instrumentos que esta instalación posee actualmente se encuentran obsoletos y se necesita un cambio para el momento de querer llevar una modernización de la misma, lógicamente todo esto es de acuerdo a los requerimientos especiales que exige Pequiven y a las normas que manejan este tipo de empresas. En la Figura 4.6 se observan algunos de los instrumentos discontinuados que existen actualmente en la planta.
- Con esto, luego se actualizarán los planos de instrumentación y toda la información nueva sobre el manejo de la planta, como lo es el manual de operación referente al sistema planteado.
- También se necesita dejar todos los requerimientos para el montaje de los nuevos equipos que controlarán el sistema de manera segura en la cabina del operador.

Ahora para lograr todos estos cambios se realizó una descripción de los equipos que reemplazaremos, agregaremos o eliminaremos de la instalación con el fin de que los mismos sean compatibles para sistemas automatizados.



**Figura 4.6. Instrumentación obsoleta de la instalación I-103.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

En este sentido se busca que todas las señales analógicas necesarias sean transmitidas y de igual manera, en caso de ser conveniente que estos equipos también sean indicadores en sitio. Se organizó toda esta información en tablas de acuerdo al tipo de variable para cada instrumento y a lo que se realizará con ellas (sustitución, adición o eliminación):

Concerniente a la eliminación de instrumentos innecesarios en la instalación están los manómetros que se encuentran distribuidos en toda la planta, los cuales no son necesarios gracias al nuevo diseño, pero su permanencia en la planta no afecta la producción ni el buen funcionamiento de la misma. Por esta razón se deja a criterio del personal encargado de ejecutar el proyecto la decisión de eliminarlos o no.



Los instrumentos a sustituir en la instalación por ser obsoletos serán presentados en la Tabla 4.5 y con ellos su descripción.

**Tabla 4.5. Instrumentos a sustituir respecto al diseño propuesto en la planta I-103.**

INSTRUMENTOS DE FLUJO					
	INSTRUMENTO A ELIMINAR	TAG	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	FT-01 FIT-01	TRANSMISOR INDICADOR	FT-06 FI-06	Se propone cambiar los transmisores por modelos actuales y compatibles con el nuevo sistema automatizado.
2	TRANSMISOR INDICADOR	FT-02 FIT-02	TRANSMISOR INDICADOR	FT-07 FI-06	
INSTRUMENTOS DE NIVEL					
	INSTRUMENTO A ELIMINAR	TAG	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	LT-1 LI-1	TRANSMISOR INDICADOR	LT-01 LI-01	Se sugiere lo mismo que en el renglón anterior, ya que para la medición eran imprecisos y desactualizados.
2	TRANSMISOR INDICADOR	LT-10 LI-10	TRANSMISOR INDICADOR	LT-05 LI-05	
VALVULAS					
	INSTRUMENTO A ELIMINAR	TAG	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	VALVULA MULTIPASO FILTRO F-1	N.A.	JUEGO DE VALVULAS FILTRO F-1	XSV-11F XSV-12F XSV-13F XSV-14F XSV-15F	Respecto a las válvulas multipaso estas son viejas y por la cantidad de años que poseen en la planta ya el mantenimiento que se les realiza no se logra que funcionen como deberían, poseen pequeñas fugas de los líquidos que fluyen por éstas, lo que hace que el agua desmineralizada de producción no esté en los valores de pH adecuados. Además estas válvulas ya no se fabrican por lo que se hace necesario cambiarlas, en este caso se plantea el cambio por un grupo de válvulas accionadas por solenoides para el uso con el nuevo sistema automatizado.
2	VALVULA MULTIPASO FILTRO F-2	N.A.	JUEGO DE VALVULAS FILTRO F-2	XSV-21F XSV-22F XSV-23F XSV-24F XSV-25F	
3	VALVULA MULTIPASO CACIÓN TREN GRANDE	N.A.	JUEGO DE VALVULAS CACIÓN TREN GRANDE	XSV-11C XSV-12C XSV-13C XSV-14C XSV-15C	
4	VALVULA MULTIPASO ANIÓN TREN GRANDE	N.A.	JUEGO DE VALVULAS ANIÓN TREN GRANDE	XSV-11A XSV-12A XSV-13A XSV-14A XSV-15A XSV-16A	

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



**Tabla 4.5. Instrumentos a sustituir respecto al diseño propuesto en la planta I-103 (Continuación).**

VALVULAS					
	INSTRUMENTO A ELIMINAR	TAG	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
5	VALVULA MULTIPASO SUAVIZADOR S-1	N.A.	JUEGO DE VALVULAS SUAVIZADOR S-1	XSV-1S XSV-2S XSV-3S XSV-4S XSV-5S XSV-6S XSV-7S XSV-8S	El uso de un juego de válvulas (de tipo Saunders en este caso) por cada equipo, hace que el mantenimiento de éste sea más sencillo y que no se pueda cometer errores con respecto a la mezcla de los líquidos que fluyen en las tuberías durante las diferentes rutinas de la planta.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.2.2. Justificación de los instrumentos a agregar

Todos los instrumentos que se proponen como parte del diseño son los requeridos para suplir las necesidades de la planta, de acuerdo con las especificaciones dadas por parte del personal de la superintendencia de Automatización y Control de la gerencia técnica de Pequiven Morón. De igual manera muchos se usan en homologación de los que se encuentran en una planta con características similares, por lo que se tendrían repuestos de fácil manera al momento de una avería. Se realizó una lista con las razones para esto:

- **Instrumentos de Análisis.**

Los transmisores de análisis son necesarios para llevar la información tomada en la planta y leerla en el PLC para la supervisión de las variables pH, conductividad y concentración, todo esto con el fin de que la producción de agua desmineralizada mantenga los valores de las mismas en un rango seguro.

Se propuso un tipo de transmisor capaz de transferir la señal de PH/ORP/Conductividad/Resistividad, dependiendo de cómo se configura y el sensor que se utilice, éste es capaz de resistir las altas temperaturas y la corrosión producidas en los tanques de dilución de Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y Soda Cáustica (NaOH). Los sensores

asociados al AI-01 y AI-08 son de tipo toroidal para medición de conductividad, ya que mediante la conductividad del líquido este instrumento puede medir la concentración con una curva que los relaciona y que normalmente está disponible directamente en éstos. El diámetro de dichos sensores son lo suficientemente grandes para que no sean obstruidos por sólidos suspendidos en líquidos tan corrosivos como los manejados en estos tanques. Su montaje es sencillo, sirven en ambientes abiertos y poseen compensación de temperatura para una medición más limpia.

Los sensores de los transmisores AI-03, AI-04, AI-05 y AI-06 también son de tipo toroidal para el análisis de conductividad y concentración en los líquidos que fluyen por las tuberías, los dos primeros están en la salida del catión tren grande y los otros dos a la salida del anión tren grande. La diferencia es que el diámetro del sensor no es tan amplio como en el anterior, ya que los líquidos que fluyen por estas tuberías no son tan corrosivos, pero poseen las mismas características. Este dispositivo se recomienda insertarlo en la tubería a través de un adaptador para el fácil montaje y desmontaje del sensor. Adicionalmente posee compensación de temperatura. En la Figura 4.7 se muestra un ejemplo de los sensores toroidales.



**Figura 4.7. Sensor tipo toroidal de diámetro amplio y estrecho.**

Fuente: <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/Sensors/Conduct/Toroidal/Pages/index.aspx>



Los sensores de los transmisores AI-02 y AI-07 son para medición de pH a través de un electrodo de vidrio, el cual minimiza el agrietamiento, recubierto de Tefzel para evitar fugas del sensor y soportar el flujo de líquidos corrosivos, el montaje es de inserción para estar en contacto constante con el fluido y poseen una larga vida útil. La Figura 4.8 muestra un ejemplo de este tipo de sensor de pH.



**Figura 4. 8. Sensor de pH con electrodo de vidrio.**

Fuente: <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/Sensors/pH/GeneralPurpose/Pages/index.aspx>

Finalmente de acuerdo a lo propuesto se busca que la medición sea transmitida a través de una señal de 4-20 mA, y que el instrumento posea monitorización en sitio.

- **Instrumentos de Nivel**

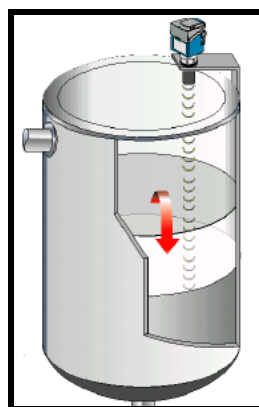
Se usaron dos maneras para realizar la medición en los distintos tanques de la planta: Medición de nivel a través de la presión diferencial (LT-01, LT-05, LT-06, LT-07 y LT-08) con sensores capacitivos. Los tanques donde se encuentran estos transmisores son cerrados. Se usan dos sensores capacitivos, uno para sensar la columna hidrostática (alta presión, en la parte baja del tanque) y el otro para la columna de vacío (baja presión, en la parte alta del tanque) todo esto llevado al mismo transmisor en la parte inferior del tanque a través de un solo cable estándar que lleva la señal de 4 a 20 mA. Este tipo de transmisión es conveniente gracias a que el montaje es sencillo, y la precisión del mismo es razonable, también se propone que el transmisor posea medición de temperatura para la compensación de la misma en caso de que al variar la temperatura normal del líquido depositado, no se vea afectada la medición. Ver Figura 4.9.



**Figura 4.9. Transmisor de nivel por presión diferencial.**

Fuente: <http://www.mx.endress.com/eh/sc/america/mx/es/home.nsf/#page/~Mediciion-de-Nivel-por-Presion-Diferencial-Electronica>

En el caso de los transmisores de nivel LT-02, LT-03 y LT-04, se encargan de medir el nivel en tanques abiertos, con líquidos altamente corrosivos y que aumentan de temperatura fácilmente, esto solo al inicio de la dilución de cada uno, en este caso se hace referencia a la soda cáustica y el ácido sulfúrico diluidos. Se escogió un medidor de nivel por ultrasonido de acuerdo al tiempo de retorno de la señal, el pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo. Este tiempo se relaciona con la altura de la sección vacía del tanque se le resta la altura total y se obtiene el nivel real, este tiempo se convierte en una señal analógica de 4-20 mA. Es conveniente ya que no tiene contacto directo con el producto. En la Figura 4.10 se observa un ejemplo de este tipo de medición.



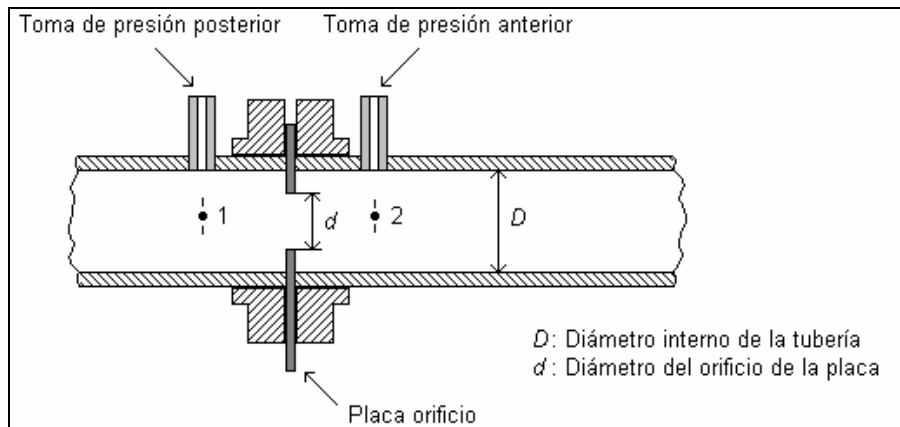
**Figura 4.10. Medición de nivel por ultrasonido.**

Fuente: [www.inele.ufro.cl/apuntes/...y.../Ivan.../Capitulo%202.3%20Nivel.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/...y.../Ivan.../Capitulo%202.3%20Nivel.pdf)

- **Instrumentos de Flujo**

Para los transmisores propuesto se buscó que puedan enviar una señal de 4-20mA para la lectura en las pantallas del operador, también es importante que posean lectura en sitio.

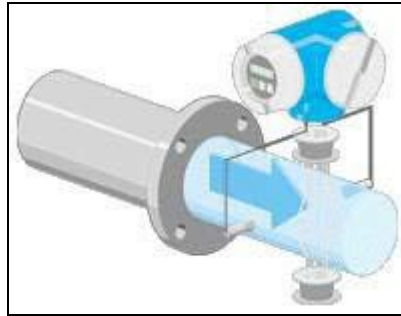
La medición respectiva a los transmisores FT-01, FT-03, FT-04, FT-05, FT-06, FT-07 y FT-08 se harán con placa orificio, realizando los cálculos pertinentes para cada una. Las ventajas que tiene este tipo de medición es su economía, facilidad de fabricación, instalación y mantenimiento, y además se utilizan factores de corrección para que la caída de presión no afecte seriamente la medida. A pesar de esto es conveniente usarlos porque no se necesita una medida sumamente exacta. Ejemplo de este tipo de medición se ve en la Figura 4.11.



**Figura 4.11. Medición de flujo con placa orificio.**

Fuente: [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/.../Medicion\\_de\\_Caudal.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/.../Medicion_de_Caudal.pdf)

La medición para el transmisor FT-02 se sugiere ser hecha con un flujómetro magnético ya que son adecuados para fluidos corrosivos como lo es el ácido sulfúrico, trae como ventaja que no obstruye el paso del fluido, posee una alta precisión y su mantenimiento es muy bajo. En la Figura 4.12 se muestra un ejemplo de este tipo de medición.



**Figura 4.12. Medición con un flujómetro magnético.**

Fuente: <http://www.bscargentina.com.ar/caudalimetro-digital.html>

- **Instrumentos de presión**

En este caso para todos los transmisores (del PT-01 al PT-12) de presión se recomienda usar válvulas Manifold que facilitan el mantenimiento, y sensores capacitivos para medir la presión deseada. Esto es conveniente ya que la instalación es sencilla, económica y no requiere mucho mantenimiento, además no se necesita una medida muy precisa de esta medición. La presión del fluido es necesaria en toda la planta, mantener un monitoreo de la misma para verificar que no existan obstrucciones, es decir, esto ayuda a identificar si los equipos como los filtros, catión, anión y suavizador necesitan mantenimiento. En este sentido si hay monitoreo de presión de los fluidos a la salida y entrada de los equipos, al momento de necesitar limpieza se notará una baja en la presión normal de la misma cuando se encuentra en servicio. Ver Figura 4.13.



**Figura 4.13. Transmisor de Presión con válvulas Manifolds.**

Fuente:

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00813-0109-4001.pdf>

- **Instrumentos de Temperatura.**

En lo que a temperatura se refiere, la medición se realiza en los Tanques SR-2A y SR-3A los cuales corresponden a dilución de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y de Soda Cáustica (NaOH) respectivamente. Se toma temperatura en esta zona porque al momento de realizar la dilución en cada uno de estos equipos, la temperatura del líquido aumenta, y se debe tener en cuenta esto, y esperar un tiempo determinado a que ya la dilución se encuentre a una temperatura segura para el proceso.

El Transmisor TT-01 es para el tanque SR-2A y el TT-02 para el SR-3A. Para estos transmisores se busca que posean lectura en sitio, para tener la mayor monitorización posible. La temperatura busca ser sensada con un RTD pt100 (RTD de platino con resistencia igual a  $100 \Omega$  a  $0^\circ C$ ), el cual es muy útil en altas temperaturas, proporciona medidas con mayor exactitud y repetitividad. Ver Figura 4.14.



**Figura 4.14. Transmisor de temperatura y sensor RTD pt100**

Fuente:

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00813-0109-4021.pdf>



Finalmente en este sentido y de acuerdo a los requerimientos de Pequiven como empresa, se busca que los instrumentos sean los adecuados a los parámetros manejados internamente como internacionalmente. De acuerdo con la Norma ISA-TR20.00.01-2007 para cada instrumento propuesto se llenan algunas tablas, las cuales son las especificadas al momento de buscar la empresa suplidora del servicio de la instalación:

- Especificación de dispositivos (transmisores y sensores).
- Parámetros operacionales.

Algunas de estas tablas estarán mostradas como parte del Apéndice A del presente proyecto. De acuerdo a la descripción hecha en esta sección de todos los instrumentos a agregar a la instalación de acuerdo con el diseño propuesto, se organizó en las tablas desde la 4.6 a la 4.10.

**Tabla 4.6. Instrumentos de análisis a agregar respecto al diseño propuesto.**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	AI-01	Sensor de conductividad de tipo toroidal para una concentración de ácido del 20 %. El rango de conductividad se calibra entre 70-100 %.
2	TRANSMISOR INDICADOR	AI-02	Electrodo de vidrio para pH a la salida de agua del Cation Tren Grande con un rango de 0-14 (tratando de que se mantenga $\leq 5$ ).
3	TRANSMISOR INDICADOR	AI-03	Sensor de conductividad de tipo toroidal a la salida del Cation Tren Grande para un rango 100 a 3000 $\mu\text{Mho/cm}$ (tratando de que se mantenga $\leq 500$ ).
4	TRANSMISOR INDICADOR	AI-04	Sensor de conductividad de tipo toroidal para concentración de sodio a la salida del Cation Tren Grande con un rango de 0 a 100 ppm (tratando de que se mantenga $< 0.5$ ppm si existe).
5	TRANSMISOR INDICADOR	AI-05	Sensor de conductividad tipo toroidal a la salida del Anión Tren Grande para un rango de 5 a 100 $\mu\text{Mho/cm}$ (tratando de que se mantenga $\leq 20$ ).
6	TRANSMISOR INDICADOR	AI-06	Sensor de conductividad tipo toroidal para concentración de sílice a la salida del Anión con un rango de 0 a 20 ppm (tratando de mantener su valor $\leq 0.04$ ).

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.6. Instrumentos de análisis a agregar respecto al diseño propuesto (Continuación).**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
7	TRANSMISOR INDICADOR	AI-07	Electrodo de vidrio para pH a la salida de la línea de producción de agua desmineralizada para un rango 0-14 (tratando de mantener su valor entre 7.5 y 8).
8	TRANSMISOR INDICADOR	AI-08	Sensor de conductividad de tipo toroidal para una concentración de soda caustica en el tanque SR-3A 30 %. El rango se calibra entre 1-50 %.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.7. Instrumentos de nivel a agregar respecto al diseño propuesto.**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	LT-01	Sensor de tipo capacitivo para nivel de ácido sulfúrico en el tanque SR-2 a través de presión diferencial para un rango de 0 a 100%, el dispositivo esta bridado al tanque.
2	TRANSMISOR INDICADOR	LT-02	Sensor de ultrasonido sin contacto (para el tanque SR-2A de dilución de ácido sulfúrico SR-2A, el tanque SR-5 de solución de salmuera y el tanque SR-3A de dilución de soda caustica respectivamente). Montaje del dispositivo en un soporte externo al tanque ya que este es abierto. Rango de 0 a 100 %.
3	TRANSMISOR INDICADOR	LT-03	
4	TRANSMISOR INDICADOR	LT-04	
5	TRANSMISOR INDICADOR	LT-05	
6	TRANSMISOR INDICADOR	LT-06	Sensor capacitivo para presión diferencial de los tanques de almacenamiento SR-1, SR-2A, SR-2B y SR-2C respectivamente. Se calibra en un rango de 0 a 100 %. El dispositivo esta bridado al tanque
7	TRANSMISOR INDICADOR	LT-07	
8	TRANSMISOR INDICADOR	LT-08	

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.8. Instrumentos de flujo a agregar respecto al diseño propuesto.**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	FT-01	Placa orificio para la medida del flujo de entrada de agua cruda a la planta a través de la presión diferencial para un rango de 5 a 300 m <sup>3</sup> /h (manteniendo este entre 100 y 120). El dispositivo esta bridado a la tubería.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.8. Instrumentos de flujo a agregar respecto al diseño propuesto (Continuación).**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
2	TRANSMISOR INDICADOR	FT-02	Sensor magnético (electrodo de platino reemplazable) de flujo para el ácido sulfúrico de entrada al tanque SR-2A, el dispositivo estará soldado y acoplado a la tubería.
3	TRANSMISOR INDICADOR	FT-03	Placa orificio bridada a la tubería para la medida del flujo de agua de entrada al Cati3n Tren Grande, al Suavizador S-1, al An3n Tren Grande y la que va hacia el tanque de almacenamiento SR-1 y los tanques de almacenamiento SR-2A/B/C respectivamente. Se calibra para un rango en cada uno de 5 a 300 m <sup>3</sup> /h con diferentes rangos de control.
4	TRANSMISOR INDICADOR	FT-04	
5	TRANSMISOR INDICADOR	FT-05	
6	TRANSMISOR INDICADOR	FT-06	
7	TRANSMISOR INDICADOR	FT-07	
8	TRANSMISOR INDICADOR	FT-08	Placa orificio para el flujo de aire de servicio de entrada a la planta a trav3s de presi3n diferencial. Bridado a la l3nea. Para un rango de 0 a 30 m <sup>3</sup> /h (tratando de que se mantenga en 12).

