

AUTOMATIZACIÓN DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO

LEONARDO FABIO GARCIA SANCLEMENTE

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

AUTOMATIZACION DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO

LEONARDO FABIO GARCIA SANCLEMENTE

**Pasantía para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

**Director
HECTOR FABIO ROJAS RODRIGUEZ
Ingeniero Eléctrico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electrónico

Ing. JYMMY TOMBE ANDRADE

Jurado

Ing. JUAN CARLOS MENA

Jurado

Santiago de Cali 30 de Noviembre 2006

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia, a mis amigos y a mi novia; pero especialmente a mis padres que son quienes más han luchado para que yo salga adelante.

Gracias mamá y papá por haber hecho tantos sacrificios para hacer realidad mi sueño de ser ingeniero electrónico, por darme apoyo cuando más lo he necesitado y por brindarme la confianza de saber que cuando uno se propone metas en la vida las puede alcanzar.

¡Solo me queda decirles que mis triunfos serán sus triunfos...!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas las cosas buenas que me ha dado, salud, amor, familia, amigos y mucha felicidad.

A mis padres por ser los mejores del mundo y por darme la confianza, los medios y el apoyo para poder lograrlo.

A mi hermana por tenerme toda la paciencia del mundo y ayudarme en los momentos en que más lo he necesitado.

A mi novia por estar junto a mi y brindarme su apoyo incondicional, por darme su amor y comprensión para tenerme enfocado y con ánimos de hacer las cosas lo mejor posible.

A mi familia por todo su apoyo y compañía.

Al ingenio Castilla Industrial por permitir el desarrollo de mi proyecto de grado en sus instalaciones, igualmente a todos mis compañeros de trabajo: Heber Velásquez, Javier Feijo, Manuel Zavala, Héctor Tez, Javier Manco y Wilmer Lerma, con los cuales aprendí muchas cosas y compartí momentos agradables.

A Juan Carlos Castillo por tener la paciencia y la dedicación de resolverme todas las inquietudes que surgieron durante la realización del proyecto. Gracias también por darme ánimo en los momentos en que más lo necesitaba y por tratar en tan poco tiempo de enseñarme todo lo relacionado con la instrumentación y automatización de la refinería del Ingenio Castilla Industrial.

A mi director de proyecto Ingeniero John Jairo Rodríguez, que me colaboró facilitándome los medios y recursos necesarios para la culminación del proyecto.

A mi asesor académico Ingeniero Héctor Fabio Rojas que ha sido una guía en mi educación universitaria y un apoyo en la culminación de mi proyecto.

A la Universidad Autónoma de Occidente y a todos sus docentes que me ofrecieron sus conocimientos, los cuales aprecio y seguiré enriqueciendo a lo largo de mi vida profesional.

A todos los anteriores y a los que en algún momento han pasado por mi vida y me han enseñado algo de la suya. ¡Muchas gracias...!

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 ANTECEDENTES	22
2. JUSTIFICACION	24
3. OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVO GENERAL	25
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
4. MARCO TEORICO	27
4.1 AUTOMATIZACIÓN	27
4.2 PARTE OPERATIVA	27

4.3 PARTE DE MANDO	28
4.4 EL PLC	28
4.5 COMUNICACIONES INDUSTRIALES	29
5. METODOLOGIA	30
5.1 CRONOGRAMA	33
6. INGENIO CASTILLA INDUSTRIAL	34
6.1 MISIÓN	34
6.2 VISIÓN	35
6.3 PRODUCTOS	35
6.4 ELABORACIÓN DEL AZUCAR BLANCO	36
6.5 ELABORACIÓN DEL AZUCAR REFINO	36
6.6 POLÍTICA DE CALIDAD	37
6.7 GESTIÓN AMBIENTAL	37
6.7.1 Agua de Recirculación	37
6.7.2 Agua a Tratamiento	39

6.7.3 Agua con Grasa.	39
7. AUTOMATIZACIÓN DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO	40
7.1 FILTROS DE LECHO PROFUNDO	40
7.1.1 Datos generales.	41
7.1.2 Descripción de componentes.	41
7.1.3 Características constructivas	43
7.1.4 Descripción del proceso.	44
7.1.5 Finalidad.	46
7.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	46
7.3 PROPUESTA TÉCNICA	48
7.3.1 Descripción general del sistema.	48
7.3.2 Sistema ControlLogix 5000.	49
7.3.3 Características del Sistema ControlLogix 5000	50
7.3.4 Procesadores ControlLogix.	53
7.3.5 Redes de comunicación.	54

7.3.6 Software de programación RS Logix 5000.	56
7.3.7 Software de monitoreo RSView 32.	57
7.3.8 RSView32 Works.	59
7.3.9 Software RsLinx.	59
7.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO	60
7.4.1 Instrumentación.	61
7.4.2 Identificación de las entradas y salidas del proceso	70
7.4.3 Tipo de módulos	74
7.4.4 Tipo de chasis.	81
7.4.5 Tipo de procesador.	82
7.4.6 Tipo de fuente	85
7.5 PLANOS	87
7.5.1 Planos P&I.	87
7.5.2 Planos eléctricos.	92
7.5.3 Planos de conexiones de los módulos.	94

7.6 GASTOS GENERALES DEL PROYECTO.	105
7.6.1 Gastos relacionados con el Hardware.	105
7.6.2 Gastos relacionados con el Software.	106
7.6.3 Gastos en Instrumentación.	107
7.6.4 Otros gastos	107
7.7 PROGRAMACIÓN	108
8. MANUAL DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO	109
8.1 PRIMERA ETAPA	110
8.1.1 Endulzado	110
8.2 SEGUNDA ETAPA	113
8.2.1 Filtración (operación normal).	113
8.3 TERCERA ETAPA	117
8.3.1 Drenaje del licor al final del ciclo.	117
8.4 CUARTA ETAPA	120
8.4.1 Desendulzado	120