Fuente: Guti3rrez M. y P3rez J. (2013).

**Tabla 4.9. Instrumentos de presi3n a agregar respecto al dise1o propuesto.**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	PT-01	Sensor capacitivo para la presi3n del agua de entrada a la planta. Bridado a la l3nea. El rango es de 1 a 20 Kg/cm <sup>2</sup> (manteniendo la presi3n entre 3 y 3.5 Kg/cm <sup>2</sup> ).
2	TRANSMISOR INDICADOR	PT-02	Sensor capacitivo para la presi3n de salida de la bomba PC-1 para un rango de 1 a 15 Kg/cm <sup>2</sup> (manteniendo el valor de presi3n entre 3 y 6 Kg/cm <sup>2</sup> ). Bridado a la tuber3a.
3	TRANSMISOR INDICADOR	PT-03	Sensor capacitivo para la presi3n del agua de entrada a los filtros F-1 y F-2 respectivamente, el rango es de 1 a 15 Kg/cm <sup>2</sup> (Manteniendo el valor de presi3n entre 3 y 6 Kg/cm <sup>2</sup> ). Cada uno esta bridado a la tuber3a
4	TRANSMISOR INDICADOR	PT-04	
5	TRANSMISOR INDICADOR	PT-05	Sensor capacitivo para la presi3n del agua de salida de los filtros F-1 y F-2 respectivamente, el rango es de 1 a 15 Kg/cm <sup>2</sup> (Manteniendo la presi3n entre 3 y 6 Kg/cm <sup>2</sup> ). Cada uno esta bridado a la tuber3a.
6	TRANSMISOR INDICADOR	PT-06	
7	TRANSMISOR INDICADOR	PT-07	Sensor capacitivo para presi3n de 3cido sulfúrico diluido de entrada al Cati3n Tren Grande. Bridado a la l3nea.

Fuente: Guti3rrez M. y P3rez J. (2013).



**Tabla 4.9. Instrumentos de presión a agregar respecto al diseño propuesto (Continuación).**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
8	TRANSMISOR INDICADOR	PT-08	Sensor capacitivo para presión a la salida del Cation Tren Grande, entrada del Anión Tren Grande y salida del Anión Tren Grande respectivamente. El rango es de 1 a 20 Kg/cm <sup>2</sup> (Manteniendo la presión entre 5.5 y 7 Kg/cm <sup>2</sup> ). Bridados a la tubería.
9	TRANSMISOR INDICADOR	PT-09	
10	TRANSMISOR INDICADOR	PT-10	
11	TRANSMISOR INDICADOR	PT-11	Sensor capacitivo para la presión de soda caustica diluida de entrada al Anión Tren Grande. Bridado a la tubería.
12	TRANSMISOR INDICADOR	PT-12	Sensor capacitivo para la presión del aire de consumo de instrumentos en un rango de 1 a 20 Kg/cm <sup>2</sup> (tratando de mantener el valor de presión entre 7 y 8 Kg/cm <sup>2</sup> ). Bridado a la tubería.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.10. Instrumentos de temperatura a agregar respecto al diseño propuesto.**

	INSTRUMENTO A AGREGAR	TAG	DESCRIPCIÓN
1	TRANSMISOR INDICADOR	TT-01	Sensor RTD pt100 para la temperatura de dilución de ácido sulfúrico contenida en el tanque SR-2A en un rango de 5 a 70 °C.
2	TRANSMISOR INDICADOR	TT-02	Sensor RTD pt100 para la temperatura de la dilución de soda cáustica contenida en el tanque SR-3A en un rango de 5 a 80 °C.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Ahora para todos los instrumentos mencionados en las tablas anteriores, se propone que estos puedan mostrar el valor en sitio y en el panel de monitorización en la cabina del operador. En el Apéndice B se mostrará detalle de los rangos a manejar según las mediciones tomadas.

#### 4.2.3. Descripción de las variables digitales y analógicas que interactúan con el sistema

En esta sección se muestran las variables principales que interactúan con el programa, todo de acuerdo a las necesidades que se buscan resolver. Estas variables se dividen en varios grupos, en el caso del presente trabajo de investigación se dividen en tres grupos: digitales de entrada, analógicas de entrada y digitales de salida. Para el diseño en general y



de acuerdo a lo que se necesita para el mismo, se usó la siguiente cantidad de variables para cada tipo de señal:

- 9 señales digitales de entrada.
- 38 señales analógicas de entrada.
- 51 señales discretas de salida.

Las señales digitales de entrada son las que ayudan a identificar las condiciones irregulares de las variables que proporcionan fluidez en el proceso llevado. Si existe un cambio en el flujo de agua de entrada a la planta; o a cualquiera de los equipos que la componen, es decir, filtros, catión, anión y suavizador, esto indica 2 posibilidades: que los equipos necesitan mantenimiento o que la presión de agua de entrada no es suficiente para realizar las rutinas de cada uno. También es importante conocer el estado en el que se encuentran las bombas y el agitador de la dilución de soda cáustica en el tanque SR-3A. A continuación se muestra la Tabla 4.11 con las variables tomadas en cuenta en este diseño:

**Tabla 4.11. Señales digitales de entrada.**

TIPO	TAG DE SEÑAL	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
Cont. NA	FSL_1	%I1.5.1	Bajo flujo de salida Filtro F_1
Cont. NA	FSL_2	%I1.5.2	Bajo flujo de salida Filtro F_2
Cont. NA	FSH_C1	%I1.5.3	Alto flujo Catión Tren Grande
Cont. NA	FSH_A1	%I1.5.4	Alto flujo Anión Tren Grande
Cont. NA	MPC_1	%I1.5.5	Retorno PC_1 encendida
Cont. NA	MPC_2	%I1.5.6	Retorno PC_2 encendida
Cont. NA	MPC_3	%I1.5.7	Retorno PC_3 encendida
Cont. NA	MPC_4	%I1.5.8	Retorno PC_4 encendida
Cont. NA	MAG_1	%I1.5.9	Retorno Agitador Tanque SR-3A.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Las señales analógicas de entrada del diseño son todas las enviadas desde los transmisores propuestos a distribuir por toda la planta para el control de las variables referentes a presión, flujo, nivel, temperatura y análisis. En la Tabla 4.12 se muestran las señales tomadas en cuenta:



Tabla 4.12. Señales analógicas de entrada.

TIPO DE VARIABLE	TAG DE SEÑAL	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
Analizador	AI_01	%IW1	Concentración Ácido Sulfúrico Tanque SR-2A
Analizador	AI_02	%IW2	PH Salida Cation Tren Grande
Analizador	AI_03	%IW3	Conductividad salida Cation Tren Grande
Analizador	AI_04	%IW4	Concentración de Sodio salida Cation Tren Grande
Analizador	AI_05	%IW5	Conductividad salida de Anión Tren Grande
Analizador	AI_06	%IW6	Concentración Sílice salida Anión Tren Grande
Analizador	AI_07	%IW7	PH Salida línea agua desmineralizada
Analizador	AI_08	%IW8	Concentración de soda cáustica Tanque SR-3A
Nivel	LT_01	%IW9	Nivel tanque ácido sulfúrico SR-2
Nivel	LT_02	%IW10	Nivel tanque Ácido Sulfúrico Diluido SR-2A.
Nivel	LT_03	%IW11	Nivel tanque solución de salmuera SR-5.
Nivel	LT_04	%IW12	Nivel tanque Soda Caustica SR-3A.
Nivel	LT_05	%IW13	Nivel tanque almacenamiento SR-1.
Nivel	LT_06	%IW14	Nivel tanque almacenamiento SR-2A.
Nivel	LT_07	%IW15	Nivel tanque almacenamiento SR-2B.
Nivel	LT_08	%IW16	Nivel tanque almacenamiento SR-2C.
Flujo	FT_01	%IW17	Flujo de agua cruda de entrada a la planta.
Flujo	FT_02	%IW18	Flujo de ácido sulfúrico de entrada a tanque de dilución SR-2A.
Flujo	FT_03	%IW19	Flujo de agua entrada Cation Tren Grande.
Flujo	FT_04	%IW20	Flujo agua entrada Suavizador.
Flujo	FT_05	%IW21	Flujo de agua entrada Anión Tren Grande.
Flujo	FT_06	%IW22	Flujo de agua hacia tanque SR-1.
Flujo	FT_07	%IW23	Flujo de agua hacia tanque SR-2A, SR-2B, SR-2C.
Flujo	FT_08	%IW24	Flujo Aire de Instrumentos (consumo).
Presión	PT_01	%IW25	Presión de agua potable entrada a la planta.
Presión	PT_02	%IW26	Presión de salida de bomba PC-1.
Presión	PT_03	%IW27	Presión de entrada a Filtro 1.
Presión	PT_04	%IW28	Presión de entrada a Filtro 2.
Presión	PT_05	%IW29	Presión de salida Filtro 1.
Presión	PT_06	%IW30	Presión de salida Filtro 2.
Presión	PT_07	%IW31	Presión de entrada de ácido sulfúrico a Cation Tren Grande.
Presión	PT_08	%IW32	Presión de salida Cation Tren Grande.
Presión	PT_09	%IW33	Presión entrada Anión Tren Grande.
Presión	PT_10	%IW34	Presión de salida Anión Tren Grande.
Presión	PT_11	%IW35	Presión de entrada de soda cáustica a Anión Tren Grande.
Presión	PT_12	%IW36	Presión Aire de Instrumentos (consumo).
Temperatura	TT_01	%IW37	Transmisor de temperatura de SR-2A.
Temperatura	TT_02	%IW38	Transmisor de temperatura de SR-3A.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



Por último, se tienen las señales discretas de salida, que son las que permiten realizar las acciones que ayudan a controlar el monitoreo del sistema de control y definir cada una de las rutinas del diseño propuesto, como lo es el juego de apertura y cierre de válvulas respectivo a cada equipo. Igualmente en esta categoría esta la acción de arranque/parada de las bombas y el agitador del tanque SR-3A. Todo lo mencionado anteriormente se presentó en la Tabla 4.13.

**Tabla 4.13. Señales discretas de salida.**

Tipo	TAG de señal	Dirección	Descripción
110 VAC	YY_11F	%Q/2.2/1.3.1	Válvula de entrada Filtro F-1
110 VAC	YY_12F	%Q/2.2/1.3.2	Válvula de salida Filtro F-1
110 VAC	YY_13F	%Q/2.2/1.3.3	Válvula de By-pass entrada-salida Filtro F-1
110 VAC	YY_14F	%Q/2.2/1.3.4	Válvula de drenaje de entrada Filtro F-1
110 VAC	YY_15F	%Q/2.2/1.3.5	Válvula de drenaje de salida Filtro F-1
110 VAC	YY_16F	%Q/2.2/1.3.6	Válvula de alimentación suavizador por Filtro F-1
110 VAC	YY_21F	%Q/2.2/1.3.7	Válvula de entrada Filtro F-2
110 VAC	YY_22F	%Q/2.2/1.3.8	Válvula de salida Filtro F-2
110 VAC	YY_23F	%Q/2.2/1.3.9	Válvula de By-pass entrada-salida Filtro F-2
110 VAC	YY_24F	%Q/2.2/1.3.10	Válvula de drenaje de entrada Filtro F-2
110 VAC	YY_25F	%Q/2.2/1.3.11	Válvula de drenaje de salida Filtro F-2
110 VAC	YY_11	%Q/2.2/1.3.12	Válvula de entrada de ácido sulfúrico a SR-2 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_12	%Q/2.2/1.3.13	Válvula de entrada de agua a SR-2 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_13	%Q/2.2/1.3.14	Válvula de alimentación de aire de procesos a SR-2 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_14	%Q/2.2/1.3.15	Válvula de inyección de Ácido Sulfúrico a Catión
110 VAC	YY_15	%Q/2.2/1.3.16	Válvula de dilución en línea de agua para inyección a Catión
110 VAC	YY_21	%Q/2.2/1.3.17	Válvula de salida de ácido sulfúrico a SR-2
110 VAC	YY_22	%Q/2.2/1.3.18	Válvula de drenaje de SR-2
110 VAC	YY_31	%Q/2.2/1.3.19	Válvula de inyección de Soda Cáustica desde SR-3 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_32	%Q/2.2/1.3.20	Válvula de entrada de agua para dilución a SR-3 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_33	%Q/2.2/1.3.21	Válvula de entrada de Soda Cáustica a SR-3 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_34	%Q/2.2/1.3.22	Válvula de drenaje de SR-3 <sup>a</sup>
110 VAC	YY_35	%Q/2.2/1.3.23	Válvula de entrada de agua para regenerar Anión
110 VAC	YY_1X	%Q/2.2/1.3.24	Válvula de entrada de agua a SR-5
110 VAC	YY_2X	%Q/2.2/1.3.25	Válvula de entrada de agua a SR-5
110 VAC	YY_3X	%Q/2.2/1.3.26	Válvula de salida de salmuera desde SR-5
110 VAC	YY_4X	%Q/2.2/1.3.27	Válvula de entrada de agua a SR-5
110 VAC	YY_11C	%Q/2.2/1.3.28	Válvula de entrada Catión Tren Grande
110 VAC	YY_12C	%Q/2.2/1.3.29	Válvula de salida Catión Tren Grande
110 VAC	YY_13C	%Q/2.2/1.3.30	Válvula para retrolavado de Catión Tren Grande
110 VAC	YY_14C	%Q/2.2/1.3.31	Válvula de drenaje de entrada Catión Tren Grande
110 VAC	YY_15C	%Q/2.2/1.3.32	Válvula de drenaje de salida Catión Tren Grande
110 VAC	YY_11A	%Q/2.2/1.4.1	Válvula de entrada Anión Tren Grande

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

**Tabla 4.13. Señales Discretas de Salida (Continuación).**

Tipo	TAG de señal	Dirección	Descripción
110 VAC	YY_12A	%Q/2.2/1.4.2	Válvula de salida Anión Tren Grande hacia SR-1
110 VAC	YY_13A	%Q/2.2/1.4.3	Válvula para retrolavado Anión Tren Grande
110 VAC	YY_14A	%Q/2.2/1.4.4	Válvula de drenaje de entrada Anión Tren Grande
110 VAC	YY_15A	%Q/2.2/1.4.5	Válvula de drenaje de salida Anión Tren Grande
110 VAC	YY_16A	%Q/2.2/1.4.6	Válvula de salida Anión Tren Grande hacia SR2-A/B/C
110 VAC	YY_1S	%Q/2.2/1.4.7	Válvula de entrada de agua al Suavizador
110 VAC	YY_2S	%Q/2.2/1.4.8	Válvula de salida de agua del Suavizador
110 VAC	YY_3S	%Q/2.2/1.4.9	Válvula para retrolavado del Suavizador
110 VAC	YY_4S	%Q/2.2/1.4.10	Válvula de drenaje de entrada del Suavizador
110 VAC	YY_5S	%Q/2.2/1.4.11	Válvula de drenaje de salida del Suavizador
110 VAC	YY_6S	%Q/2.2/1.4.12	Válvula de suministro de solución de salmuera al suavizador
110 VAC	YY_7S	%Q/2.2/1.4.13	Válvula de suministro de agua de los Filtros al Suavizador
110 VAC	YY_8S	%Q/2.2/1.4.14	Válvula de dilución en línea de agua con salmuera para S-1
110 VAC	PC_1	%Q/2.2/1.5.1	Arranque/Parada PC_1
110 VAC	PC_2	%Q/2.2/1.5.2	Arranque/Parada PC_2
110 VAC	PC_3	%Q/2.2/1.5.3	Arranque/Parada PC_3
110 VAC	PC_4	%Q/2.2/1.5.4	Arranque/Parada PC_4
110 VAC	AG_1	%Q/2.2/1.5.5	Arranque/Parada Agitador Tanque SR-3 <sup>a</sup>

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.2.4. Base de datos del proceso en la instalación

Luego de especificar las variables que necesita el sistema se listaron las mismas dentro del programa para hacer uso de éstas. También en el programa se agregaron algunas variables internas para el manejo cómodo del mismo y para fácil lectura:

- Las variables internas booleanas se denotan con %M.
- Las variables internas analógicas se denotan con %MW.

Estas variables en conjunto con %I (Digitales de entrada), %IW (Analógicas de entrada) y %Q (Discretas de salida) en el programa se denotan como “Variables e instancias FB”. También se usaron variables del “tipo de datos derivados” (nombradas así en el programa Unity Pro), las cuales se usan para asociar un grupo de variables en una clase.



Para explicar cómo se usaron estas variables se necesita conocer el programa y esto se explica más adelante en la sección 4.2.7.3 junto con el diseño del software del presente trabajo especial de grado.

#### **4.2.5. Documentación sobre el PLC MODICON QUANTUM, sus módulos I/O y de comunicación.**

El PLC Modicon Quantum fue seleccionado para usarlo en el diseño propuesto ya que la empresa PEQUIVEN ha trabajado con éste y lo considera confiable, además ya varias plantas en el área de servicios industriales asociadas con producción de agua lo utilizan y hasta los momentos no ha habido quejas del mismo. De acuerdo con esto se posee repuestos de las piezas que lo componen, y así al momento de hacer mantenimiento, en caso de fallo de algunas partes, o que se desee agregar variables al manejo de la instalación será más fácil conseguir estas piezas.

La recopilación de la información necesaria sobre el hardware del diseño, se consiguió en algunos manuales y documentos adquiridos por PEQUIVEN y por empresas que han prestado servicios y suministro de estos equipos. Para conocer la documentación, se realizó la tabla 4.14 donde se organizaron los que fueron consultados para el diseño del proyecto propuesto.

**Tabla 4.14. Referentes teóricos sobre el PLC MODICON QUANTUM**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<b>Serie Modicon Quantum Automation Guía de referencia del Hardware</b>	De aquí se obtuvieron los tipos de módulos en general como los CPU's que se usaron como propuesta de equipos en el diseño propuesto.
<b>Quantum con Unity Pro E/S binarias y analógicas Manual de referencia</b>	De acuerdo a este manual se observan los tipos de módulos de entrada y salida que posee esta línea y se escoge el más adecuado para el diseño.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



**Tabla 4.14. Referentes teóricos sobre el PLC MODICON QUANTUM (Continuación).**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<b>Modicon Quantum con Unity Módulos de red Ethernet Manual de Usuario</b>	Respecto a este manual, se obtuvo información del modelo del módulo de comunicación a usar de acuerdo con el CPU.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Para el diseño propuesto y de acuerdo a la documentación consultada, se presentan los siguientes elementos que conforman la arquitectura del mismo:

El PLC junto con su I/O local se encontraran ubicados en un gabinete diseñado especialmente para albergar al conjunto de módulos y equipos que integran el sistema de control, recordando que se debe disponer de 9 entradas digitales, 38 entradas analógicas y 51 salidas discretas. La arquitectura del sistema propuesto está compuesta por un (01) PLC Modicon Quantum de Schneider Electric (línea con gran desempeño y probada aplicación en la industria petrolera), el cual a su vez debe estar conformado por un procesador (que ocupa 2 slots), una fuente de alimentación para cada rack, y los módulos comerciales que cubran las I/O requeridas: un módulo de 16 entradas digitales, 3 módulos de 16 entradas analógicas, 2 módulos de 32 salidas discretas a transistores y uno de 16 salidas discretas a relé.