8.4.2 Drenaje de agua dulce.	123
8.5 QUINTA ETAPA	125
8.5.1 Llenado con agua.	125
8.5.2 Entrada súbita de aire comprimido.	128
8.5.3 Drenaje parcial o lateral del filtro.	131
8.6 SEXTA ETAPA	134
8.6.1 Drenaje del agua de retrolavado.	134
9. EVALUACION FINAL DE LOS RESULTADOS Y BENEFICIOS	138
10. CONCLUSIONES	139
11. RECOMENDACIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	141

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma	33
Tabla 2. Entradas y salidas del proceso	70
Tabla 3. Características de los módulos digitales	75
Tabla 4. Características eléctricas del modulo	80
Tabla 5. Entradas digitales	95
Tabla 6. Entradas digitales	97
Tabla 7. Entradas Análogas	98
Tabla 8. Entradas Análogas	99
Tabla 9. Salidas Digitales	101
Tabla 10. Salidas digitales	103
Tabla 11. Salidas análogas	104
Tabla 12. Gastos en Hardware	105
Tabla 13. Gastos en Software	106
Tabla 14. Gastos en instrumentación	106
Tabla 15. Gastos directos	107
Tabla 16. Gastos directos	107
Tabla 17. Posición de las válvulas	111
Tabla 18. Posición de las válvulas	113
Tabla 19. Posición inicial de las válvulas	117
Tabla 20. Posición Inicial de las válvulas	120
Tabla 21. Posición inicial de las válvulas	123
Tabla 22. Posición inicial de las válvulas	125
Tabla 23. Posición inicial de las válvulas	128

Tabla 24. Posición inicial de las válvulas	131
Tabla 25. Posición inicial de las válvulas	134

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. PLC Micrologix 1500	29
Figura 2. Construcción de los filtros de lecho profundo	44
Figura 3. Construcción de los filtros de lecho profundo	45
Figura 4. Capas de gravas y carbón	46
Figura 5. PLC de gama alta	50
Figura 6. Módulos de E/S	52
Figura 7. Procesadores Logix55	54
Figura 8. Redes de comunicación	55
Figura 9. Válvulas de control	64
Figura 10. Válvulas manuales	65
Figura 11. Transmisor de flujo	66
Figura 12. Transmisor de flujo	66
Figura 13. Transmisor de presión	68
Figura 14. Manómetro	69
Figura 15. Válvula de seguridad	69
Figura 16. Conexión con fuente independiente	76
Figura 17. Conexión en serie	76
Figura 18. Conexión single-ended	77
Figura 19. Plano PID	88
Figura 20. Plano PID FLP 1	89
Figura 21. Plano PID FLP 2	90
Figura 22. Plano PID FLP 3	91

Figura 23. Esquema de fuerza y mando motor 1	92
Figura 24. Esquema de fuerza y mando motor 2	93
Figura 25. Modulo de entradas digitales 1756-IA32 Slot 1	94
Figura 26. Modulo de entradas digitales 1756-IA32 Slot 2	96
Figura 27. Modulo de entradas análogas 1756-IF8 single-ende Slot 3	98
Figura 28. Modulo de entradas Análogas 1756-IF8 diferencial Slot 4	99
Figura 29. Modulo de salidas digitales 1756-OW16I Slot 5	100
Figura 30. Modulo de salidas digitales 1756-OW16I Slot 6	102
Figura 31. Modulo de salidas análogas 1756-OF8 Slot 7	104
Figura 32. Posición de las válvulas	112
Figura 33. Posición válvulas	116
Figura 34. Posición de válvulas	119
Figura 35. Posición de válvulas	122
Figura 36. Posición válvulas	124
Figura 37. Posición de válvulas	127
Figura 38. Posición de válvulas	130
Figura 39. Posición de válvulas	133
Figura 40. Posición de válvulas	135
Figura 41. Posición de válvulas	137

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Marco teorico	142
Anexo B. Principales productos del ingenio castilla industrial	193
Anexo C. Programcion	221
Anedo D. Paper	322

RESUMEN

Se propone en este proyecto la Automatización con un PLC de los Filtros de Lecho Profundo ubicados en la Refinería de Azúcar del Ingenio Castilla Industrial, para mejorar la eficiencia del proceso al remover las partículas y flóculos que alcanzan a pasar de la etapa de flotación, y así aumentar la calidad del azúcar refinado convirtiendo a este Ingenio en uno de los más competitivos a nivel nacional.

El filtrado en lecho profundo es un proceso que consiste en hacer pasar un líquido o sustancia a través de varias capas filtrantes tales como arena, grava y carbón las cuales tienen diferentes grosores. Este proceso es generalmente el primero de toda la secuencia de purificado, es un trabajo mecánico que remueve todas las partículas suspendidas en el líquido, tiene la ventaja de que es sumamente económico, ya que requiere muy poco mantenimiento (cada dos años aproximadamente).

Los sólidos suspendidos presentes en el líquido serán capturados dependiendo de su tamaño (micronaje) por los medios filtrantes, de tal manera que se pueda obtener una sustancia libre de sólidos con un micronaje aproximado a 15 micras.

INTRODUCCIÓN

La automatización ha sido y seguirá siendo la mano derecha del hombre en la búsqueda de una operación eficiente que permita alcanzar una mayor productividad. Las empresas colombianas hoy se enfrenta a la necesidad de exigirse ser mas competitivas en un momento en que la globalización lo pide, son muchos los beneficios que trae consigo la automatización y cabe anotar algunos como son: la reducción de costos a través de un mejor control de producción, la mejora de la calidad empleando procesos mas repetitivos, la disminución de la intervención humana y con ello de la posibilidad de error, la minimización de daños causados a las piezas por el manejo manual de las partes y el aumento del nivel de seguridad entre otros.

Con esta aplicación tecnológica correspondiente a la automatización de los Filtros de Lecho Profundo deseo optar por el titulo de Ingeniero Electrónico y ayudar a que el Ingenio Castilla Industrial alcance ese nivel competitivo que requiere para seguir destacándose a nivel nacional como uno de los Ingenios con mayor reconocimiento y solidez.

En la producción de azúcar refinada se requieren de varios procesos de los cuales depende, la calidad, pureza y color del refino. Los Filtros de Lecho Profundo son parte indispensable y critica en el proceso de refinación de la azúcar, por esta razón se van a tratar brevemente los diferentes aspectos que intervienen en el funcionamiento de dicho filtro, así como otras operaciones que intervienen en el proceso de refinamiento de la azúcar.

A través de este proyecto se va a dar a conocer la necesidad de implementar un sistema de automatización con el fin de mejorar los procesos de refinamiento de la azúcar en el Ingenio Castilla Industrial. También se va a realizar el diseño de la automatización de dichos filtros mediante el uso de un PLC, para coordinar y controlar el proceso que se realiza en éstos.

Con la automatización de los filtros de lecho profundo el rendimiento de los mismos será más eficiente y confiable, pues se ahorrará más tiempo y se disminuirán las fallas, lo cual representa para el Ingenio una reducción de costos de producción y de mantenimiento.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que se va a resolver es el de mejorar la remoción de flóculos y partículas que normalmente no son retenidas durante el proceso de flotación, así como la disminución del tiempo en el que se realiza la etapa de filtrado, esto se lograra con la Automatización de los filtros.

En un mercado ampliamente competitivo, la presión del costo y los requerimientos de calidad conducen a la necesidad de tener una estrategia sólida en automatización de procesos que simplifiquen tareas permitiendo un resultado eficiente que satisfaga todas las necesidades del cliente.

Con el fin de evitar el tiempo perdido por el operario al controlar manualmente las válvulas y facilitar la implementación de mejoras en los filtros que se reflejan en la calidad del producto, se propone en este proyecto la automatización con un PLC.

Es necesario que los beneficios que trae consigo la automatización, como lo son, mejorar la productividad, calidad, seguridad, disminución de desperdicios, y la simplificación de las tareas de mantenimiento entre otros, se reflejen con la ejecución de este proyecto.

1.2. ANTECEDENTES

Como se ha visto, las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

Los países de mayor desarrollo, poseen una gran experiencia en cuanto a automatización se refiere y los problemas que ellos enfrentan en la actualidad son de características distintas a los nuestros. Por lo cual es necesario precisar correctamente ambas perspectivas.

Fue con el inicio de la Revolución Industrial, en la década de 1750, que comenzó a introducirse la automatización en la producción de bienes.

Hoy en día se está haciendo uso de la Automatización para la optimización de procesos productivos, un buen ejemplo lo encontramos en el sector agrícola de nuestro país más precisamente en los Ingenios Azucareros que están mejorando todos sus procesos para tener la oportunidad de competir a nivel mundial mejorando la eficiencia, la calidad del producto y disminuyendo los costos. En nuestro caso más específico nos referimos a una refinería de Azúcar. El Ingenio Castilla Industrial conociendo la necesidad de competir con otros Ingenios Azucareros se da a la tarea de crear una refinería de azúcar la cual tendrá una capacidad de 300 toneladas diarias. Se pretende ingresar al mercado de la azúcar refinada con un producto de muy buena calidad.

En la producción de azúcar refinada se requieren de varias etapas, entre las cuales se destaca la etapa de Filtración la cual es realizada por los Filtros de Lecho Profundo, de esta etapa dependen la pureza y el color del refino.

La utilización de los Filtros de Lecho Profundo para la producción de Azúcar Refinada, es única en el ámbito nacional, pero en países como Brasil ya se ha implementado en forma exitosa.

AGTECH del Brasil es la empresa encargada del diseño e ingeniería de detalle de la refinería de azúcar del Ingenio Castilla Industrial. Esta empresa de la cual es propietario el Ingeniero Químico Aurelio Bezerra es reconocida a nivel mundial por la utilización de Filtros de Lecho Profundo para la producción de Azúcar Refinada.

2. JUSTIFICACIÓN

La motivación principal de este proyecto es la utilización de las herramientas derivadas en el uso de redes de control industrial, diseño de controladores e instrumentación industrial para la automatización de los Filtros de Lecho Profundo de la refinería de azúcar del Ingenio Castilla Industrial con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y obtener mejores resultados en el producto terminado que logren satisfacer las necesidades del cliente.

Académicamente este proyecto es una guía clave para quienes quieran profundizar en este campo de aplicación de la electrónica, el cual trae consigo muchos beneficios para las empresas regionales y nacionales, y por ende se podrá aportar un granito de arena a la competitividad no solo de las empresas sino del país.

El desarrollo de este proyecto permitirá hacer extensiva la misión de la Universidad, ya que se podrá prestar ayuda a una empresa regional y con la optimización de sus procesos se incidirá en el incremento de la competitividad de dicha empresa.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control Automático para los Filtros de Lecho Profundo existentes en la refinería del Ingenio Castilla Industrial (actualmente en funcionamiento).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre los objetivos específicos cabe destacar:

Conocer todo acerca del funcionamiento de los Filtros de Lecho Profundo.

Identificar todas las etapas del proceso de filtrado.

Realizar diagrama de flujo para identificar las entradas y salidas del proceso.

Ubicar las diferentes tuberías con sus respectivas válvulas automáticas, electro válvulas, trasmisores y manómetros.

Organizar la secuencia en que se debe realizar el proceso de filtrado: inicio (endulzamiento), filtración, drenaje del licor, desendulzamiento, drenaje de agua dulce, retrolavado, drenaje lateral, retrolavado y expansión (repetición), drenaje del agua, nuevo ciclo: endulzamiento.

Hacer la programación de los filtros buscando mejorar la eficiencia del proceso.

4. MARCO TEORICO

4.1. AUTOMATIZACIÓN

La automatización de un sistema es un procedimiento mediante el cual se transfieren las tareas de producción, realizadas habitualmente por operarios, a un conjunto de elementos tecnológicos teniendo en cuenta las posibles eventualidades que se puedan producir.

En el pasado los sistemas automatizados eran sistemas cerrados que controlaban individualmente cada proceso individual de la instalación pero actualmente se tiende a sistemas abiertos que permitan optimizar el funcionamiento de toda la planta. Un sistema automatizado consta de dos partes principales, la parte Operativa y la parte de Mando.