En total serían 7 módulos de entrada/salida, con esto se podría usar un rack de 10 slots pero no quedaría espacio para la reserva debido a los 3 ocupados por el procesador y la fuente. Usar uno de 16 slots para dejar algunos de reserva serviría, pero debido al poco espacio respecto al ancho presente en la cabina del operador se decidió usar 2 Racks, uno de 10 slots y el otro de 6, de esta manera se tendría que agregar un módulo en cada rack para la comunicación entre los mismos y quedarían suficientes slots de reserva de acuerdo a las necesidades de la empresa. De acuerdo a lo descrito en este párrafo la distribución de los rack y los módulos que conforman el sistema se realiza de la siguiente manera:

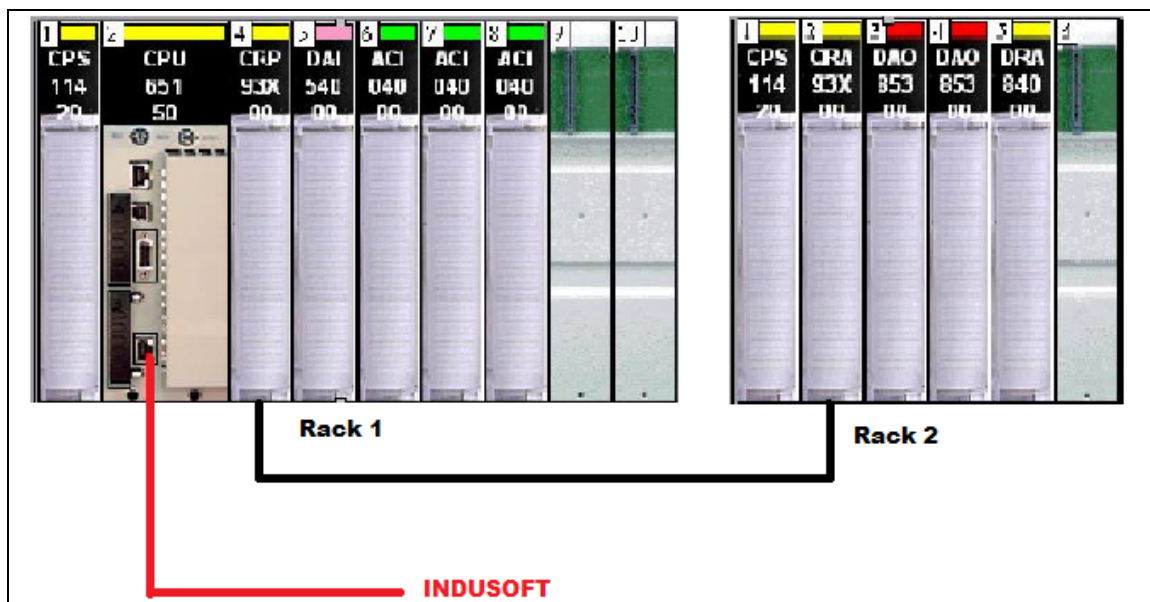
### Rack 1

1. Un Chasis de 10 slots, modelo 140XBP01000.
2. Una fuente de alimentación 120/230VAC 11A, modelo 140CPS11420.
3. Un CPU UNITY modelo 140CPU65150.
4. Un módulo de cabezal de E/S remota 140CRP93X00.
5. Un módulo de 16 entradas digitales 140DAI54000.
6. Tres módulos de 16 entradas analógicas 140ACI04000.

### Rack 2

1. Un Chasis de 6 slots, modelo 140XBP00600.
2. Una fuente de alimentación 120/230VAC 11A, modelo 140CPS11420.
3. Un módulo de estación de adaptador RIO Quantum 140CRA93X00.
4. Dos módulos de 32 salidas digitales 140DAO85300.
5. Un módulo de 16 salidas a relé NO 140DRA84000.

De acuerdo con todo esto, se presenta un esquema en la Figura 4.15 de los elementos que conforman la arquitectura del sistema:



**Figura 4.15. Arquitectura general del sistema de procesos.**

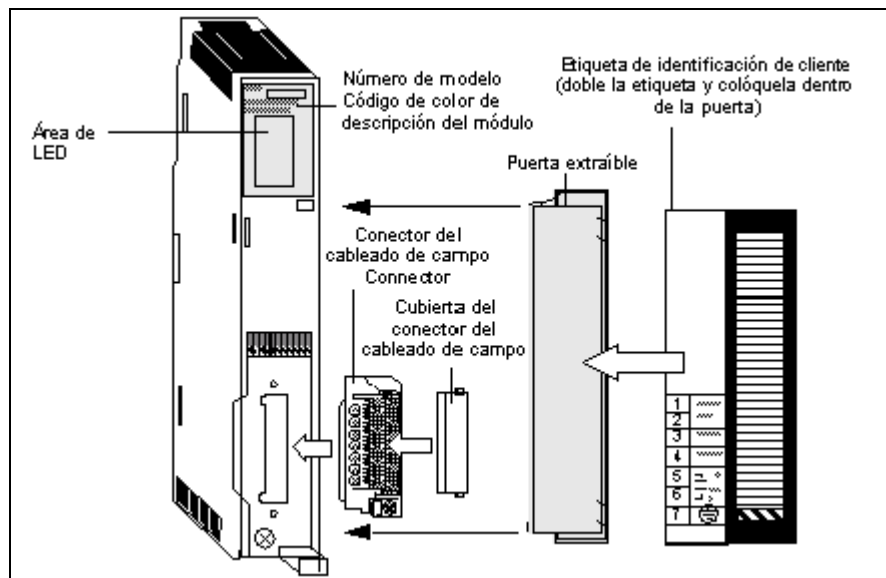
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



Para conocer el funcionamiento de todo el hardware, se describirá brevemente cada uno de los equipos que lo componen,

- **Fuente de alimentación del PLC**

Para la alimentación de los módulos que conforman al PLC propuesto fue seleccionada la fuente de alimentación modelo 140CPS11420. Esta toma la tensión de línea y entrega tensión estable de +5 V<sub>DC</sub>, es inmune a ruidos del sistema, está protegida contra sobretensión, sobrecorriente y asegura el funcionamiento del sistema en ambientes industriales típicos, ya que protegen al mismo de fluctuaciones de la tensión de línea y del ruido eléctrico sin necesidad de transformadores de aislamiento (Ver Figura 4.16). Es importante acotar que para dar una mejor disipación y mayor vida útil se aconseja que la misma esté ubicada en el extremo del chasis.



**Figura 4.16. Fuente de alimentación 140CPS11420.**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del Hardware.

- **Módulo de Procesamiento.**

El CPU planteado para el diseño es el modelo 140CPU65150, que pertenece a la familia de Gamma Alta de los Quantum de Schneider Electric, estos CPU se programan con un





De acuerdo con la Figura 4.17 se realiza la siguiente descripción de los elementos que componen el panel frontal del CPU Unity:

1. Número del modelo, descripción del módulo, código de color.
2. Cubierta protectora.
3. Pantalla LCD.
4. Llave
5. Teclado.
6. Puerto Modbus RS-232 / RS-485.
7. Puerto USB.
8. Puerto Modbus Plus.
9. Slot A y B para PCMCIA.
10. Led's Indicadores estado de comunicación Hot Standby.
11. Puerto de Comunicación de fibra Óptica Hot Standby.
12. Botón de reinicio.
13. Batería.

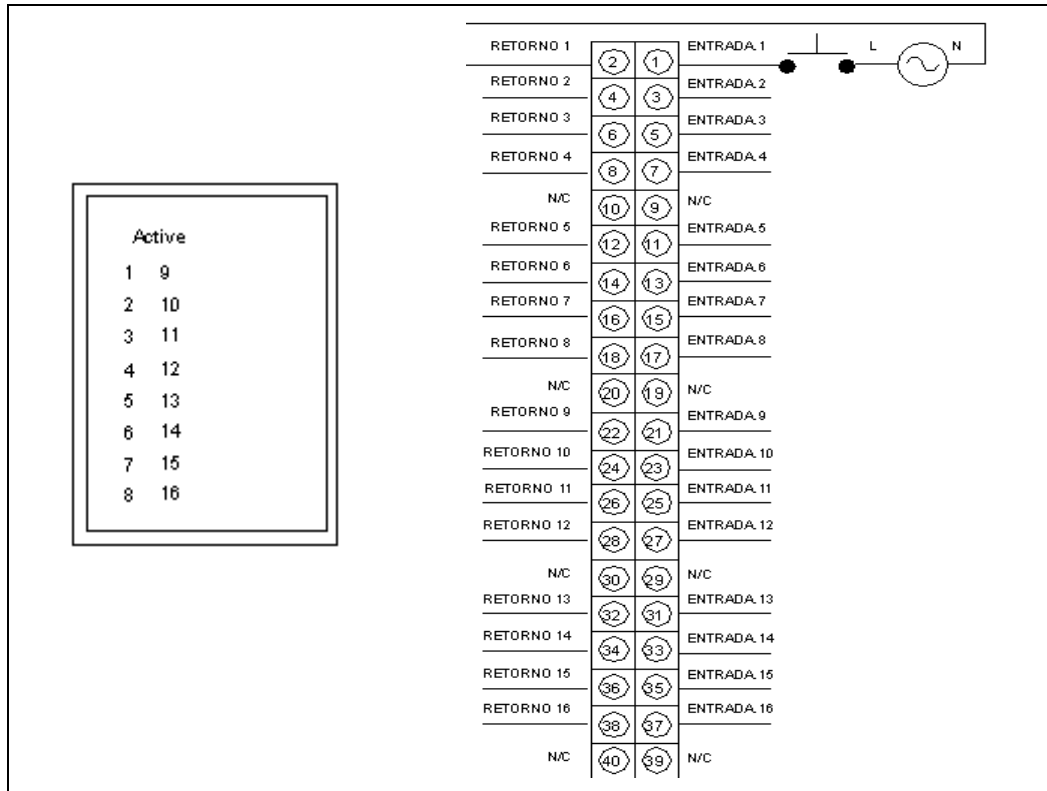
- **Módulo de Entrada Digital (140 DAI 540 00).**

Este módulo es utilizado para conectar las señales de campos provenientes de los interruptores y de otros equipos de operación discreta que trabajan en 115VAC. Existe 1 tarjeta de este tipo en el Rack 1 con capacidad para 16 señales. Los módulos poseen en su parte superior un conjunto de LEDs indicando el estado del mismo de acuerdo a los mostrado en la Figura 4.18 y lo descrito en la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15. LEDs indicadores de estado módulo DI 140DAI54000.**

LED	COLOR	DESCRIPCIÓN
ACTIVE	VERDE	Existe comunicación con el blackplane del chasis.
	APAGADO	No hay comunicación con el backplane.
1 - 16	VERDE	El canal está activado
	APAGADO	El canal no está activado.

Fuente: Quantum with Unity Pro Discrete and Analog I/O Reference Manual.



**Figura 4.18. LEDs indicadores de estado y detalle de conexión del Módulo 140 DAI 540 00.**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

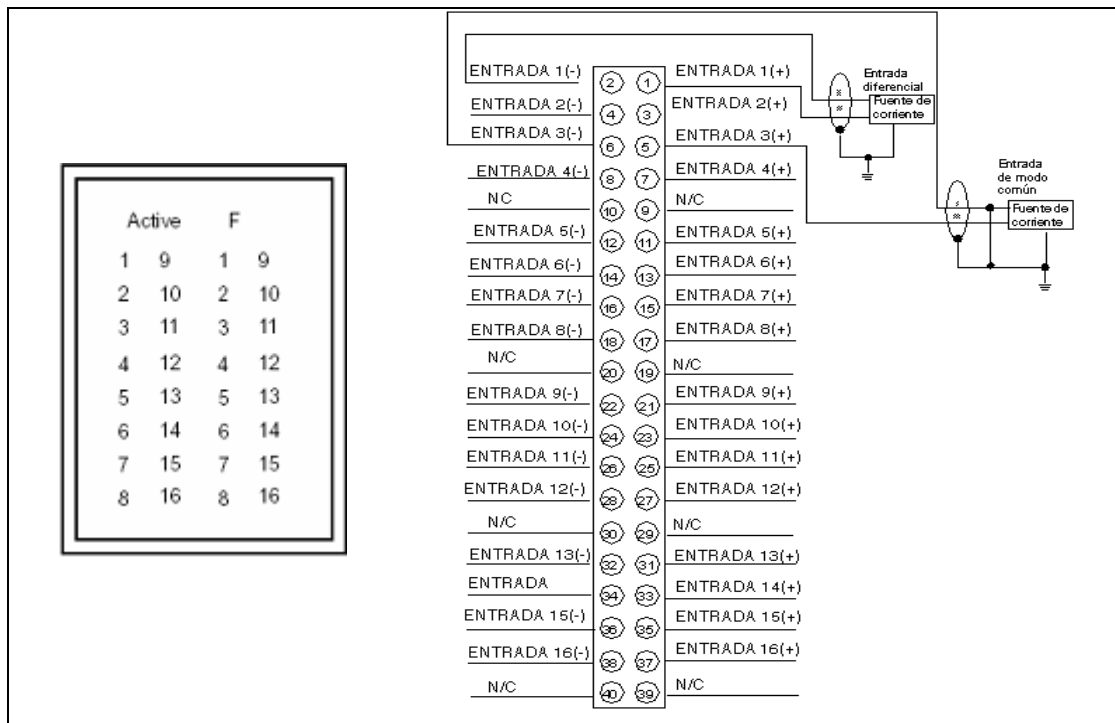
- **Módulo de entradas analógicas (140 ACI 040 00).**

Mediante este módulo se puede recibir la data analógica proveniente de campo (transmisores, etc). El módulo 140ACI04000 posee 16 canales de entrada analógicos diferenciales o asimétricos configurables por software para manejar rangos de corriente entre 0 – 25mA; 0 – 20mA y 4 – 20mA. Al igual que en el módulo anterior posee en su parte superior un conjunto de LEDs indicando el estado del mismo, en la Tabla 4.16 se realiza una descripción de lo que indica cada led y en la Figura 4.19 se observa los led de estado y el detalle de conexión del módulo. En el Rack 1 existen 3 tarjetas de este tipo.

**Tabla 4.16. LEDs indicadores de estado módulo AI 140ACI04000.**

LED	COLOR	DESCRIPCION
ACTIVE	VERDE	Existe comunicación con el backplane del chasis.
	APAGADO	No hay comunicación con el backplane.
1 - 16	VERDE	El canal está activado
	ROJO	Falla en el canal
F	ROJO	Se ha detectado un fallo externo al módulo (si al menos hay un canal en lazo abierto).
	APAGADO	No hay existencia de falla.

Fuente: Quantum with Unity Pro Discrete and Analog I/O Reference Manual.



**Figura 4.19. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del Módulo 140 ACI 040 00.**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

- **Módulo de salidas digitales (140 DAO 853 00).**

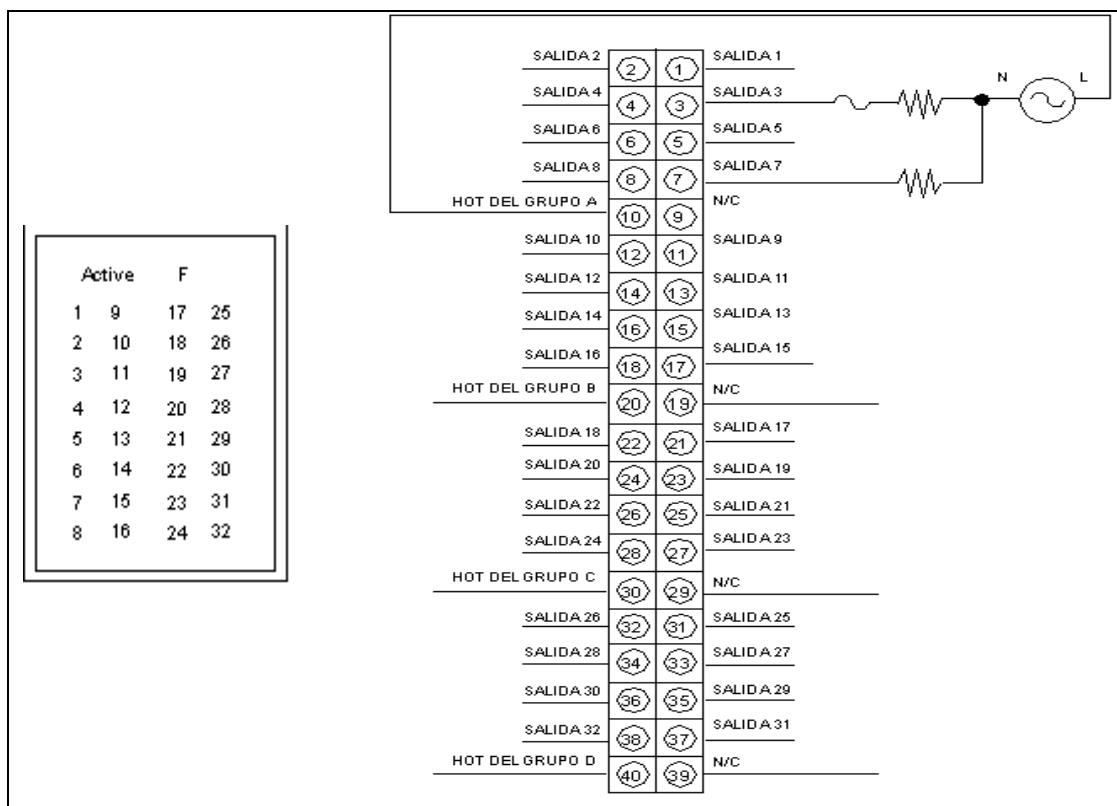
Este módulo es utilizado para conectar los dispositivos de salida discreta. Existen 2 tarjetas de este tipo en el Rack 2. Él módulo posee 4 grupos de 8 salidas discretas a 24Vdc con un fusible de protección de 4A por grupo. Mediante el software de programación se puede definir el estado de la salida ante falla (timeout) del módulo, todas las salidas a 0 y

retención del último valor. En la Figura 4.20 y en la Tabla 4.16 se observan detalles de los LED que indican el estado del mismo.

**Tabla 4.17. LEDs Indicadores Estado módulo DO 140DAO85300.**

LED	COLOR	DESCRIPCION
ACTIVE	VERDE	Existe comunicación con el blackplane del chasis.
	APAGADO	No hay comunicación con el backplane.
1 - 32	VERDE	El canal está activado
	APAGADO	El canal no está activado.
F	ROJO	Se ha detectado un fallo externo al módulo.
	APAGADO	No hay existencia de falla.

Fuente: Quantum with Unity Pro Discrete and Analog I/O Reference Manual.  
Traducido por: Gutiérrez M. y Pérez J.