4.2. PARTE OPERATIVA

Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores y preaccionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los detectores o captadores como fotodiodos y finales de carrera. Para más información ver anexo A.

4.3. PARTE DE MANDO

Suele ser un autómata programable (tecnología programada). Para que pueda existir una comunicación entre el operador y el sistema de control existen los elementos de salida de información y los elementos de entrada de órdenes.

El mando de los sistemas automatizados ha ido evolucionando con el avance de la tecnología.

La creación de los microprocesadores y el desarrollo de su capacidad de cálculo y almacenamiento de datos, ha permitido que la automatización de procesos coseche los buenos resultados obtenidos. Para más información ver el anexo A.

4.4. EL PLC

Un autómata programable industrial (API) o Programmable Logic Controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales ver figura 1.

Los procesos secuenciales son aquellos donde una misma combinación de señales o informaciones de entrada pueden dar una salida diferente según el orden en que se hayan sucedido los acontecimientos. Para más información ver anexo A.

Figura 1. PLC Micrologix 1500



4.5. COMUNICACIONES INDUSTRIALES

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores y otros controladores. Los procesos a automatizar acostumbran a tener un tamaño importante y este hecho provoca que exista una gran cantidad de cables entre el autómatas, los sensores y los actuadores.

Existen diferentes maneras de comunicar los diferentes dispositivos dependiendo de la complejidad de la red creada y/o el presupuesto destinado a su creación. Para más información ver anexo A.

5. METODOLOGÍA

Para la ejecución del proyecto y dando cumplimiento a los objetivos planteados se propone la siguiente metodología de trabajo:

- Consultar a través de diferentes fuentes todo lo relacionado con el proceso de refinación de la azúcar.
- Obtener información sobre procesos de automatización realizados en otras empresas donde se realizan procesos afines a la refinación de la azúcar. Recolectar dicha información.
- Escoger y adquirir los equipos adecuados para la automatización de los filtros de lecho profundo.
- El proyecto se inicia con los filtros ya construidos. El fabricante con base a los planos y diagramas de flujo se encarga de entregar instaladas todas las partes fijas de las, válvulas de seguridad, válvulas automáticas y medidores de flujo.
- El encargado del proyecto de automatización de los filtros de lecho profundo se encarga de adecuar e instalar los diferentes accesorios de las válvulas y medidores de flujo (actuadores, bobinas y posicionadores) los cuales son necesarios para el control y monitoreo del proceso.

- Se ubican e instalan los transmisores de flujo y presión.
- Se ubican e instalan los manómetros de presión.
- Con la ayuda de los diagramas de flujo se identifican las entradas y salidas del proceso.
- La ubicación del PLC ya esta definida por la empresa. Para la realización del proyecto, al estudiante en práctica se le facilita el software completo de ControlLogix 5000, RSLinx y RSView de la compañía Rockwell Automation.
- Se escogen las rutas para realizar el cableado.
- Se escoge el tipo de cable.
- Se hace una lista de las variables que se desean controlar y monitorear, se determina el tipo de entradas y salidas, si son digitales o análogas.
- Con base a la cantidad de señales que se tienen se procede a hacer los cálculos para determinar la cantidad de módulos, tipo de chasis y capacidad del procesador (memoria).
- Se realiza la configuración del software, se crea el nuevo proyecto y se configuran los módulos.

- Se realiza la programación en ladder para el control y monitoreo de los filtros con base a los planos secuenciales. Se debe encontrar la secuencia adecuada para que el proceso sea lo mas eficiente posible.
- Se realiza el supervisorio de control y monitoreo en RSView.
- Se configura el RSLinx para poder acceder en la red de control de la empresa.
- Se hacen pruebas de funcionamiento.
- Se hace una evaluación final de los resultados y beneficios obtenidos.
- Se elabora el documento final del proyecto.

5.1. CRONOGRAMA

Fecha de Inicio del proyecto: 28 de febrero.

Fecha de terminación del proyecto 27 de octubre.

m = meses.

Tabla 1. Cronograma

Actividad	Tiempo										
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Curso de autómatas programables dictado por el sena	■	■	■	■	■						
Recolección de información sobre filtros de lecho profundo	■	■	■	■							
Entrega de anteproyecto				■							
Corrección anteproyecto					■	■	■				
Curso RS LOGIX 5000 y RS VIEW por la empresa								■	■	■	■
programación de la secuencia del proyecto en ladder									■	■	
Entrega a los jurados de copias para revisión del informe final											■
Entrega del informe final											■

6. INGENIO CASTILLA INDUSTRIAL

Está ubicado al sur del valle geográfico del río Cauca. Aportando mas del 12.60% de la producción global de Azúcar de los ingenios azucareros del área y con una extensión total de 21.475 hectáreas, de las cuales el 63% esta bajo manejo directo de la compañía y el 37% restante son de contratos de proveeduría de caña.

Dos aspectos importantes diferencian el manejo de las tierras de la compañía de otros ingenios azucareros: la dispersión de las mismas que trae consigo diversidad de suelos y de condiciones meteorológicas, cuencas hidrográficas y subestratos acuíferos así como el área explorada en las laderas de la Cordillera Central la cual llega al 25% del área total.

6.1. MISIÓN

Satisfacer las necesidades de los clientes del mercado nacional e internacional, con productos de calidad derivados de la caña de azúcar, creando valor para la empresa, desarrollo de nuestros colaboradores y progreso en la comunidad del área de influencia.

6.2. VISIÓN

Ser para el año 2006, un grupo agroindustrial generador de valor, competitivo a nivel internacional, caracterizado por su orientación al cliente, con capacidad de proveer productos y servicios de calidad con mayor valor agregado, a través de altos niveles de productividad, el desarrollo integral de su gente, la optimización de la tecnología disponible, el respeto por el medio ambiente y alta capacidad de gestión.

6.3. PRODUCTOS

El Ingenio Castilla Industrial ofrece varios productos derivados de la caña de azúcar.

Entre los productos mas reconocidos destacamos el azúcar blanco, y ahora con la puesta en marcha de la refinería se logro obtener Azúcar Refinada de muy buena calidad, con un nivel de color y de turbiedad muy bajo.