**Figura 4.20. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del Módulo 140 DAO 853 00.**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

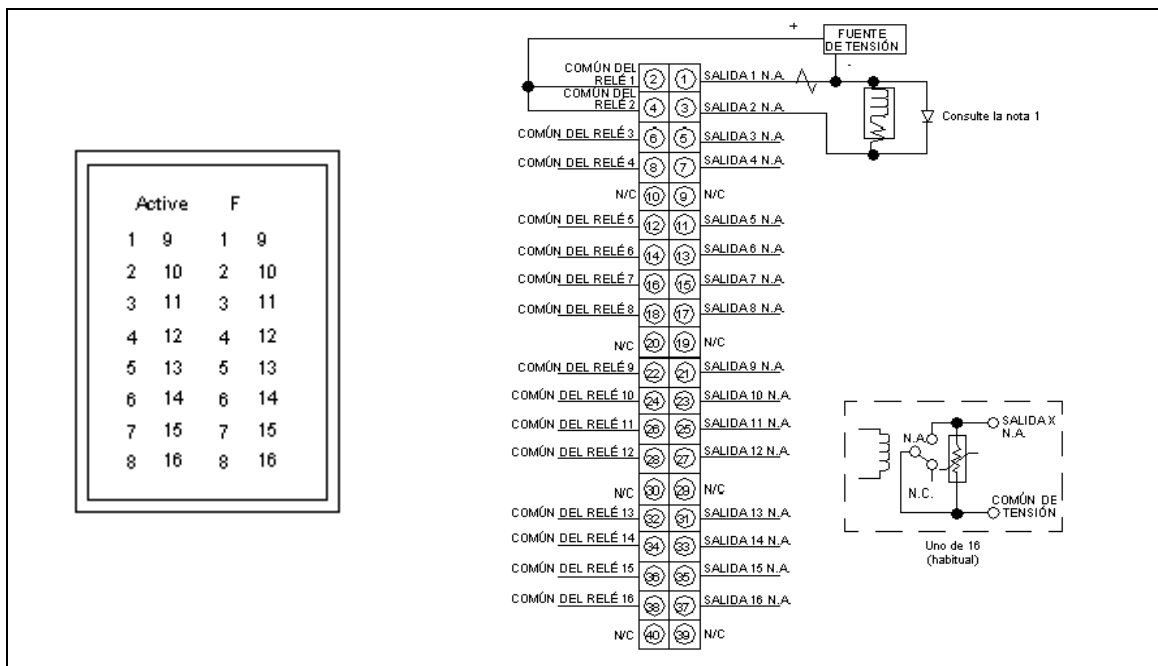
- **Módulo de salidas digitales a relé normalmente abierto (140 DRA 840 00).**

Este módulo es utilizado para conectar los dispositivos de control final discretos a relé. Existe 1 tarjeta de este tipo en el Rack 2. Él módulo posee 1 grupo de 16 salidas discretas a relé NO. Mediante el software de programación el módulo tiene la posibilidad de definírsele el estado de las salidas ante falla (timeout), definido por el usuario o retención del último valor. El módulo posee en su parte superior un conjunto de Led's indicando el estado del mismo, lo cual se ve reflejado en la Figura 4.21 y la Tabla 4.18.

**Tabla 4.18. LEDs Indicadores Estado módulo DO 140DRA84000.**

LED	COLOR	DESCRIPCION
ACTIVE	VERDE	Existe comunicación con el blackplane del chasis.
	APAGADO	No hay comunicación con el backplane.
1 - 16	VERDE	El canal está activado
	APAGADO	El canal no está activado.
F	ROJO	Se ha detectado un fallo externo al módulo.
	APAGADO	No hay existencia de falla.

Fuente: Quantum with Unity Pro Discrete and Analog I/O Reference Manual.  
Traducido por: Gutiérrez M. y Pérez J.

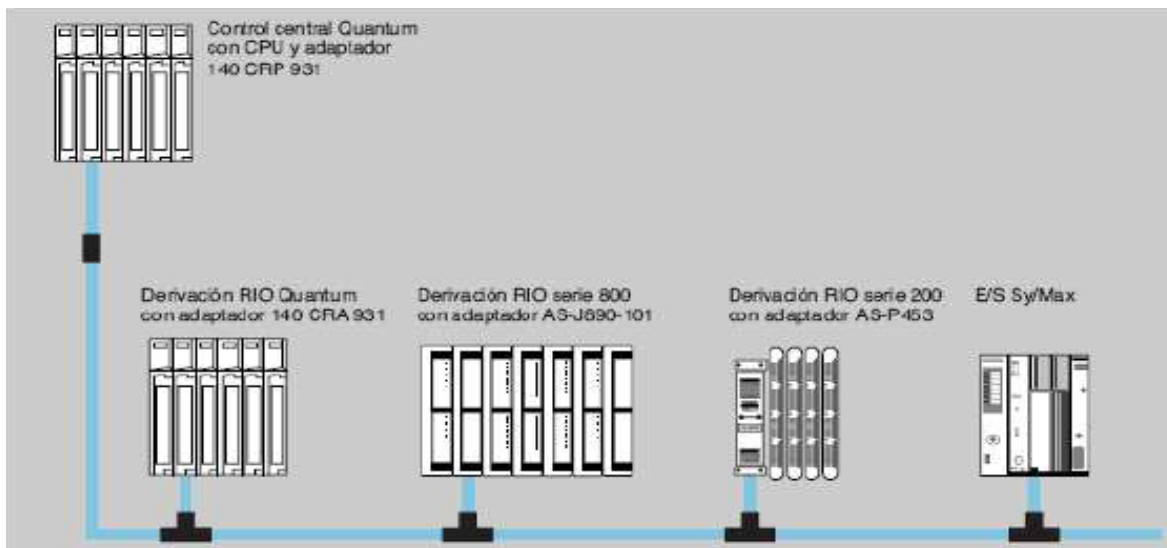


**Figura 4.21. LEDs indicadores estado y detalle de conexión del Módulo 140DRA84000.**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

- **Módulo de comunicaciones RIO (140CRP93X00).**

Los módulos de comunicaciones de E/S remotas con canal simple se instalan en la misma placa de conexiones (Rack) que los módulos de CPU que controlan el sistema. El módulo de comunicaciones RIO se utiliza para transferir datos de modo bidireccional entre la CPU y los módulos de estación RIO instalados en placas de conexiones diferentes. En la figura 4.22 se muestra un ejemplo de las conexiones que se realizan con esta red.



**Figura 4.22. Conexión de red RIO**

Fuente: Diapositivas de Entrenamiento del personal de Mantenimiento “Sistema de Control de la Planta de Agua Potable (INST. 106-A)”.

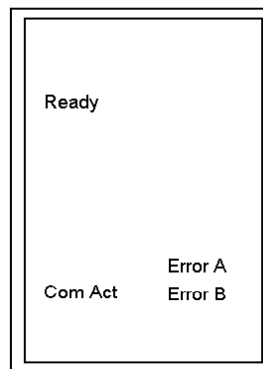
Debido a que el extensor de bastidor es, de hecho, una parte del mismo módulo RIO, Schneider Electric recomienda no intercambiarlos en caliente. El bastidor que contiene la CPU o el adaptador de estación RIO se designa como bastidor primario, mientras que el bastidor adyacente se designa como secundario. Cada bastidor necesita su propia fuente de alimentación. Para interconectar este módulo de comunicaciones y uno o más módulos de estación RIO se utiliza una red de cable coaxial, en este caso se utiliza para conectar lo que está en el Rack 1 (primario) y lo del Rack 2 (secundario). En la Figura 4.23 y la Tabla 4.19 se observan detalles de los led de estado de este módulo y en la Figura 4.24 se muestran las partes que lo componen.

**Tabla 4.19. LEDs indicadores de estado módulo de comunicación 140CRP93X00.**



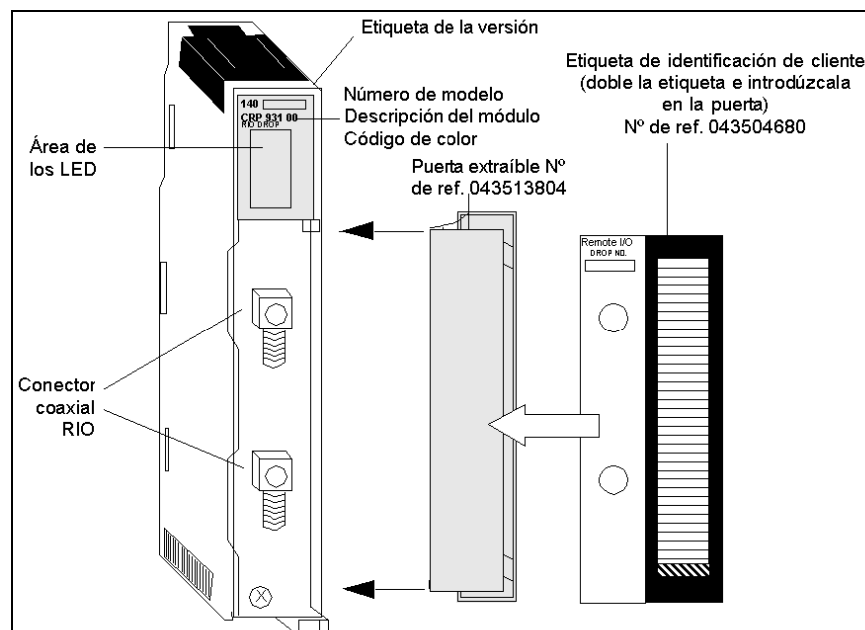
LED	COLOR	Indicación cuando se encuentra encendido
Listo	Verde	El módulo ha superado el diagnóstico de arranque.
Acc. Com	Verde	El módulo se está comunicando por la red RIO.
Error A	Rojo	Hay pérdida de comunicación en el canal A con una o varias estaciones.
Error B	Rojo	Hay pérdida de comunicación en el canal B con una o varias estaciones (sólo cable dual).

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.



**Figura 4.23. Indicadores LED de estado del módulo de comunicación RIO**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.



**Figura 4.24. Partes del módulo de E/S remotas (RIO)**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

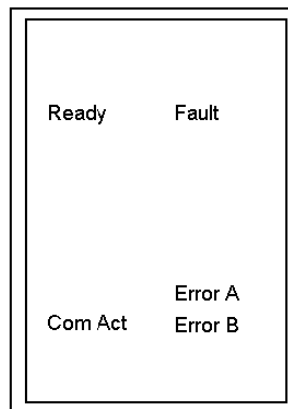
- **Módulo de estación de adaptador RIO Quantum (140CRA93X00).**

Los módulos de canal único de estación de E/S remotas se utilizan para transferir datos de modo bidireccional a través de una red de cable coaxial entre los módulos de E/S instalados en el mismo bastidor (estación RIO) y el módulo de comunicaciones RIO instalado en el bastidor de la CPU. En este caso este módulo se encuentra en el Rack2 y se comunica con el Módulo de comunicaciones que se encuentra al lado del CPU en el Rack 1. En caso de pérdida de comunicación, a través del software se le puede configurar a éste los tiempos por los cuales el procesador retendrá su último estado de funcionamiento. En la Figura 4.25 y la Tabla 4.20 se describen los detalles de los led de estado del presente módulo.

**Tabla 4.20. Indicadores luminosos módulo 140CPA93X00.**

LED	COLOR	Indicación cuando se encuentra encendido
Ready	Verde	El módulo ha pasado los diagnósticos de conexión.
ComAct.	Verde	El módulo se está comunicando en la red RIO
Fault	Rojo	Imposible la comunicación con uno o más módulos de E/S.
Error A	Rojo	Error de comunicación en el canal A.
Error B	Rojo	Error de comunicación en el canal B (sólo cable dual).

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.



**Figura 4.25. Indicadores LED de estado del módulo de estación RIO**

Fuente: Serie Modicon Quantum Automation, Guía de referencia del hardware.

- **Conexión y configuración de Ethernet TCP**



El sistema Unity permite la comunicación vía Ethernet TCP/IP con otros dispositivos, a través del puerto Ethernet TCP/IP ubicado en el CPU Unity (Figura 4.17). La configuración del puerto Ethernet TCP/IP se hace vía el software Unity Pro XLS, donde se realizan todas las configuraciones pertinentes, como lo es el timeout.

#### 4.2.6. Información sobre el software de programación Unity Pro XLS (Para el PLC Modicon Quantum).

El software Unity Pro XLS es el encargado de realizar la programación necesaria para que el PLC Modicon Quantum pueda controlar los procesos llevados a cabo en la instalación a realizar el diseño. Una breve descripción de este software se desarrolló en el capítulo 2. De acuerdo con esto, se organizará en la Tabla 4.21 la información referente a los documentos consultados respecto a este software:

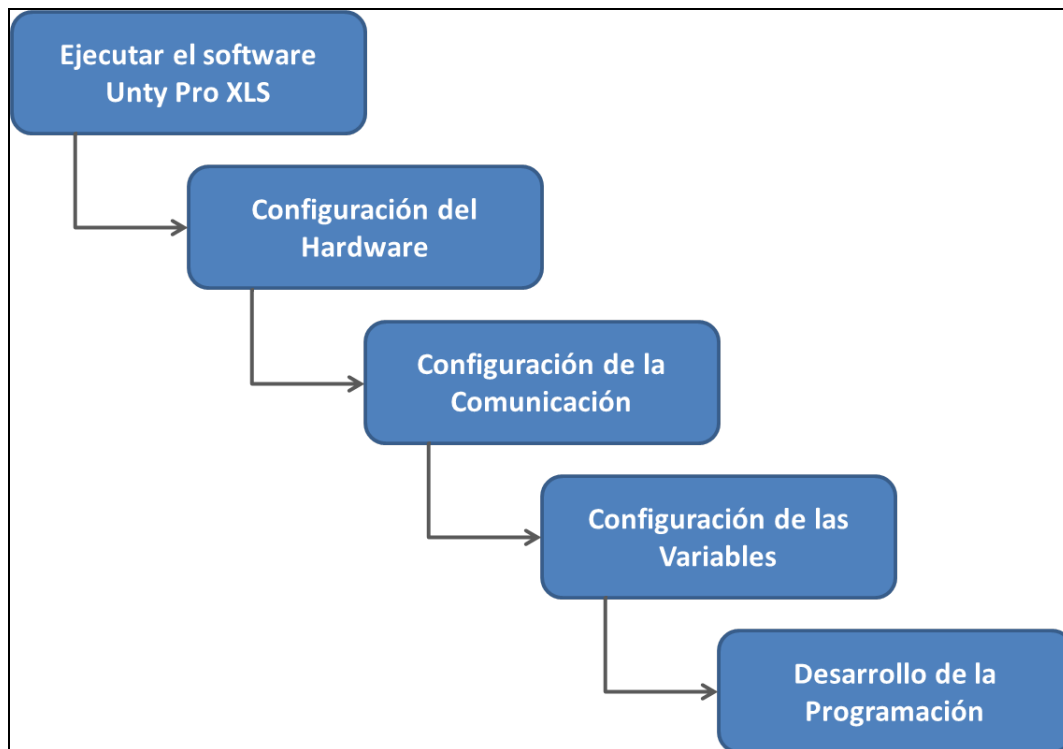
**Tabla 4.21. Referentes teóricos sobre el software de programación Unity Pro XLS.**

<b>FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA</b>
<b>Unity Pro Lenguajes y estructuras del programa Manual de referencia Noviembre 2007</b>	Se concretó con esta información los elementos necesarios para la programación de los PLC Quantum.
<b>Manual de mantenimiento PLC Quantum Unity. Servicio de suministro, instalación y configuración del nuevo sistema de control de la planta de agua desmineralizada I-103A Pequiven-Morón 2008</b>	Se tomó como referencia para conocer el procedimiento para la instalación, configuración y programación del software.
<b>Entrenamiento de Unity Pro XLS ELEINCA Enero 2013</b>	Con este entrenamiento se aprendió a manejar el programa con todas la herramientas que sirven para desarrollar nuestro diseño.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.2.7. Creación de la aplicación en Unity Pro XLS para el diseño de la automatización de la instalación I-103.

A continuación se presenta en la Figura 4.26 un diagrama de los pasos a seguir al momento de crear una aplicación en el Unity Pro XLS:



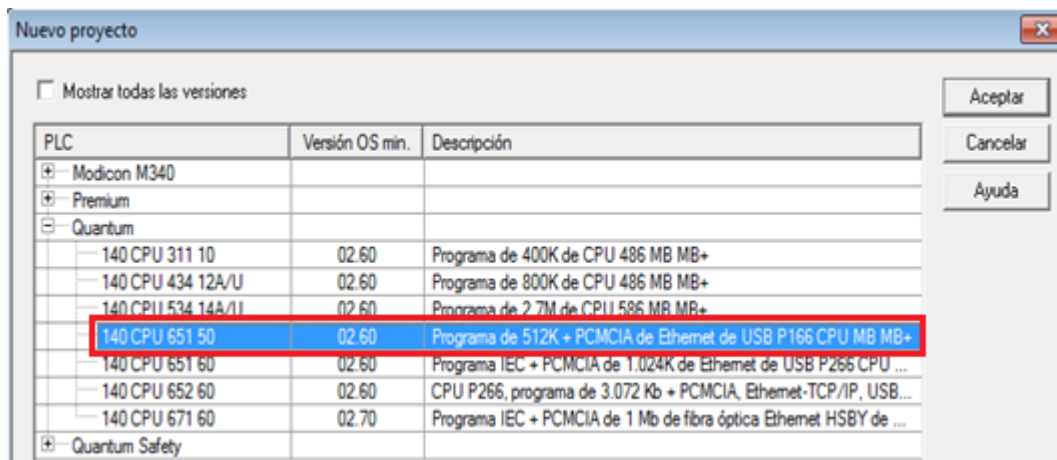
**Figura 4.26. Pasos para crear una aplicación en Unity Pro.**

Fuente: Gutiérrez M y Pérez J. (2013).

De acuerdo con lo planteado en la Figura 4.26 se describirán los pasos que realizamos para crear la aplicación.

#### 4.2.7.1. Configuración del Hardware

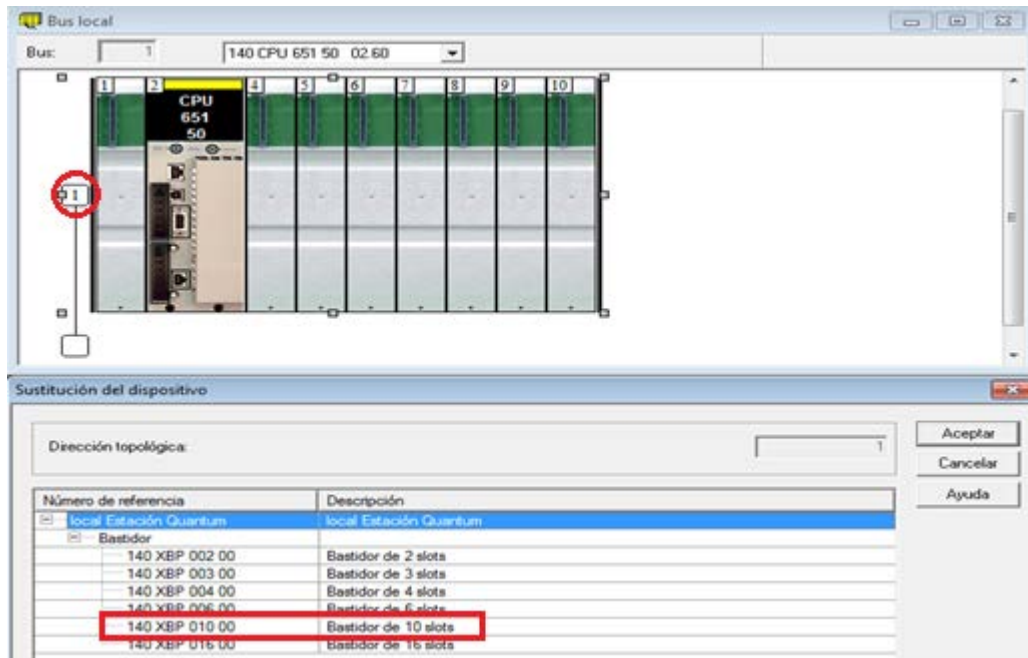
Luego de ejecutar el Unity Pro XLS, se va al menú *Fichero* y se selecciona *Nuevo*. Allí se despliega la ventana mostrada en la Figura 4.27 donde se escoge el procesador 140CPU65150, el cual es el que se encuentra resaltado de azul y rojo (No se puede intercambiar el procesador luego de ser seleccionado).



**Figura 4.27. Ventana de escogencia del procesador.**

Fuente: Gutiérrez H. y Pérez J. (2013)

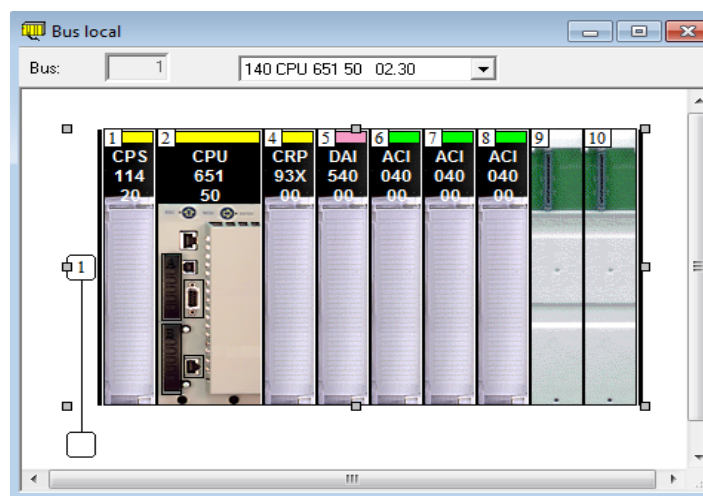
Luego en el *Explorador de proyectos* se va a la pestaña de *Configuración* y se le hace doble clic, esto despliega la ventana mostrada en la figura 4.28 la cual muestra el *Bus local* (con el procesador escogido), se hace nuevamente doble clic sobre la figura con un número 1 que aparece a la izquierda y se escoge el tamaño del bastidor (140XBP01000 de 10 slots) en la ventana *Sustitución del dispositivo* como se muestra en la parte inferior de la figura.



**Figura 4.28. Ventana de bus local y escogencia del bastidor.**

Fuente: Gutiérrez H. y Pérez J. (2013).

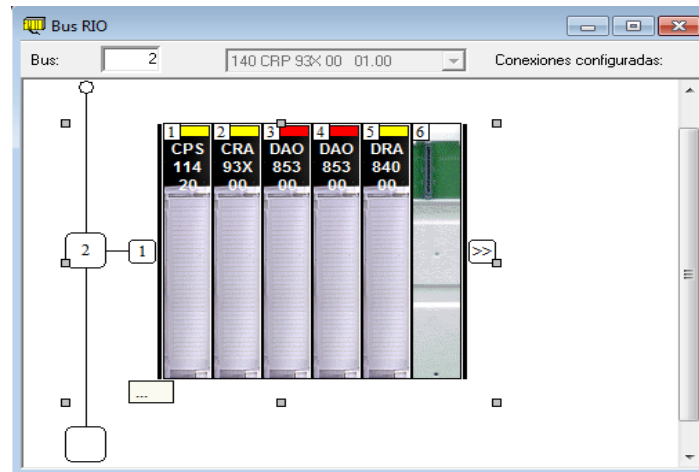
Después de realizado esto, se busca llenar cada espacio con los módulos correspondientes ya descritos en la sección 4.2.5 (Haciendo doble clic sobre cada slot) los cuales son: el módulo de la fuente de alimentación, del módulo de comunicación RIO y los módulos de E/S correspondientes como se ve en la Figura 4.29.



**Figura 4.29. Ventana de bus local.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

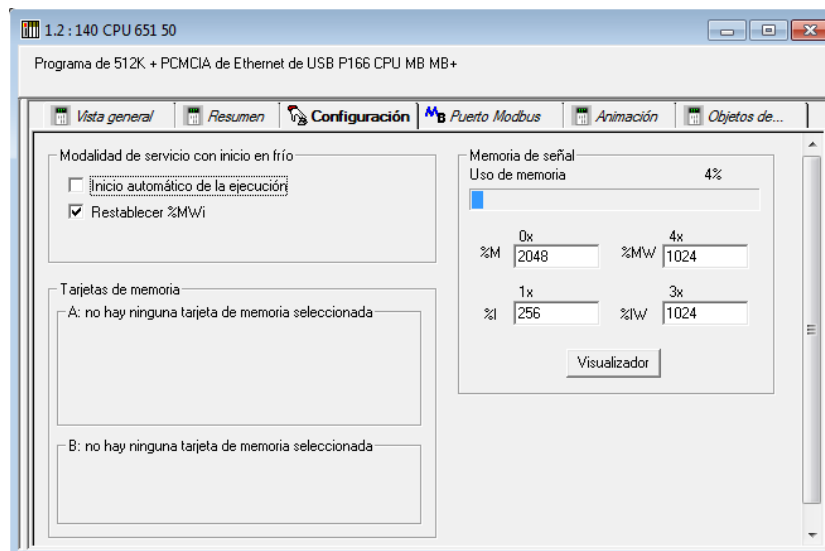
Luego de esta configuración se realiza la del bus RIO que es parecida a la del bus local, se escoge el tamaño del bastidor (6 slots) y se organizan los módulos como se muestra en la Figura 4.30.



**Figura 4.30. Ventana de bus RIO.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013)

Después de agregados todos los módulos necesarios para trabajar en el diseño, se definen los objetos globales de la aplicación: arranque automático en RUN, número de bits, words, entre otros (Ver Figura 4.31)



**Figura 4.31. Configuración global del CPU seleccionado.**

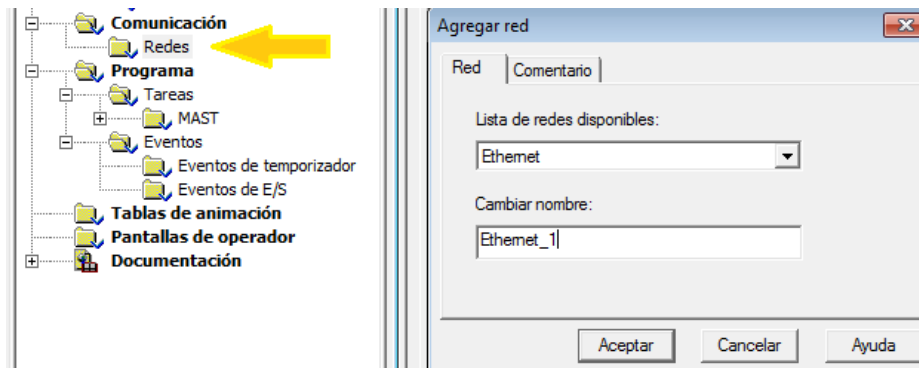
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013)

La configuración global en el CPU mostrada en la Figura 4.31, también se realiza en cada uno de los módulos que correspondan.

#### 4.2.7.2. Configuración de la comunicación

La siguiente configuración es de la Red Ethernet que comunicará toda la aplicación con el IHM que recibirá las señales de monitoreo de la planta. Para esto primero se añade una nueva red al navegador, se escoge el tipo de red y se define el nombre de la misma, si se quiere se le agrega un comentario como se observa en la Figura 4.32.

En el *explorador de proyectos*, en la pestaña de *comunicación>Redes* se hace clic derecho y entre las opciones se escoge *Nueva Red*, en la lista de redes disponibles se escoge *Ethernet* y se le cambia el nombre si se desea en el renglón inferior, si no se deja el predeterminado *Ethernet\_1*.



**Figura 4.32. Creación de la red Ethernet.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013)

Al agregar la red esta aparece en la subpestaña de *comunicación* de la ventana del *explorador de proyectos*, se le hace doble clic a esta y aparece una ventana para activar la red lógica a ser configurada. Ver Figura 4.33.



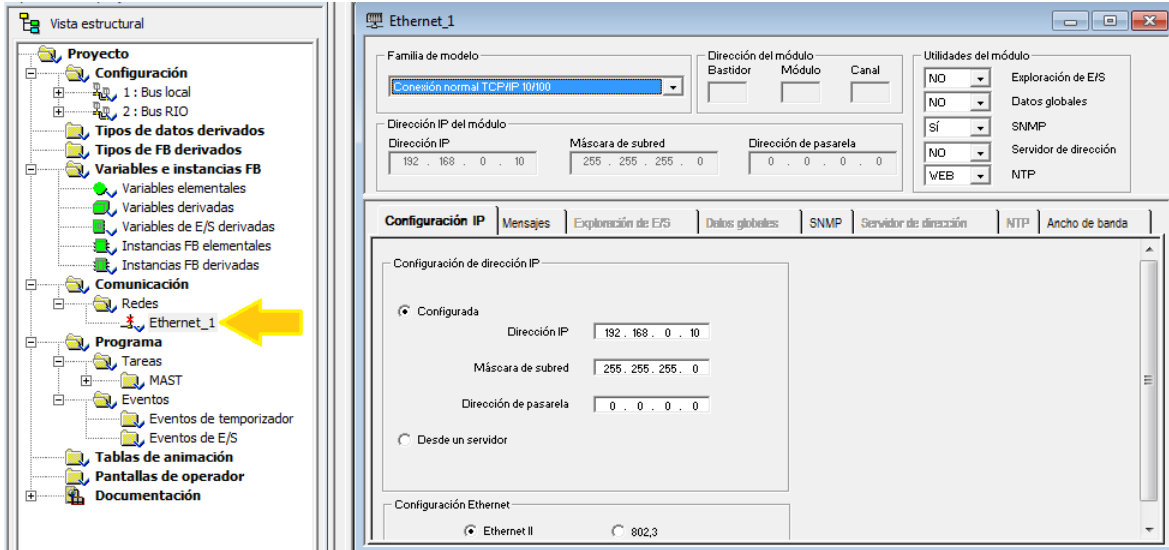


Figura 4.33. Configuración de la red Ethernet.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013)

Ahora se busca asociar la red creada y configurarla con el CPU, esto se logra abriendo el módulo del *bus local* y dándole doble clic al puerto correspondiente y se escoge la red agregada, como se observa en la Figura 4.34.

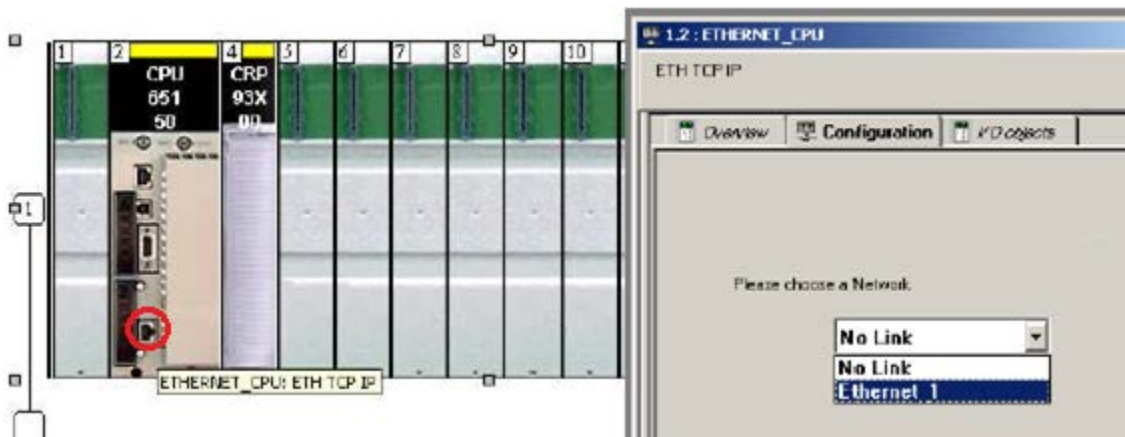


Figura 4.34. Configuración de la red lógica en el CPU.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



#### 4.2.7.3. Configuración de las variables.

Ya realizadas todas las configuraciones pertinentes para el manejo del programa, se buscó listar las variables a utilizar en el diseño.

En general en la pestaña *Variables e instancias FB* (en el *explorador de proyectos*) se manejan todas las variables utilizadas para la ejecución del diseño. Este renglón está dividido en varias subrenglones y se mencionaran los que se utilizaron en la programación.

- **Variables elementales y derivadas**

Aquí están todas las variables a utilizar, ya sean variables físicas, internas, clases y variables para el manejo de las pantallas del operador internas del Unity Pro para la simulación del diseño. A continuación se mencionarán las que se usaron en el diseño:

1. Las variables físicas digitales de entrada (%I) se encuentran aquí y son las que llegan directamente al PLC e indican el estado de algunos equipos de la planta que proporcionan información del funcionamiento de la misma.
2. Las variables físicas analógicas de entrada (%IW) son las que ingresan al PLC directamente de los transmisores que se encuentran distribuidas por toda la planta.
3. Las variables físicas digitales de salida (%Q) son las que salen del PLC y llegan a las válvulas y bombas correspondientes al diseño.
4. Las variables digitales internas del software (%M) se usaron para redireccionar las variables físicas digitales de entrada y de salida, así como para manejar las órdenes de las rutinas desde el IHM, y control sobre algunas funciones como el manejo manual o automático de las mismas.

5. Las variables analógicas internas del software (%MW) se usaron para redireccionar las variables físicas digitales de salida, las bases de tiempo de cada rutina y para indicar en el IHM los valores reales de la lectura de los instrumentos involucrados.
6. También se manejan variables sin direccionamiento que se utilizan en las pantallas del operador internas del Unity Pro para simular algunos valores del diseño.
7. Variables derivadas son del tipo estructura y se usan para asociar variables que poseen similitudes, que se derivan de una principal y se manejan como tipo palabra/word. En este caso se definió en la ventana del *explorador de proyecto* en *tipos de datos derivados* una variable de tipo Motor, que contiene 6 variables de tipo booleano (arranque, parada, estatus, manual, automático, arranque\_parada).

En la Figura 4.35 se muestra un ejemplo de todas las variables mencionadas anteriormente ya listada en la base de datos del programa.

Nombre	Tipo	Dirección	V.	Comentario
MAG_1_F	EBOOL	%I 5.9		Estatus de Agitador ON=1/OFF=0 (señal física) <b>1</b>
TT_01_F	INT	%IW36		Transmisor de temperatura de SR-2A (señal física) <b>2</b>
YY_21_F	EBOOL	%Q 2.2\1.3.17		Válvula de salida de ácido sulfúrico a SR-2 (señal física) <b>3</b>
Orden_Serv_F2_HMI	EBOOL	%M315		Orden de servicio Filtro 2 desde HMI <b>4</b>
Tiempo_Reogen_Arion	INT	%MW209		Tiempo de regeneración para Arión en Automático <b>5</b>
Base_Hora	EBOOL			Base de tiempo para horas <b>6</b>
AJ_08_MIN	REAL			Valor mínimo de Concentración de Soda Cáustica en el Tanque SR-3A <b>6</b>
Agit_MAG_1	Motor	%Mw226		Agitador AG-1 (Arranque, Parada, Estatus, Manual, Automatico, Arranque-Parada) <b>7</b>
Arranque	BOOL	%MW226		
Parada	BOOL	%MW226		
Estatus	BOOL	%MW227		
Manual	BOOL	%MW227		
Automatico	BOOL	%MW228		
Arranque_Parada	BOOL	%MW228		

**Figura 4.35. Variables elementales y derivadas.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

- **VARIABLES FB ELEMENTALES.**

Estas variables se refieren a los bloques funcionales utilizados en el desarrollo del programa. En este caso se usaron contadores (CTU) y Temporizadores (TON). En la Figura 4.36 se muestran algunos de los bloques utilizados en la programación.

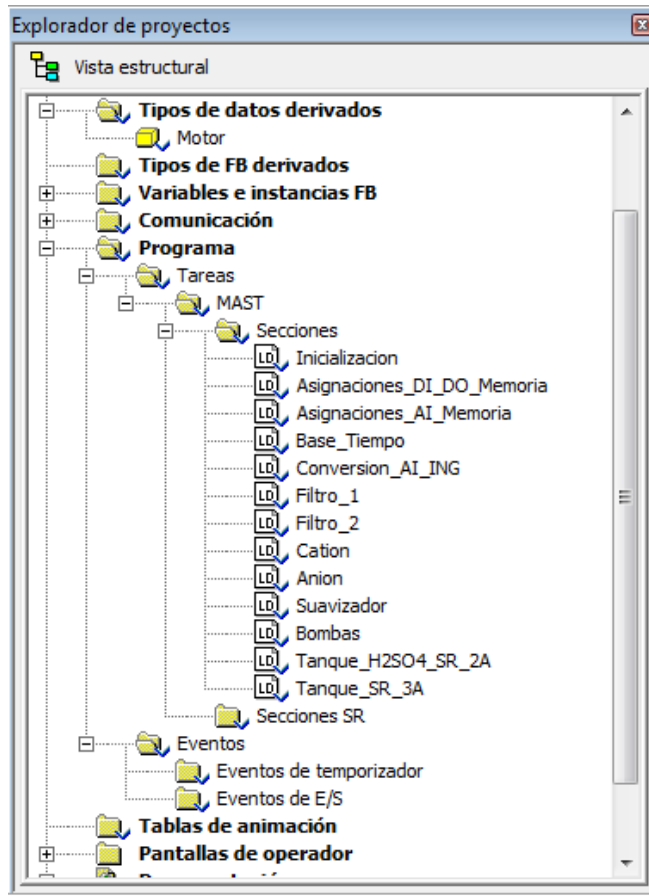
Nombre	Nº	Tipo	Valor	Com...
+ FBI_0		TON		
+ FBI_1		TON		
+ FBI_2		TON		
+ FBI_3		CTU		
+ FBI_4		CTU		
+ FBI_5		CTU		

**Figura 4.36. Bloques funcionales listados en el programa.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.2.7.4. Desarrollo de la programación del PLC Quantum Unity

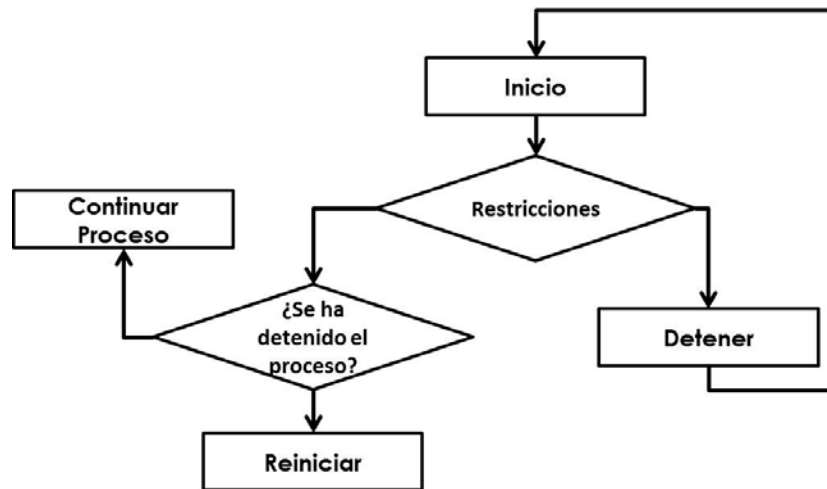
En esta parte se definen las secciones que componen el diseño que controlará las variables involucradas y que facilitará el manejo de la instalación. Las secciones usadas en el desarrollo se observan en la Figura 4.37 donde se despliegan cada una de éstas.



**Figura 4.37. Secciones creadas en la programación.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013)

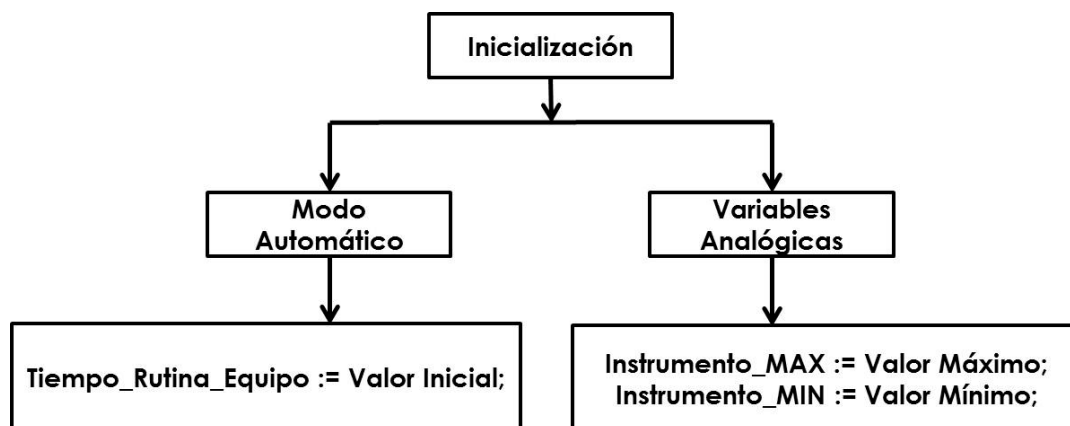
En cada sección existen restricciones que representan el funcionamiento de las mismas, el orden adecuado para que se desarrolle el programa eficientemente. En la figura 4.38 se muestra el esquema general que poseen cada una de estas restricciones, las cuales se aplican para el Filtro 1 y 2, Cation, Anión y Suavizador.