Otro producto que ofrece el Ingenio es la miel de purga que es utilizada para diversas funciones, entre las cuales esta servir de alimento para el ganado bovino.

6.4. ELABORACIÓN DEL AZÚCAR BLANCO

La fabricación del azúcar es un proceso extractivo. En Castilla Industrial la materia prima básica es la caña de azúcar, que se cosecha en los campos a una edad que oscila entre los 12 y 14 meses. Es cortada en su totalidad manualmente y su alce es en un 90% mecánico y el resto en forma manual.

El transporte hacia la fábrica se hace utilizando tracto mulas y tractores de alta velocidad tipo Dumper. Existen en el campo patios de trasbordo en donde se pasa parte de la caña de los carros a la tracto mulas. El excedente de caña se almacena durante el día en estos patios para ser transportados a la fábrica. Se tiene así un suministro continuo de caña que sostiene la molienda durante las 24 horas del día.

Ya en la fábrica, parte de la caña alimenta directamente a la molienda mientras la otra espera en los equipos de transporte, para ser utilizada cuando la molienda la requiera. (Para más información vea el anexo 2 del CD “Proyecto Automatización de FLP en el Ingenio Castilla Industrial”).)

6.5. ELABORACIÓN DEL AZUCAR REFINO

El proceso de refinación tiene como objetivo aumentar la pureza de la sacarosa, y mejorar otras características tales como el color, la turbiedad y el contenido de cenizas.

Los procesos de refinación pueden ser tan variados como uno se quiera imaginar. Para cada producto el hombre ha desarrollado infinidad de métodos que le permiten obtener al final un producto mejor; y es ahí donde nace la importancia de la refinación, pues es independiente del mecanismo o proceso que se haya elegido, lo importante es lograr la separación de aquellas partes que lo hacen menos puro. Lo que determina finalmente el proceso a seguir, son las condiciones propias de cada industria y las características sociales, económicas y hasta culturales de cada planta en particular.

El azúcar refinado es la forma comercial más pura en que se consigue la sacarosa. Es un producto de altísima pureza, con un 99.9% de sacarosa. Para más información ver el anexo B.

6.6. POLÍTICA DE CALIDAD

Ofrecer productos y servicios de calidad para satisfacer a los clientes internos y externos, a costos competitivos, mediante el mejoramiento continuo de los procesos.

6.7. GESTIÓN AMBIENTAL

Con el tema de emisiones atmosféricas, el ingenio es coogenerador de energía a partir de combustibles renovables, para nuestro caso el bagazo, el cual es un residuo de la molienda. Así aprovechamos los residuos y contribuimos a la conservación de los combustibles renovables.

Otro residuo aprovechado por el Ingenio es la cachaza, que se utiliza como fertilizante orgánico en las suertes de caña. Además, es agregado a las aguas de riego para aumentar su efectividad. Otra gestión ambiental adelantada en Campo es el riego por ventana y goteo, el cual garantiza la cantidad de agua requerida por la plantación sin desperdicios, aumentando la productividad de la labor y disminuyendo el consumo innecesario de agua para el riego.

La mayoría de los residuos del ingenio son aprovechados o recuperados en otros procesos, y los ya en desuso se venden a clientes con certificados de disposición final ambiental aceptada, entre ellos las baterías, llantas, aceites, chatarra menor, lámparas fluorescentes, entre otros, para esto está la norma BSG 025.

Además, estamos en implementación de la norma ISO 14001 " Sistema de Gestión Ambiental ", para demostrar desempeño ambiental en nuestros procesos.

El ingenio cuenta con un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI).

6.7.1. Agua de Recirculación. Es el agua que se utiliza en el lavado de la caña de azúcar. Proviene de las aguas de cenizas de las calderas y agua de lavado principalmente. Esta agua pasa por una laguna de sedimentación, donde se depositan los sólidos y 2 lagunas facultativas, donde se degrada la materia orgánica. Posteriormente pasa a una laguna de maduración donde termina el proceso. Antes de utilizada nuevamente para el lavado se le adiciona cal para cuadrar el pH.

6.7.2. Agua a Tratamiento. Esta agua residual se genera de las actividades administrativas de la fábrica, y pasa a unos tanques de degradación de la materia para disminuir la carga contaminante, y remover mínimo el 80% de la inicial. Esta planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) está frente a la entrada de la fábrica.

6.7.3. Agua con Grasa. Para remover la grasa de las aguas residuales el ingenio cuenta con 2 trampas de grasas, que remueven el 80% de la grasa con proviene del las actividades de mantenimiento, donde haya involucrado grasas industriales o aceites.

7. AUTOMATIZACIÓN DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO

Con la automatización de los filtros de lecho profundo se va a mejorar la calidad del licor que proviene del proceso de clarificación, el cual trae consigo partículas o flóculos que aumentan el color y la turbiedad del azúcar refinada.

7.1. FILTROS DE LECHO PROFUNDO

El filtrado en lecho profundo es un proceso que consiste en hacer pasar un líquido o sustancia a través de varias capas filtrantes tales como arena, grava y carbón las cuales tienen diferentes grosores. Este proceso es generalmente el primero de toda la secuencia de purificación, es un trabajo mecánico que remueve todas las partículas suspendidas en el líquido, tiene la ventaja de que es sumamente económico, ya que requiere muy poco mantenimiento (cada dos años aproximadamente).

Los sólidos suspendidos presentes en el líquido serán capturados dependiendo de su tamaño (micronaje) por los medios filtrantes, de tal manera que se pueda obtener una sustancia libre de sólidos con un micronaje aproximado a 15 micras.

El equipo requiere de un retrolavado, en su etapa de limpieza es decir hacer pasar el agua en sentido inverso. Los filtros de lecho profundo son utilizados en diversos procesos industriales tales como plantas de tratamiento de agua, plantas químicas y en nuestro caso para la refinería del Ingenio Castilla Industrial.