**Figura 4.38. Diagrama de flujo general de las restricciones.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

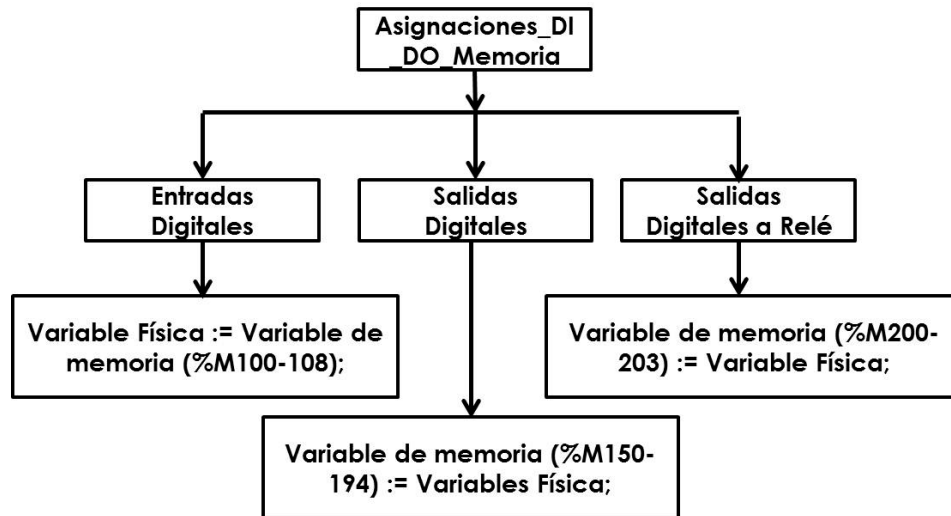
En la sección de *Inicialización* se asignan valores iniciales para los tiempos de operación en modo automático de cada rutina, esto para evitar un avance indebido en la secuencia de las rutinas. También se inicializan los valores máximos y mínimos de las variables analógicas, establecidos en el rango para el cual deben estar calibrados los instrumentos de medición. Ver ejemplo en Figura 4.39.



**Figura 4.39. Diagrama de la sección de Inicialización.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

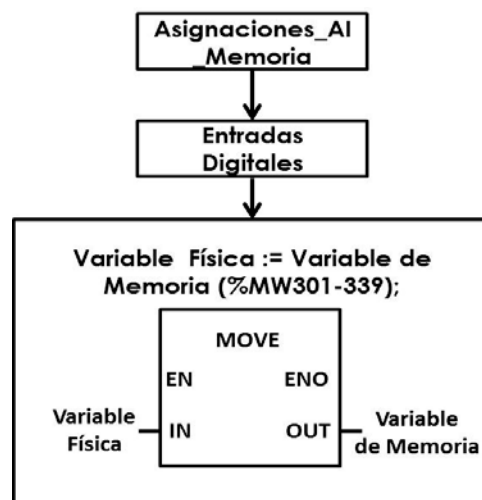
La sección *Asignaciones\_DI\_DO\_Memoria* se encarga de asignar el valor de las entradas y salidas físicas a variables de memoria internas del software para poder utilizar las mismas en la programación. Ver Figura 4.40.



**Figura 4.40. Diagrama de la sección de Asignaciones\_DI\_DO\_Memoria.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

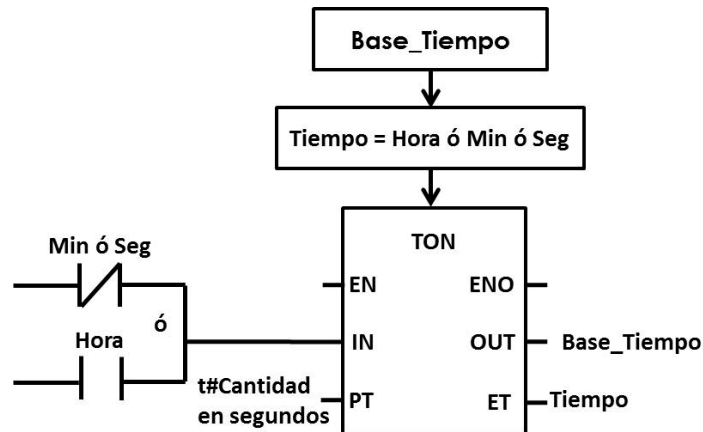
La sección *Asignaciones\_AI\_Memoria* se encarga de lo mismo que la sección anterior, pero referente a entradas analógicas. Ver Figura 4.41.



**Figura 4.41. Diagrama de la sección de Asignaciones\_AI\_Memoria.**

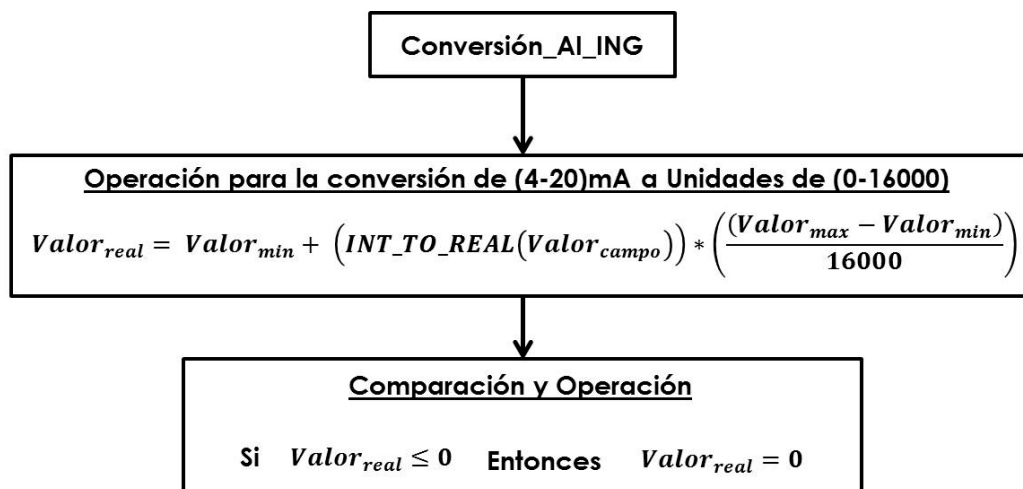
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La sección *Base\_tiempo* establece el tiempo a utilizar en toda la programación en segundos, minutos y horas. Ejemplo de esto se ve en la Figura 4.42.



**Figura 4.42. Diagrama de la sección de Base\_Tiempo.**  
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La sección *Conversion\_AI\_ING* (conversión de entradas analógicas a unidades de ingeniería). En esta parte se transforman los valores de entrada analógica (4-20 mA /0-16000) en los respectivos valores de las unidades de ingeniería que serán manejados en el IHM como se muestra en la Figura 4.43.



**Figura 4.43. Diagrama de la sección de Conversión\_AI\_ING.**  
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).



En la sección *Filtro\_1* se realiza lo respectivo a escogencia de cómo se tomará el manejo de este equipo, ya sea de forma manual o automática, dependiendo del modo escogido a través del IHM. Las rutinas involucradas son retrolavado, enjuague y servicio las cuales se manejan con un juego de cierre y abertura de válvulas que especifican a cada una de estas. Cada rutina se le especifica un tiempo de trabajo ya sea en manual o automático. También aquí se monitorea el tiempo que lleva el equipo en servicio. Así como se controla la válvula XSV\_16F la cual permite intercambiar el servicio entre Filtro 1 y Filtro 2 en caso de que se necesite. La sección *Filtro\_2* posee la programación parecida pero el nombre de las variables es otro correspondiente al mismo filtro, y además no posee programación de la válvula XSV\_16F. En la Figura 4.44 se observa el diagrama de la programación de la sección *Filtro\_1* y la *Filtro\_2*.

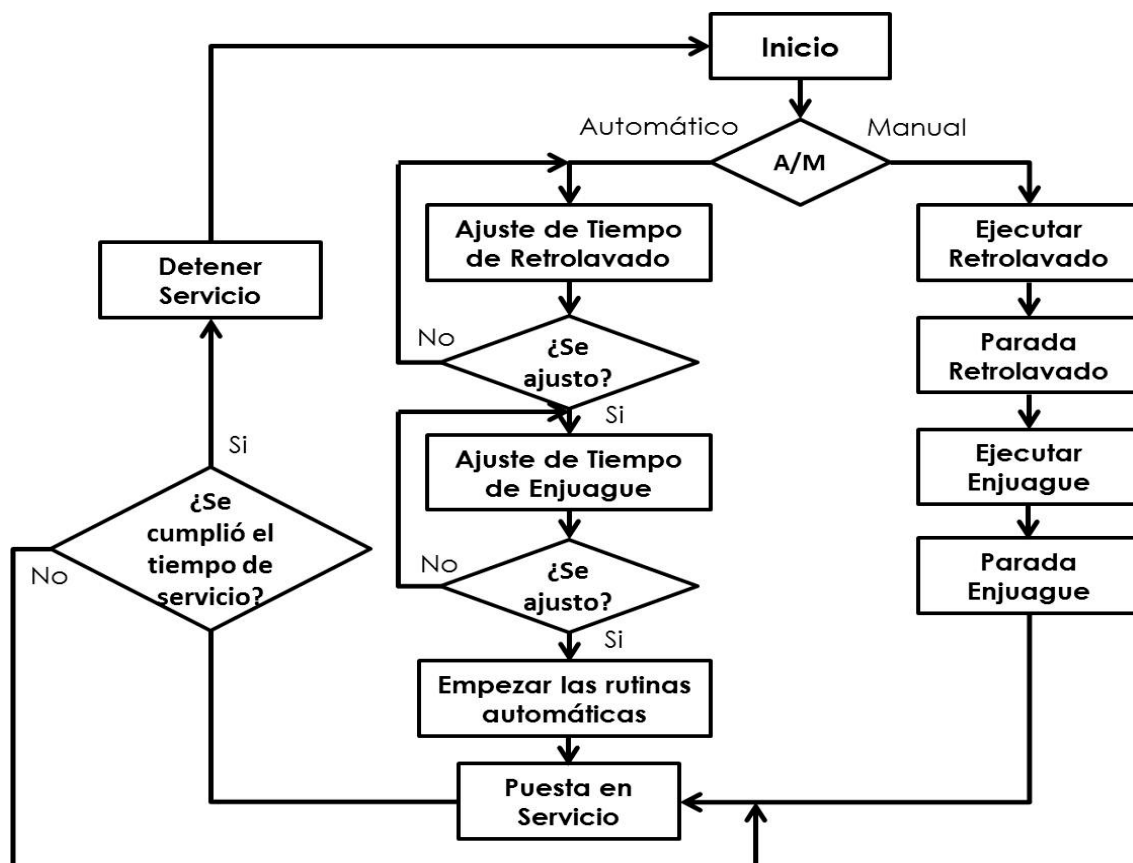


Figura 4.44. Diagrama de flujo de la sección Filtro\_1 y Filtro\_2.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La sección *Cación* también tiene la opción de cambiar entre manual y automático a través del IHM. Las rutinas involucradas son: retrolavado, enjuague, regeneración y servicio que al igual que en las 2 secciones anteriores se maneja con un juego de apertura y cierre de válvulas. De igual manera se asignan los tiempos de cada rutina y el tiempo total de servicio del equipo. En la sección *Anión* se realiza lo mismo que en la anterior, a diferencia de que aquí se establece la opción de servicio al tanque SR-1 o a los tanques SR-2A/B/C. La sección *Suavizador* es igual que las dos anteriores solo que en este caso el equipo se trabaja de manera manual a través del IHM, ya que por ejemplo, la regeneración de este equipo se realiza cada 3 meses. En la figura 4.45 el diagrama de flujo de la programación del *Anión* y *Cación*, y en la Figura 4.46 la del *Suavizador*.

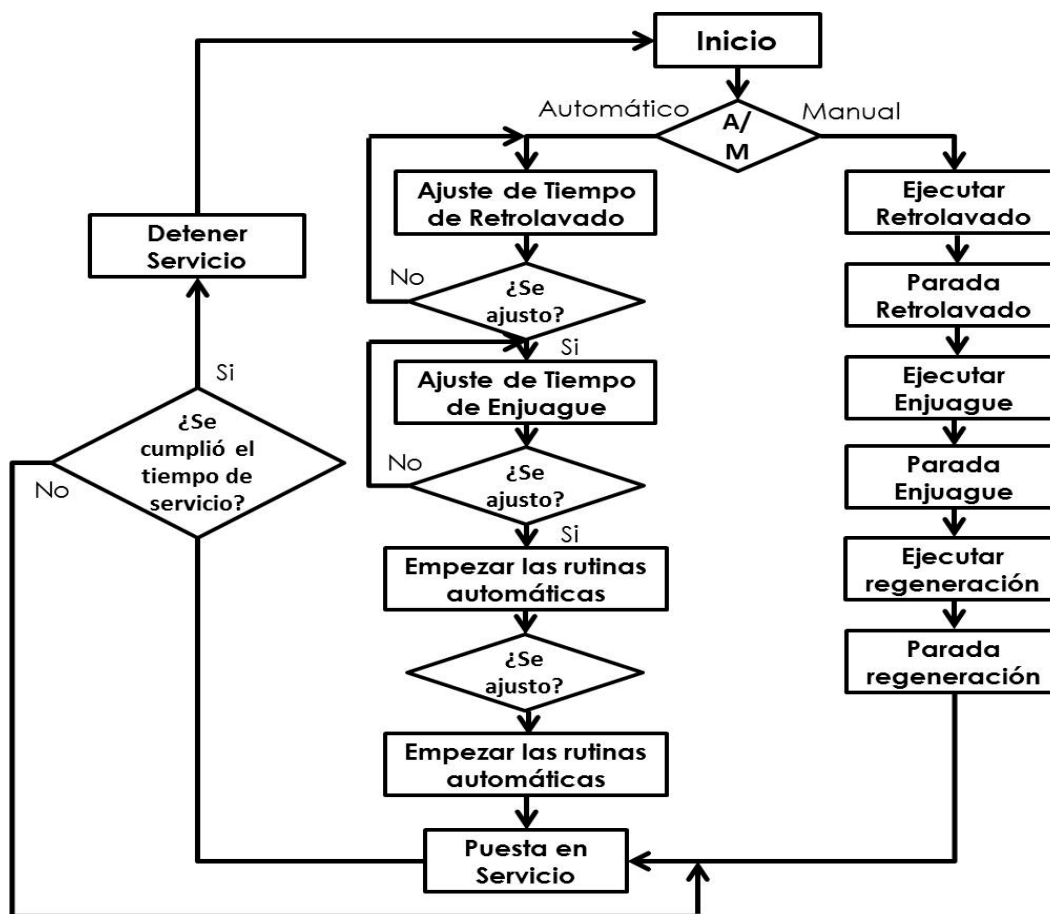


Figura 4.45. Diagrama de flujo de la secciones Cación y Anión.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

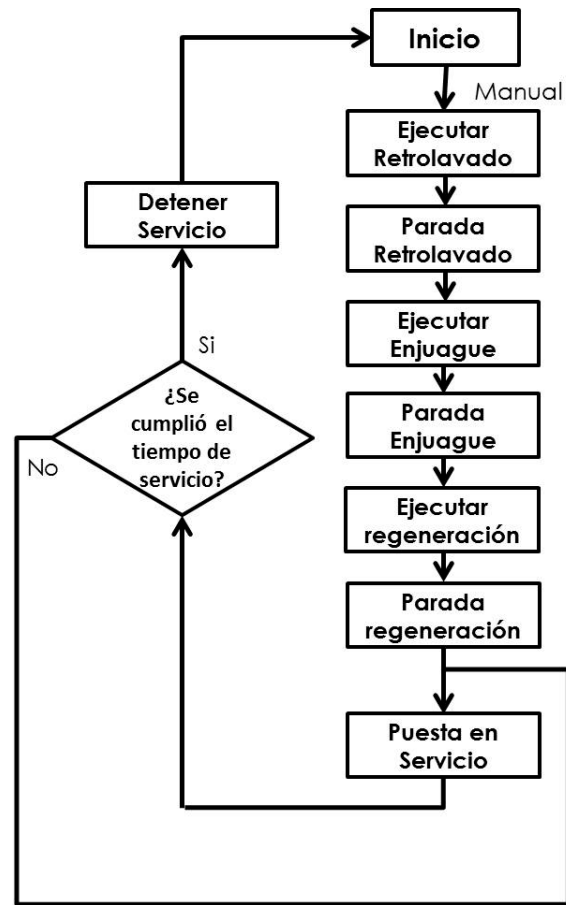


Figura 4.46. Diagrama de flujo de la sección Suavizador.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La sección **Bombas** se encarga de generar las señales que encienden o apagan las bombas PC-1, PC-2, PC-3, PC-4 y el agitador AG-1, a través del IHM, realizando un enclavamiento para mantener la señal encendida. Ver Figura 4.47.

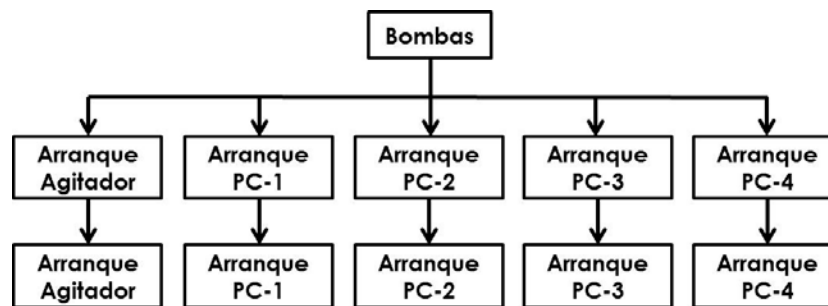


Figura 4.47. Diagrama de la sección Bombas.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La sección *Tanque\_H2SO4\_SR\_2A* maneja las válvulas de llenado y vaciado del tanque de dilución de ácido sulfúrico SR-2A. En la Figura 4.48 se muestra el inicio de la programación de esta sección.

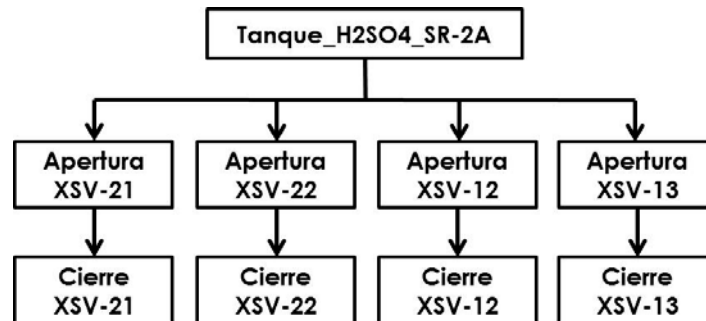


Figura 4.48. Diagrama de la sección *Tanque\_H2SO4\_SR\_2A*.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

La última sección es la de *Tanque\_SR\_3A*, la cual se encarga de manipular las válvulas que controlan el vaciado y llenado del tanque de dilución de soda cáustica mediante el IHM. En la Figura 4.49 se observa el inicio de la programación de esta sección.