7.1.1. Datos generales. El equipo está diseñado y fabricado especialmente para el Ingenio Castilla industrial, conforme a un proyecto exclusivo. Este consiste en un vaso cilíndrico vertical, con tapas tori esféricas, dimensionadas según norma ASME. Para la filtración del licor clarificado, licor a 65° Brix, presión mínima de diseño 5.17 BAR (75 PSI) A 100°C. Temperatura de operación de 75°C, gravedad específica del licor 1.27, viscosidad 15 CP. Material de construcción: acero inoxidable grado 304. Ver figura 2 y 3.

7.1.2. Descripción de componentes.

- **Manifold de distribución de licor y agua.** Conjunto de tuberías en forma de árbol, con tubo central y tubos menores, perpendiculares. Los tubos distribuidores tienen agujeros en todo su largo, localizados lateralmente. Esto es para que los chorros de los agujeros de licor no causen demasiada turbulencia sobre la capa del carbón, durante la operación. El manifold de válvulas sirve para la alimentación, lavado, desendulzado y retrolavado.
- **Tubo inclinado de drenaje del licor, durante la expansión con aire.** Este tubo permite ajustar el nivel del licor antes de la expansión con aire, necesaria para la limpieza.
- **Capa de carbón antracita.** Capa con espesor y dimensión de las partículas adecuadas para la filtración del licor. La uniformidad, dureza, granulometría y la densidad son críticas para la operación.

- **Capa de arena clasificada.** Arena con dimensión inferior al carbón, pero de densidad superior. Esto permite que durante el proceso de filtración permanezca por debajo de la capa del carbón, y que durante el lavado sea posible que, después de la expansión, ella regrese a quedarse en posición inferior al Antracita. Siguen 4 capas de Grava clasificada. Cada capa tiene dimensión más grande que la anterior. Actúan como soporte de la capa de la Arena.

- **Fondo falso.** Para retener arena y carbón que puedan pasar por las gravas se instala boquillas o crepinas fabricadas en acero inoxidable sobre el fondo perforado. La relación de boquillas por metro cuadrado esta definida para así tener una baja perdida de carga y una distribución del flujo del licor de modo que no permita formación de canales.

- **Fondo perforado.** Para sostener todo el conjunto de gravas, arena y carbón y para permitir el flujo de licor o agua. El área de los agujeros es dimensionada para el flujo de licor. Tiene cerca de 30% de área abierta sobre el área total.

- **Otros componentes.** Inyector de aire para el retrolavado, salida lateral del agua de lavado, sistema de control de seguridad, válvula de alivio de presión, ajustado para el valor de 24 PSI, sistema de aire para el retrolavado, flowmeter para el control y la automatización, válvula de control de flujo para la automatización, sistema de presostato para control de la presión.

7.1.3. Características constructivas.

- **Diámetro interior** 2,400 mm
- **Altura cilíndrica** 5,600 mm C/PIES
- **Espesor del cuerpo** 6,0 mm
- **Tampo torisferico – Espesor** 8,0 mm
- **Espesor del espejo** 8,0 mm
- **Refuerzos bocales** 6,0 mm
- **Refuerzos de los espejos** 8,0 mm
- **Boca de vista Ø** 20"

Figura 2. Construcción de los filtros de lecho profundo



7.1.4. Descripción del proceso. El licor flotado es enviado al tanque pulmo TK-01, que debe disponer de transmisor de nivel, para el control de la alimentación del FLP. Desde el tanque TK-1, el licor es bombeado para los FLP, a través de una bomba centrífuga, con presión suficiente para superar la altura manométrica, las pérdidas de carga y la presión máxima de operación del filtro (24 psi).

La filtración se procesa a través de la capa de carbón antracita, de una dimensión Al rededor de 2 a 3 mm. La gran superficie del carbón retiene la mayor parte de los flóculos por adherencia en función de las características de estos.

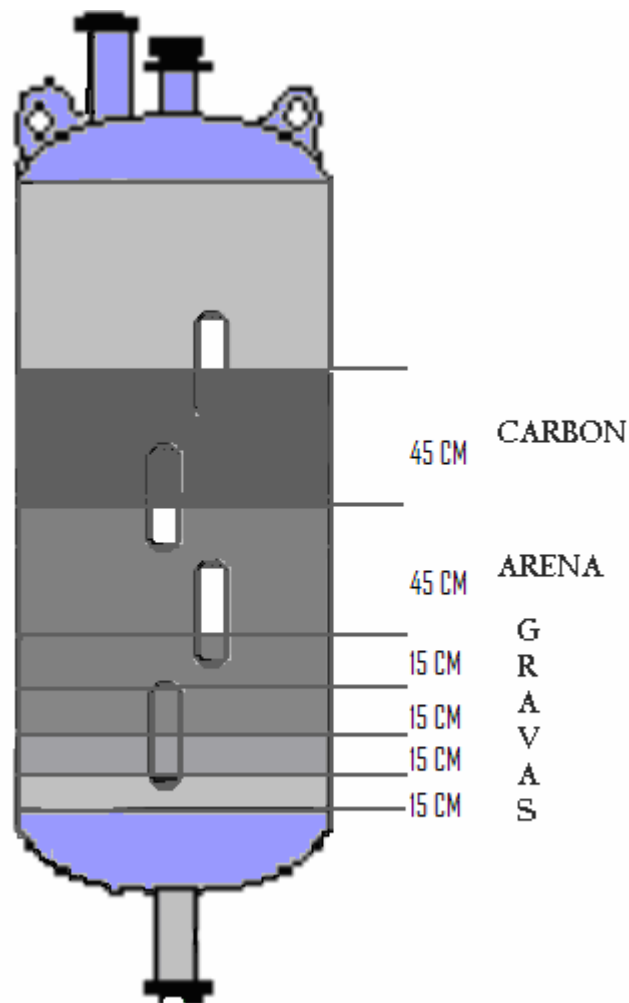
Figura 3. Construcción de los filtros de lecho profundo



Los flóculos con características de partículas que no son retenidas por la capa de carbón, se quedan atrapados en la siguiente capa que es la de arena esférica, con dimensiones inferiores al carbón, alrededor de 1.5 a 2 mm. Un sistema de distribución de licor permite que la precolación se haga sin canalizaciones. Al saturar la capacidad de retención de impurezas, se procede a la limpieza del filtro.

Las capas de grava tienen distintas granulometrías, el tamaño de la grava va aumentando de abajo hacia arriba y cada capa debe tener un diámetro uniforme. Ver Figura 4.

Figura 4. Capas de gravas y carbón



7.1.5. Finalidad. La finalidad de los filtros de lecho profundo es la filtración del licor flotado para la remoción de flóculos y partículas que normalmente no son retenidas por el proceso.

La característica de los flóculos hace que estos transfieran carga decolorante al licor, además de aumento de viscosidad por el precipitado de fosfato tri-cálcico. Estos generan el aumento de la turbidez, humedad final y el color del azúcar.

Se estima que en una muy buena fosflotación permita que salga cerca de hasta unos 50ppm (partículas por micra) de flóculos, lo que ya es suficiente para afectar la calidad del azúcar refinado y puede causar obstrucción en las columnas de resina o columnas de carbón.

La eficiencia de remoción de la turbidez debe alcanzar un valor alrededor del 80%.

7.2. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

En la producción de azúcar refinada en el Ingenio Castilla Industrial se plantearon las siguientes necesidades:

- Automatizar los filtros de lecho profundo.
- Facilitar al operario el control del proceso.
- Asegurar el funcionamiento adecuado de los filtros tras su uso prolongado.

- Adecuar la red de control para tener supervisión del proceso.
- Tener un buen respaldo técnico de las partes requeridas para el montaje.
- Realizar una programación amigable, para futuras mejoras.

7.3. PROPUESTA TÉCNICA

7.3.1. Descripción general del sistema. La propuesta está basada en un sistema ControlLogix 5000. Ver figura 5.

Al tener en cuenta las necesidades de expansión, interconexión, redundancia, capacidad de intercambio de módulos en caliente y la utilización en proyectos anteriores por el Ingenio Castilla Industrial, se sugiere la implementación de un sistema de control de la serie ControlLogix de Allen Bradley.

Las características de este controlador lo hace la solución ideal para aquellas aplicaciones secuenciales y continuas programables de rango alto

Adicionalmente a su flexibilidad, los controladores ControlLogix tienen la capacidad de comunicarse a través de la red local de información Ethernet TCP/IP, Remote I/O y DH+; permitiendo así un eficiente medio de monitoreo y

control desde una consola de operación, la cual puede ser un computador personal compatible.

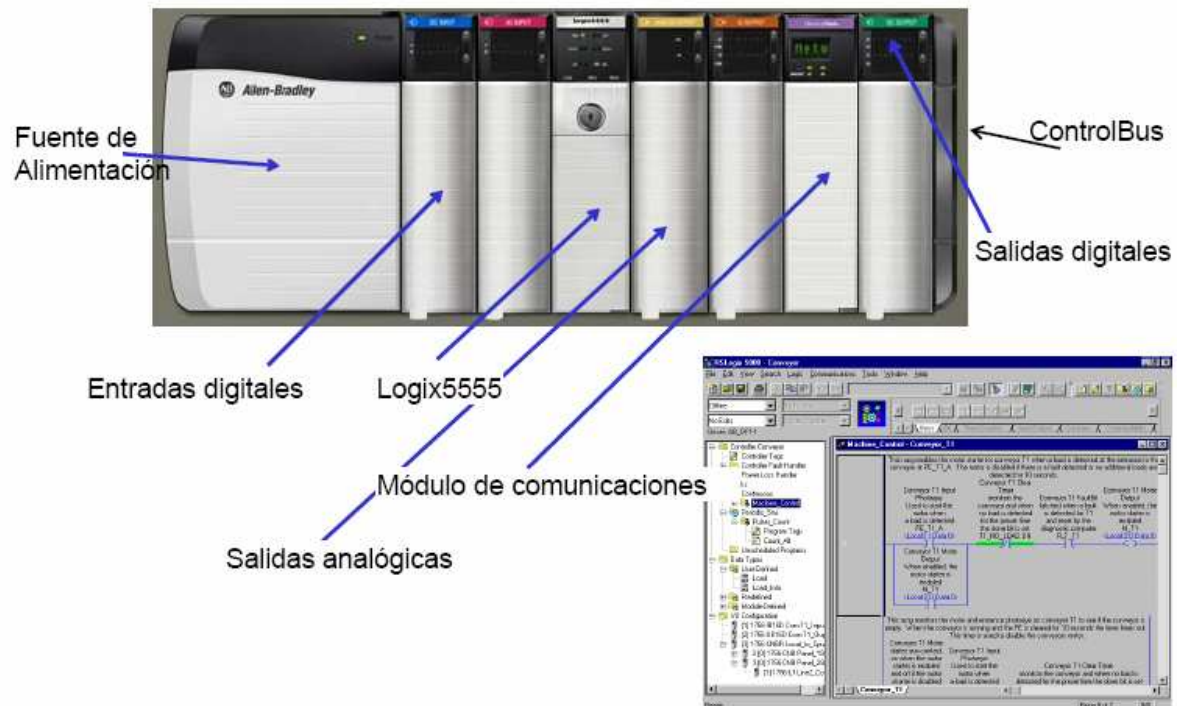
7.3.2. Sistema ControlLogix 5000. El controlador ControlLogix, con cuatro opciones de memoria en un rango de hasta 7.5 Mbytes, es compatible con exigentes aplicaciones de proceso y proporciona un procedimiento rápido de las instrucciones de control de movimiento.

Las opciones de memoria permiten especificar el controlador apropiado para la aplicación.

ControlLogix provee la capacidad de control, eficiencia en la red de comunicaciones, flexibilidad en la arquitectura distribuida, diversidad de módulos de entrada y salida y facilidad de integrar la información proveniente de otros subsistemas de control.