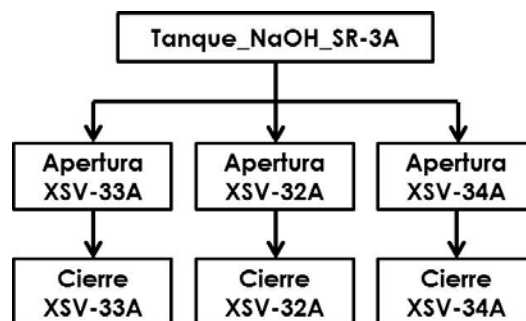


Figura 4.49. Diagrama de la sección *Tanque\_SR\_3A*.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Finalmente las restricciones para los equipos de acuerdo a las variables manejadas en la programación son:



**Filtro\_1:**

No posee.

**Filtro\_2:**

No posee.

**Catión:**

Interruptor de Alto Flujo FSH\_C1 y Orden de Servicio de Filtro 1

.

**Anión:**

Interruptor de Alto Flujo FSH\_A1 y Orden de Servicio de Suavizador excepto en servicio del Anión.

**Suavizador**

Orden de Servicio de Filtro 2.

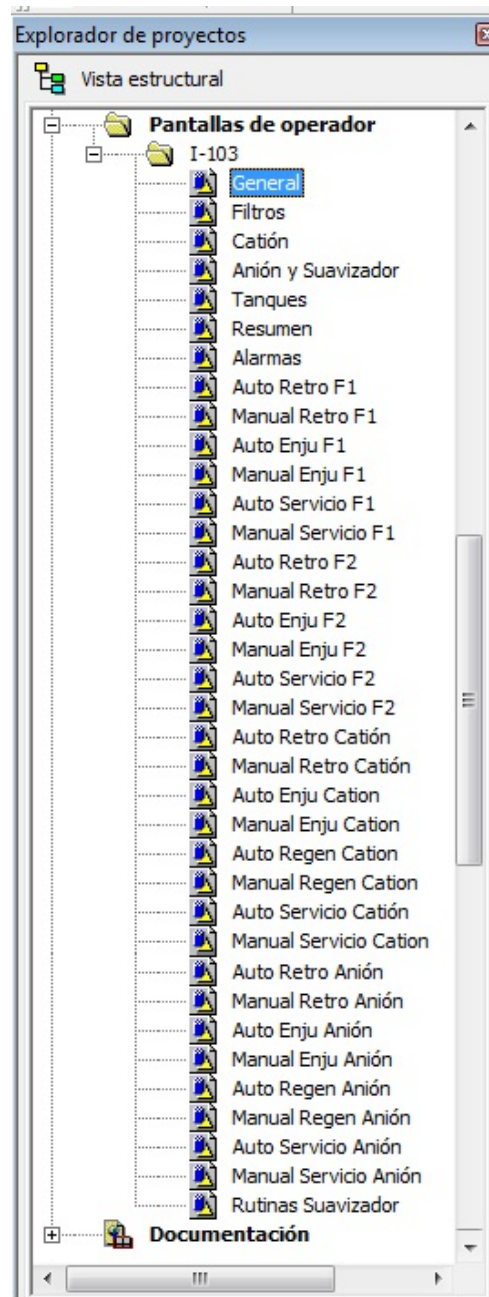
.

Toda la programación explicada en esta parte se presentara con detalle en el programa anexado en el apéndice B.

#### **4.2.7.5. Pantallas del Operador**

Para la simulación del proyecto, se usó la herramienta de pantallas del operador que se presenta en el software, donde se recreó un IHM interno, parecido al IHM Indusoft que se utilizará en la realidad al conectar todos estos equipos en planta.

En la Figura 4.50 se observa el despliegue de las pantallas creadas para el uso en la simulación del diseño propuesto. Dichas pantallas se visualizan en el Apéndice C.



**Figura 4.50. Despliegue de las pantallas internas del operador.**  
Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

### 4.3. Diseño de la interfaz Humano-Maquina mediante el software de creación IHM Indusoft.



La interfaz gráfica Indusoft, ha sido usada en algunas de las plantas de tratamiento de aguas de los servicios industriales de PEQUIVEN, por lo que ya es conocido y manejado por el personal encargado de realizar mantenimiento. En el uso del mismo en las instalaciones se le ha encontrado que es práctico para la visualización de procesos para el operador y supervisores de las plantas. Ha demostrado un desenvolvimiento confiable, además de que posee gran cantidad de drivers que lo hace compatible con distintos modelos de PLC.

Para el conocimiento y manejo del software INDUSOFT y sus funciones como interfaz Humano-Máquina (IHM) o como aplicaciones SCADA se consultaron los documentos presentados en la tabla 4.22.

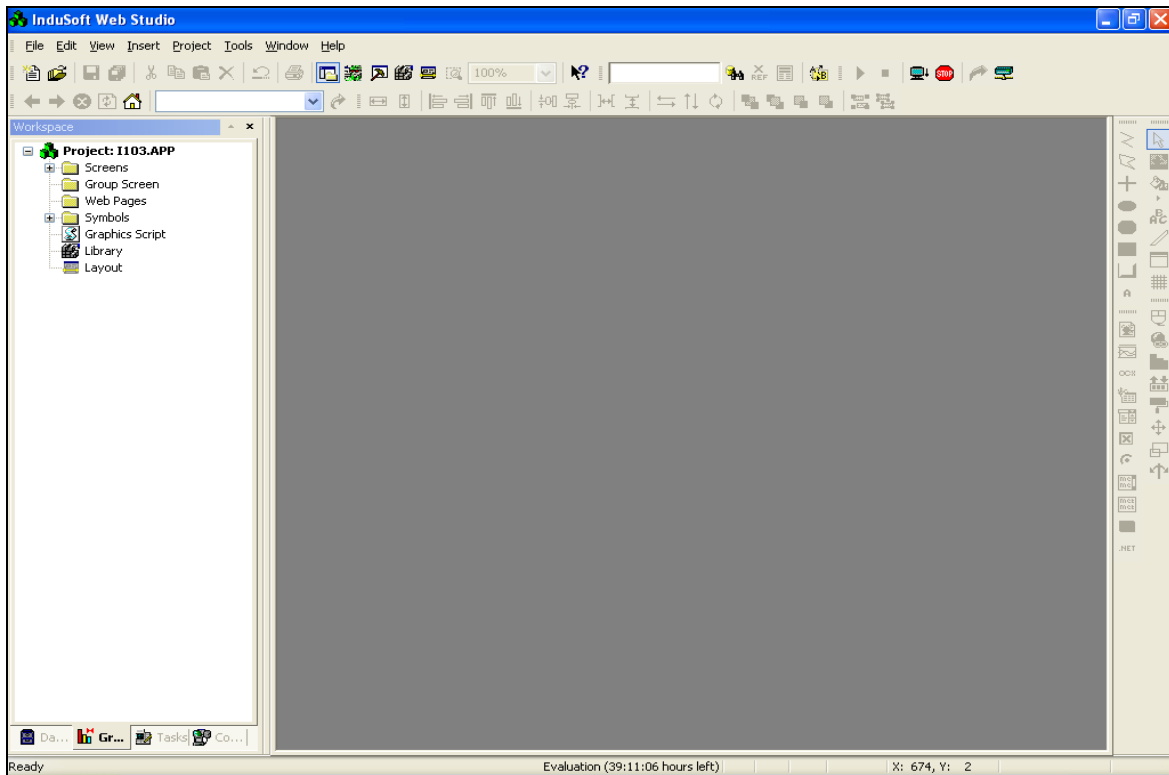
**Tabla 4.22. Referentes teóricos sobre el software IHM Indusoft.**

FUENTE DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	INFORMACIÓN TEÓRICA CLASIFICADA
<b>Servicio: INENTSE_04 Manual de Indusoft Web Studio 2011</b>	Este documento proporciona una guía para el manejo de manera rápida y fácil de las funciones que posee este software.
<b>Indusoft Web Studio v6.1 User Guide and Technical Reference 2005</b>	Aquí se obtuvo información técnica más detallada sobre el software y sus aplicaciones y de su comunicación con el PLC.
<b>VBScript Reference Manual For Indusoft Web Studio 2007</b>	Da una guía rápida del uso del lenguaje VBScript (Visual Basic Script) en la programación del IHM.

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.3.1. Diseño de las pantallas con imágenes análogas al aspecto físico de la planta.

El software Indusoft está provisto de herramientas factibles a la hora de diseñar. En la figura 4.51 se presenta la ventana principal del proyecto donde se comienza el diseño del mismo.



**Figura 4.51. Ventana principal del Indusoft Web Studio.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Inicialmente se introdujeron las variables que manejan cada uno de los dispositivos y equipos que se muestran en las pantallas. Se busca que estas variables mantengan los mismos nombres que en el software del PLC para que al momento de conectarlo con el IHM sea más sencillo asociarlos. En la Figura 4.52 se muestra el *Workspace* en la pestaña *Database* y el despliegue de ventana *Application Tags* donde residen estas variables.



	Name	Size	Type	Description	Scope
44	YY_6S	0	Boolean	Válvula de suminis...	Server
45	YY_7S	0	Boolean	Válvula de suminis...	Server
46	YY_8S	0	Boolean	Válvula de dilución...	Server
47	Agit_MAG_1	0	Motor	Agitador AG-1 (Arra...	Server
48	Bom_PC_1	0	Motor	Bomba PC-1 (Arra...	Server
49	Bom_PC_2	0	Motor	Bomba PC-2 (Arra...	Server
50	Bom_PC_3	0	Motor	Bomba PC-3 (Arra...	Server
51	Bom_PC_4	0	Motor	Bomba PC-4 (Arra...	Server
52	FSL_1	0	Boolean	Bajo Flujo de salid...	Server
53	FSL_2	0	Boolean	Bajo Flujo de salid...	Server
54	FSH_C1	0	Boolean	Alto Flujo Catión Tr...	Server
55	FSH_A1	0	Boolean	Alto Flujo Anión Tr...	Server
56	PT_03	0	Real	Presión de Salida ...	Server
57	PT_04	0	Real	Presión de salida ...	Server

**Figura 4.52. Base de datos del Indusoft (ApplicationTags).**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

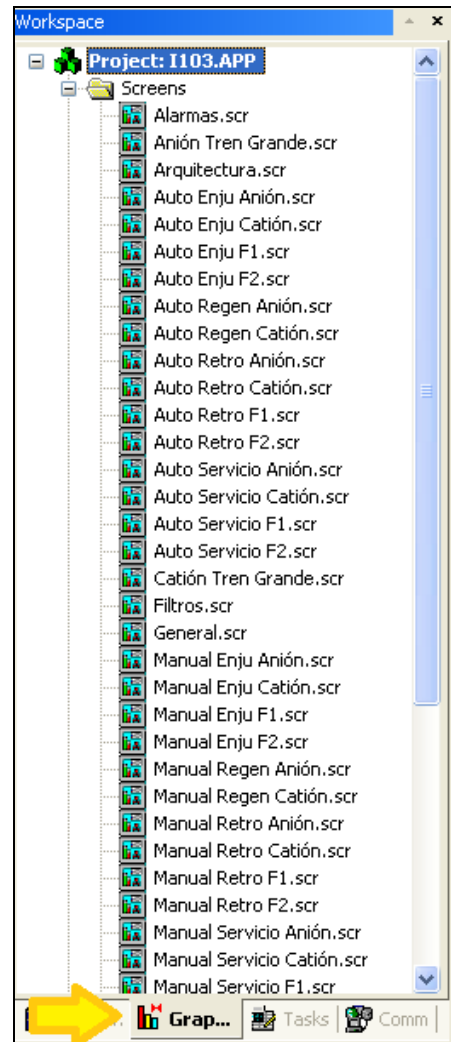
Al igual que en el programa del Unity Pro, se crearon en el Indusoft las variables tipo estructuras (*Classes*) mostradas en la Figura 4.53 a continuación.

	Name	Type	Description
1	Arranque	Boolean	
2	Parada	Boolean	
3	Estatus	Boolean	
4	Manual	Boolean	
5	Automatico	Boolean	
6	Arranque_Parada	Boolean	
*		Integer	
*		Integer	
*		Integer	
*		Integer	
*		Integer	

**Figura 4.53. Base de datos del Indusoft (Class).**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

Luego de ingresadas las variables en la base de datos, se procedió a crear cada una de las pantallas del operador. Esto se realizó en el *Workspace* (Espacio de trabajo) en la pestaña de *Graphics* y en el despliegue de la opción *Screen* se muestran las que fueron creadas (Ver Figura 4.54).



**Figura 4.54. Despliegue de las pantallas del operador (Screen).**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

Cada una de las pantallas creadas se mostrarán en el Apéndice D del presente proyecto. Por supuesto cada una de éstas poseen las configuraciones necesarias para controlar el funcionamiento de las rutinas involucradas.

Se puede escoger aquí la manera de manejar el proceso (Manual o Automático) y establecer los tiempos de cada rutina dependiendo del modo en el que se haya escogido trabajar.

En los procesos de los Filtros F-1 y F-2, Cation, Anión y Suavizador se puede escoger el tiempo de duración de cada rutina en automático.

Ahora en la Figura 4.55 se muestra una de las pantallas creadas (Pantalla del proceso del Anión), y se explicara cada uno de los componentes que posee, los cuales son similares en todas las demás pantallas y se describirán cada uno a continuación:

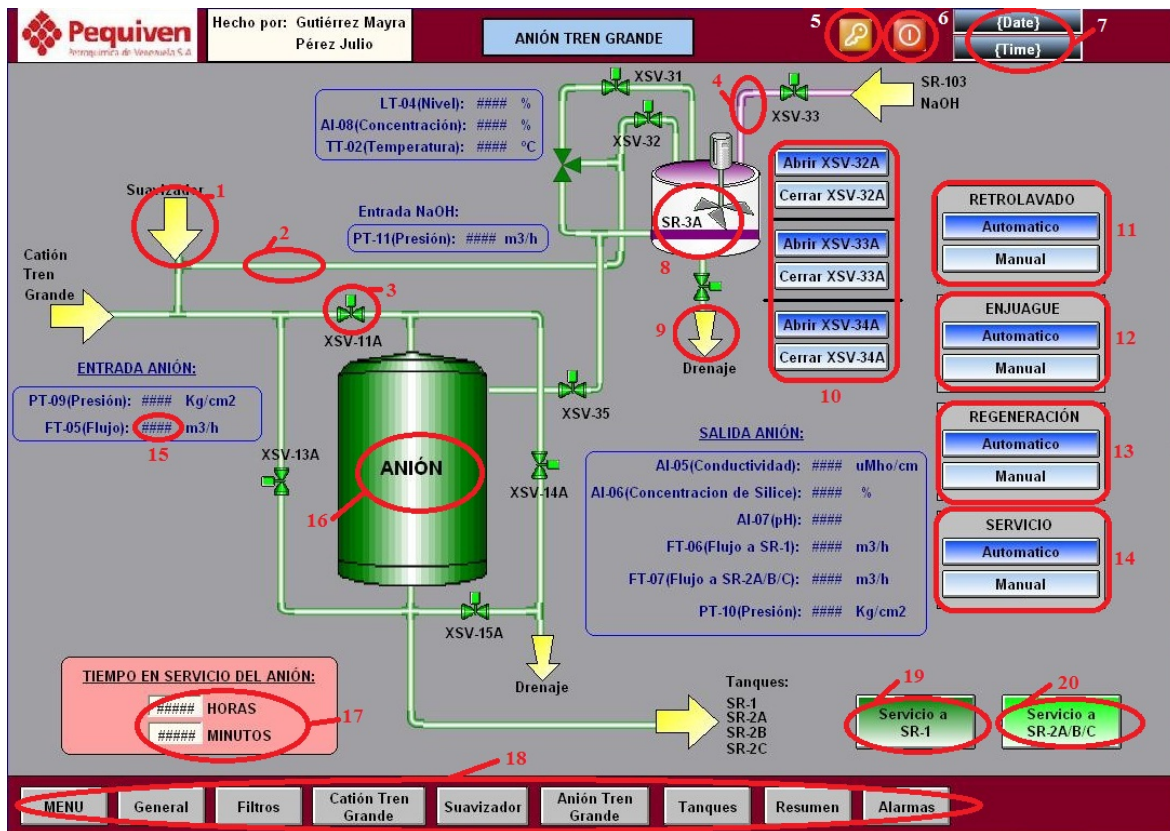


Figura 4.55. Ejemplo de los componentes de la pantalla (Anión).

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

1. **Flechas de direccionamiento:** Estas flechas indican de que parte del proceso procede la línea o hacia dónde va, y el sentido del flujo del líquido que por estas.
2. **Tubería de Agua:** de acuerdo con el código de colores estas líneas deben ser de color verde. Haciendo analogía a esto, se colocan del mismo color en la pantalla.



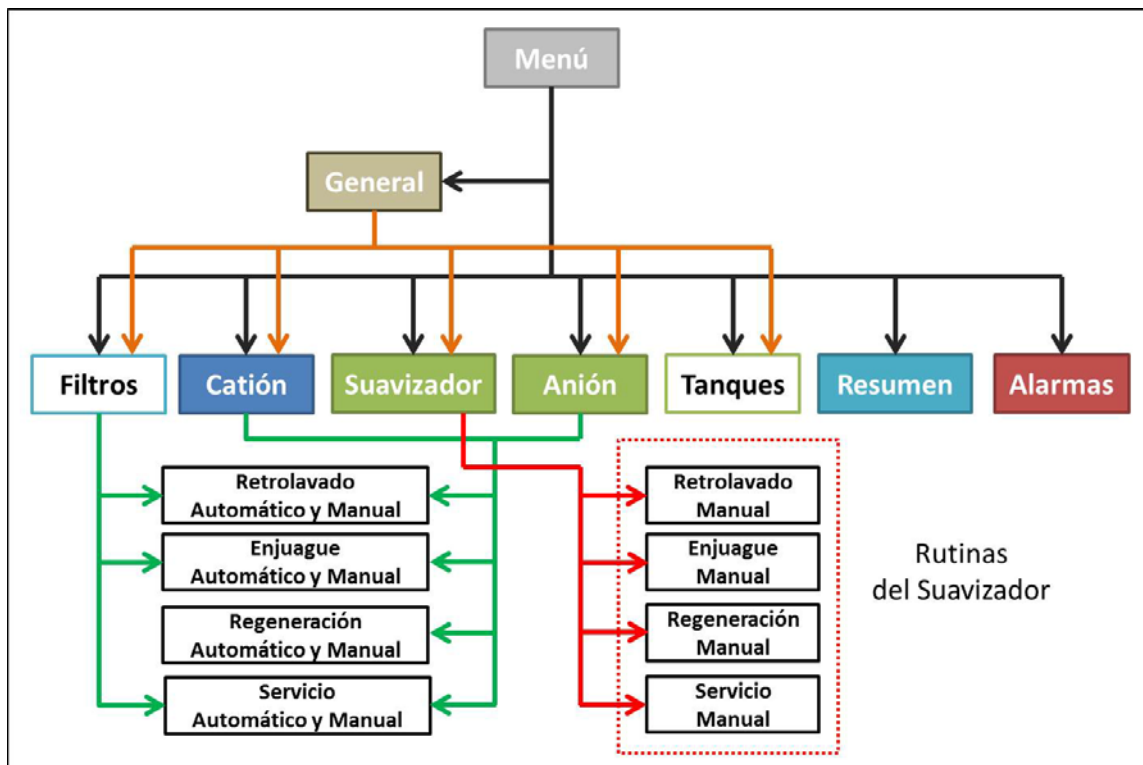
3. **Válvula:** esta se encuentra en la librería del Indusoft, de acuerdo con esto, ellas cambian de estado: Verde cuando está abierta (=1) y Roja cuando está cerrada (=0).
4. **Tubería de Soda Caustica:** Está según el código de colores utilizado, se realizara de color Violeta o Morado. En el caso del Ácido Sulfúrico la tubería es color naranja y para el aire de procesos la tubería es azul (esto se poder ver en el apéndice D del presente proyecto).
5. **Botón Log On:** Con este botón se ingresa un usuario a la aplicación, en este caso se especifican 3 niveles de usuario: Invitado, Operador e Ingeniería:
  - **Invitado:** Solo se le permite ver las pantallas principales: General, Cation, Anión, Suavizador, Tanques. No tiene permitido realizar modificación alguna.
  - **Operador:** Este puede desplazarse por todas las ventanas, abrir y cerrar las válvulas y manejar los tiempos de cada rutina en automático y manual.
  - **Ingeniería:** Este usuario se puede desplazar por todas las pantallas, además puede modificar las figuras, y las variables. Y agregar lo que le parezca conveniente. Esta especialmente realizado para el personal de mantenimiento de la empresa.
6. **Botón Log Off:** Simplemente se trata del botón encargado de detener la aplicación.
7. **Display de Fecha y Hora:** Se encuentra en la librería del programa, y directamente se conecta con la Fecha y la Hora que contiene el computador donde habita las pantallas del operador.
8. **Tanque de depósito de NaOH:** En este se realiza la dilución de Soda Caustica. El color del tanque está de acuerdo a la carta de colores y el nombre es que se le da en planta. Posee un agitador para la dilución.
9. **Flecha de Drenaje:** Esta indica la dirección de los líquidos residuales en el caso de las rutinas de enjuague, retrolavado y regeneración.
10. **Botones de abertura y cierre de las válvulas asociadas al Tanque SR-3A,** indicando con estas el ingreso de Soda Caustica al tanque, de Agua para la dilución y el envió de esta mezcla al filtro aniónico para la regeneración.
11. **Botones para la rutina de retrolavado:** En este caso el botón *Automático* despliega una pantalla donde se podrá indicar el tiempo que llevara este proceso, de



acuerdo a los requerimientos dados por Pequiven, de igual manera al finalizar la configuración en automático de las otras rutinas asociadas (en esta caso Regeneración, Enjuague y Servicio) se pulsa el botón *Ejecutar* y todas estas se realizarán continuamente. El botón *Manual* despliega una pantalla donde se le da la orden de empezar el proceso a través de un botón (Ejecutar) y otro para finalizarlo (Parada). En cualquiera de los dos casos se activarán las válvulas XSV-13A y XSV-14A, las cuales indican el flujo del líquido. Las otras válvulas permanecerán cerradas durante esta rutina.

12. **Botones para la rutina de enjuague:** Al pulsar el botón *Automático* se abre una nueva ventana donde se introduce el tiempo que necesita esta rutina. El botón *Manual* se maneja de igual manera que en el punto anterior. En manual o automático se activarán las válvulas XSV-11A y XSV-15A.
13. **Botones para la rutina de regeneración:** Se configura de la misma manera que en el punto anterior para automático y manual, y las válvulas que se abren son la XSV-35 y XSV-15A.
14. **Botones para la rutina de servicio:** Con el botón *Automático* se despliega una pantalla con un botón de *Parada* el cual se usa para detener el proceso continuo si se requiere. Pulsando *Manual* se maneja igual que en las anteriores. Con un *Ejecutar* y con un *Parada*.
15. **Campo de Dato:** Estos símbolos numerales, al asociársele un elemento de entrada/salida (opción que se encuentra en la barra de herramientas Indusoft) se podrá visualizar una señal asociada a este, respectivamente las mostradas en la figura están asociadas con los instrumentos que se proponen estén en campo.
16. **Anión:** Este equipo es un filtro aniónico, el cual se encarga de una fase de la desmineralización del agua. El color del diseño es el mismo del que se encuentra en campo. En el caso del Cation es azul, y el Suavizador verde por la misma razón. Los filtros se pintaron de un color plateado para que se notara en el diseño profundidad en los mismos, pero en campo estos son blancos. El diseño de los tanques si coinciden con los de campo y con el código de colores respectivo.

17. **Tiempo de servicio del Anión:** este cuadro presenta la cantidad de horas y minutos que el equipo lleva en servicio, esto para conocer el tiempo en que nuevamente se le realizara mantenimiento.
18. **Barra de Menú:** Esta barra posee una serie de botones que permite desplazarse por todas las fases del proceso. En la figura 4.56 se muestra un diagrama de los accesos que estos dan y las opciones que se dan en cada pantalla en cuanto a desplazamiento. La flecha negra indica el sentido, la amarillo las opciones a las que se puede ir desde esta pantalla, e igual con las rojas.



**Figura 4.56. Diagrama del desplazamiento de las pantallas.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

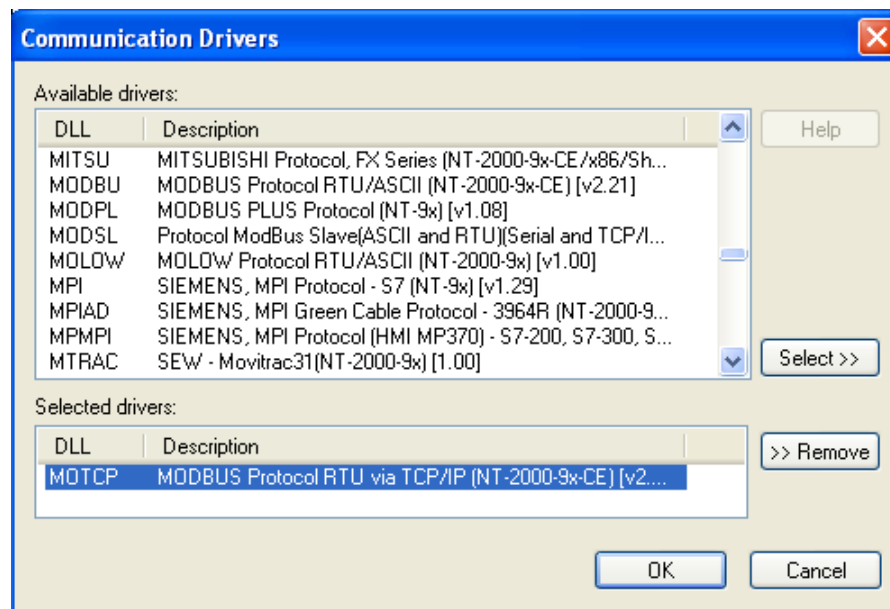
19. **Botón servicio a SR-1:** Este activa el envío de agua hacia el Tanque SR-1 accionando la válvula XSV-12A que se encuentra en la pantalla de *Tanques*.
20. **Botón servicio a SR-2A/B/C:** Envía agua hacia los demás tanques activando la válvula XSV-16A en la pantalla *Tanques*.

Finalmente cabe destacar que los colores utilizados para la barra inferior y superior fueron elegidos al azar, tomando en cuenta que deben ser colores agradables a la vista del operador, y el personal que estará en contacto con estas pantallas, de igual manera el fondo de todas las pantallas es de color gris, también por especificaciones dadas por el personal de Automatización y Control de la Gerencia Técnica de Pequiven Morón.

#### 4.3.2. Comunicación del IHM con PLC Modicon Quantum

Finalmente luego de tener todos los detalles de las configuraciones y creación de las pantallas del operador, se prosiguió a configurar la comunicación con el PLC.

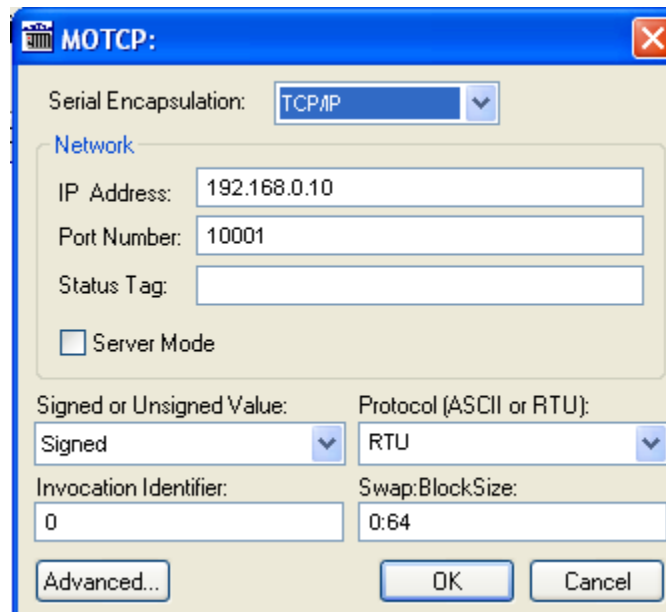
La comunicación del PLC Modicon Quantum con el IHM Indusoft será a través de una red Ethernet TCP/IP. En la pestaña *Comm* del *Workspace* se despliegan todas las opciones, en este caso se escogió la comunicación por *drivers*, dando clic derecho sobre esta carpeta y se eligió la opción *insertar* donde se despliega la ventana mostrada en la Figura 4.57 y allí se muestra la opción correspondiente, la cual está de acuerdo con el tipo de comunicación y el PLC usado.



**Figura 4.57. Ventana de comunicación por Drivers.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J.

En la misma carpeta *Drivers*, en la subcarpeta creada llamada en este caso MOTCP al hacer clic derecho y escoger la opción *settings*, se despliega la pantalla donde se especifican los parámetros de la conexión, como la dirección IP, el tipo de conexión, entre otros. En la Figura 4.58 se observa esta ventana. Estos parámetros deben ser correspondientes a los configurados en el software Unity Pro.



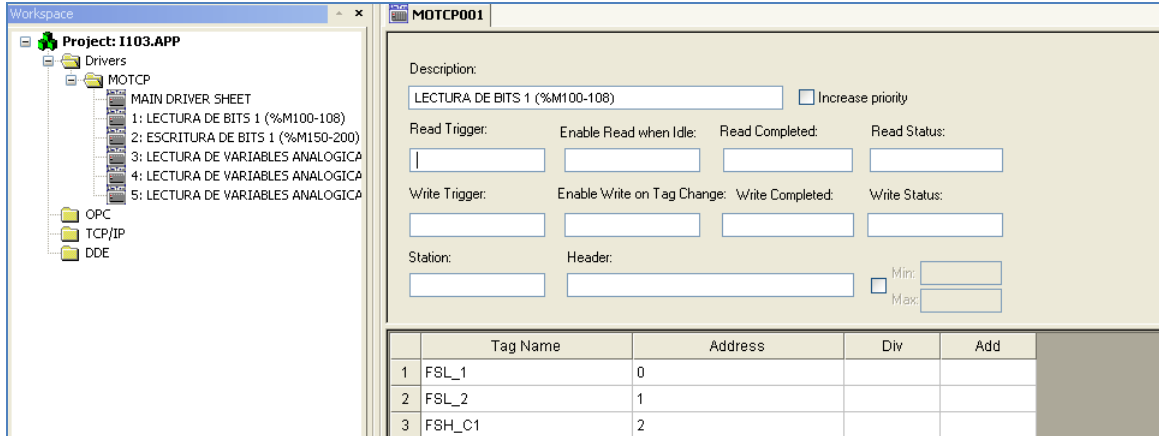
**Figura 4.58. Ventana de configuración del driver de comunicación.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

Ahora con estas configuraciones se procedió a crear las hojas de trabajo del driver, lo cual se logró dando clic derecho en la subcarpeta MOTCP y escogiendo la opción *Insert*, así se fueron agregando cada una de estas, las cuales poseen las direcciones correspondientes a las traídas del PLC en los grupos seleccionados, tales como variables a ser leídas y la que son escritas, las variables booleanas y las análogas.

La figura 4.59 da detalle de lo mencionado en el párrafo anterior, se observa el despliegue de las *hojas de trabajo* creadas y el ejemplo de una de estas.





**Figura 4.59. Despliegue de hojas de trabajo y formato de hojas de trabajo.**

Fuente: Gutiérrez M. y Pérez J. (2013).

#### 4.4. Elaboración y actualización de planos.

El plano de instrumentación proporcionado por la empresa, posee errores con respecto a lo que hay en la instalación. Además para el diseño propuesto se modificó este totalmente, agregando los instrumentos propuestos y el juego de válvulas. Este plano se encuentra en el Apéndice E de este proyecto.

- D.T.I. DIAGRAMA DE PROCESOS AGUA DESMINERALIZADA (INST-103) EMISIÓN ACTUALIZADA.
- D.T.I. DIAGRAMA DE PROCESOS AGUA DESMINERALIZADA (INST-103) MODIFICADO PARA AUTOMATIZACIÓN.

Al momento de instalar el los equipos del nuevo diseño en la planta se necesita poseer especificaciones de los planos eléctricos que involucran la alimentación del PLC, sus módulos y los instrumentos de medición a utilizar.



En total fueron 8 planos, presentados a continuación:

- DISTRIBUCIÓN 120 VAC PARA PLC Y FUENTE 24 V.
- MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES (DAI54000).
- MÓDULO DE ENTRADAS ANALOGICAS AI1 (ACI04000 1).
- MÓDULO DE ENTRADAS ANALOGICAS AI2 (ACI04000 2).
- MÓDULO DE ENTRADAS ANALOGICAS AI3 (ACI04000 3).
- MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES A RELÉ DRA1 (DRA84000).
- MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES A TRANSISTORES DAO1 (DAO85300)
- MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES A TRANSISTORES DAO2 (DAO85300)

También para el montaje del PLC y sus módulos se necesita el plano de las borneras y el gabinete donde estos estarán posicionados. Este plano se anexará con el nombre de:

- GABINETE PLC Y BORNERAS.



## CONCLUSIONES

Ya con la culminación de esta investigación y alcanzando los objetivos planteados, se logran enunciar las siguientes conclusiones:

- Se determinó que hay escasa información disponible con respecto a los equipos instalados, las rutinas de trabajo de la planta y la instrumentación que posee, por lo que a la hora del diseño se dificultó conseguir esta para el proceso de desmineralización como por ejemplo presión máxima y mínima de entrada de los equipos, flujo máximo y mínimo a través de ellos, entre otros; los cuales tuvieron que establecerse haciendo analogías con la otra planta de desmineralización de agua (I-103A) existente.
- Se tomó en cuenta todo lo referente a la seguridad y mejora de las condiciones de trabajo del personal encargado del manejo de la planta en el diseño, mediante un sistema que permita un fácil manejo desde la cabina de control para evitar el contacto directo de los trabajadores de la empresa con los equipos y sustancias nocivas para su salud.
- Se creó una interfaz humano-máquina donde se encuentran todas las herramientas necesarias para un eficiente manejo de la planta, lo cual se desarrolló mediante el software Indusoft Web Studio, pero debido a la falta de un PLC físico no fue posible realizar la conexión con esta interfaz para demostrar su funcionamiento, por lo que para simular lo programado y emular casi a cabalidad las pantallas creadas en Indusoft se utilizó el software Unity Pro que brinda la posibilidad de crear pantallas de operador y la opción de conexión a un PLC virtual.
- Se recurrió a la norma ISA-20 para poder especificar los equipos necesarios en el diseño para plasmar de manera organizada la información que requiere un proveedor a la hora de establecer las necesidades de instrumentación del proyecto.



## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---



- Se actualizo y modifiko el plano de instrumentación prioritariamente, comparando con la realidad que se plasma en la planta y transformándolo, además de se realizó el de la instrumentación propuesta del nuevo sistema. También fue necesario el diseño de los planos de hardware del PLC incluyendo en estos los ámbitos necesarios para su puesta en marcha.



## RECOMENDACIONES

- Se propone implementar a la brevedad la automatización planteada en este proyecto y adquirir los software Unity Pro XLS e Indusoft Web Studio, para que se pueda disfrutar en el menor tiempo posible de los beneficios que ofrece el diseño propuesto.
- Se insta a revisar y sustituir los planos de instrumentación de la planta por los proporcionados en este proyecto. Esto permitirá tener una documentación actualizada de la planta.
- Se aconseja realizar una actualización; generar las especificaciones técnicas de los equipos que la componen, esquematizar las rutinas que se llevan a cabo y los valores que maneja, para así poder realizar un estudio más detallado de todas las variables involucradas en el proceso y poder tener información precisa sobre lo que sucede en realidad dentro de la planta, evitando la falta de información a la hora de realizar labores de mantenimiento.
- Se recomienda al personal de la Superintendencia de Automatización y Control de PEQUIVEN, hacer llegar a la empresa que gane la contratación, la información suministrada con este trabajo especial de grado para la implementación del diseño propuesto.
- Se sugieren obras civiles para la recuperación de los espacios que están deteriorados por los químicos que se manejan en esta instalación, como por ejemplo el piso donde se encuentran los tanques de dilución de ácido sulfúrico y el de soda cáustica que han sufrido daños ocasionados por el ataque constante de estas sustancias corrosivas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Descripción de Procesos Servicios Industriales. (2010) Gerencia Técnica. Morón. Pequiven.

[2] Reseña Pequiven. Morón. Pequiven.

[3] ING. SALAZAR TIBISAY (2008) Servicio de Suministro, Instalación y Configuración del Nuevo Sistema de Control para las Instalaciones 105D, 111B, y 103. Morón. Pequiven.

[4] Proyecto planta de agua desmineralizada, instalación 103A – Pequiven Morón. Hytek Ingeniería C.A. Morón. Pequiven.

[5] BALESTRINI A., MIRIAM. (2003) Cómo se elabora el proyecto de investigación (7ma Edición). Caracas, Venezuela: Consultores Asociados.

[6] CANALES F., ALAVARADO E., PINEDA E. (2002), Metodología de la investigación, México: Limusa.

[7] SIERRA BRAVO, R. (2002). Técnicas de Investigación Social. Teoría y Ejercicios, 14° Edición, Madrid: Thomson.

[8] OGATA K. (1998). Ingeniería de Control Moderna, 3ra Edición. Mexico: Prentice Hall.

[9] VIGNONI J, (2002). Control de Procesos, Instrumentación y Comunicaciones Industriales.



[10] ESTUARDO S. (2010) Estudio e implementación de sistema de control de una planta de tratamiento de agua, para uso en calderas de alta presión, en generación de energía eléctrica. Trabajo realizado para obtener el título de Ingeniero Electricista, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

[11] VILLARROEL N. (2010) Diseño de un sistema de control y supervisión para la Unidad 770 de una planta de MTBE. Trabajo realizado para optar por el título de Ingeniero Electricista, en la Universidad de Oriente Nucleo Anzoategui.

[12] VERONICA P. (2008) Evaluación del sistema de generación de agua desmineralizada de la planta de tratamiento de aguas blancas para la alimentación de las calderas de una cervecería. Trabajo especial de grado presentado ante la Universidad Rafael Urdaneta para optar al Título de Ingeniero Químico. Maracaibo.

[13] CREUS A. (1999) Instrumentación Industrial, 6ta edición. Colombia: Editores Alfaomega.

[14] Manual Unity Pro (2008). Instituto Schneider Electric de Formación. España.

[15] ARAUJO L. (2011) Manual de Indusoft Web Studio. Eleinca CA.

[16] Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments (Aprovado en 2001). ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society. Estados Unidos.

[17] Proceso de producción de Agua Desmineralizada Inst. I-103. Manual de Operación. Morón. Pequiven.

[18] Instrumentation Symbols and Identification – 1984 (R1992). ANSI/ISA-S5.1. Estados Unidos.



- [19] Código de colores para tuberías y equipos. Petroquímica de Venezuela, S.A.
- [20] Carta de colores para líneas. Gerencia de la seguridad de los procesos, identificación de líneas y equipos. PDVSA.
- [21] Carta de colores para tanques, recipientes, equipos y estructuras. Gerencia de la seguridad de los procesos, Identificación de líneas y equipos. PDVSA.
- [22] Modicon Quantum Automation Series. Hardware Reference Guide. Telemecanique. Schneider Electric. 2004.
- [23] Quantum with Unity Pro Discrete and Analog I/O. Reference manual. Telemecanique. Schneider Electric. 2004.
- [24] Modicon Quantum with Unity Ethernet Network Modules. User Manual. Telemecanique. Schneider Electric. 2004.
- [25] Unity Pro Lenguajes y Estructuras del Programa. Manual de Referencia. Schneider Electric. 2007.
- [26] SERVICIO: INENTSE\_04. Manual de Indusoft Web Studio. 2011.
- [27] Users Guide and Technical Reference Manual. Indusoft Web Studio v6.1. 2005.
- [28] VBScript Reference Manual for Indusoft Web Studio. 2007