Figura 5. PLC de gama alta

PLC de gama alta: ControlLogix (1756)



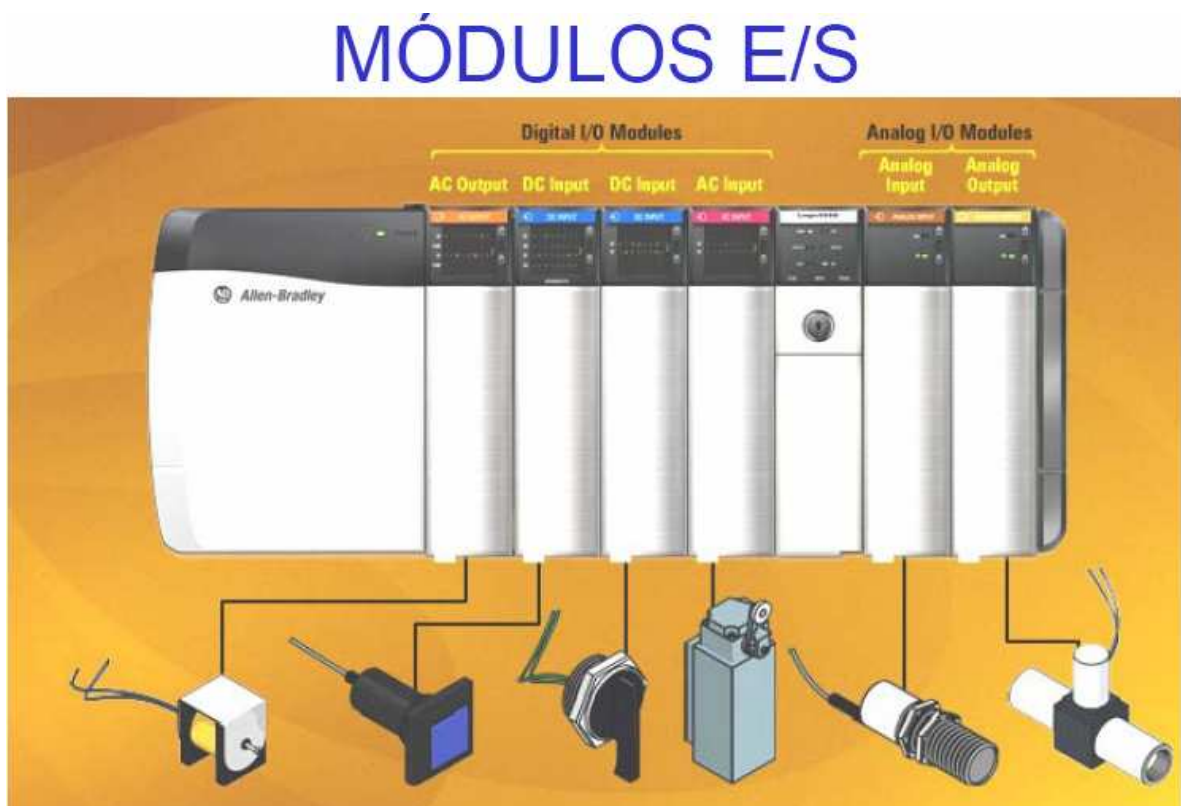
7.3.3. Características del Sistema ControlLogix 5000.

- El ControlLogix es un controlador de alto rendimiento y fácil de usar.
- Es un sistema multitarea que reduce el número de controladores requeridos. La resolución de problemas se realiza más rápidamente.

- Es posible activar, de manera diferente, múltiples tareas periódicas para lograr niveles más altos de rendimiento.
- Múltiples procesadores ControlLogix pueden residir en un solo chasis para futura expansión.
- ControlLogix usa el software de programación RSLogix 5000 para una máxima reutilización de los programas.
- Los datos de cada sistema ControlLogix se comparten fácilmente y más eficientemente mediante un intercambio de datos en tiempo real; se requiere menos tiempo de desarrollo y costos mas bajos de puesta en marcha.
- Una amplia gama de módulos de E/S analógicas, digitales y especiales para satisfacer las necesidades de su aplicación.
- Se pueden añadir módulos de comunicaciones según sea necesario, para una variedad de redes, EtherNet, ControlNet, DeviceNet, Foundation Fielbus, etc.
- Hay una memoria no volátil opcional de manera que los programas pueden guardarse sin batería.

- El sistema operativo flash actualizable en el campo asegura que siempre estará actualizado con las más recientes funciones sin tener que reemplazar el hardware. El controlador se puede actualizar fácilmente con la última versión de firmware mediante una descarga desde el sitio Web.

Figura 6. Módulos de E/S



7.3.4. Procesadores ControlLogix. La plataforma de control ofrece un método superior de control que coloca a las comunicaciones como núcleo del sistema a fin de aprovechar la potencia de procesamiento, flexibilidad y facilidad de uso. Ver Figura 7.

El ControlLogix es un procesador industrial altamente funcional que incluye entre otras las siguientes características:

- Múltiples procesadores en el Chasis-Coprocesamiento.
- Múltiples redes en el Chasis (Ethernet, ControlNet, DeviceNet, DH+, etc.).
- Capacidad de control Ladder, Secuencial, y Regulatorio (PID).
- Direccionamiento simbólico almacenado en el procesador.
- Tiempo de ejecución menores de 0,07 milisegundos.
- Nueva tecnología de chasis con bus en paralelo CONTROLBUS, utilizando el modelo productor consumidor que la libera a la CPU de carga de comunicaciones con los módulos.
- Alta funcionalidad y capacidad de diagnósticos.
- MTBF altos, mayores a 1000000 horas.

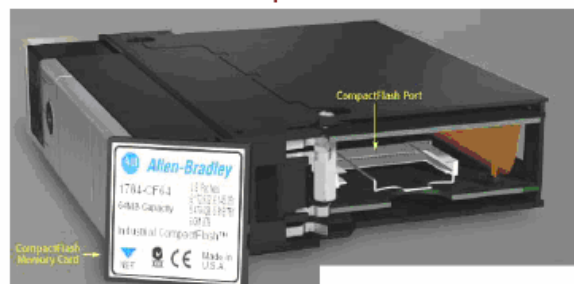
- Memoria modular expandible a 2 MB.
- Capacidad de manejo de hasta 120000 entradas digitales y/o 4000 variables análogas.

Figura 7. Procesadores Logix55

Los procesadores Logix55xx



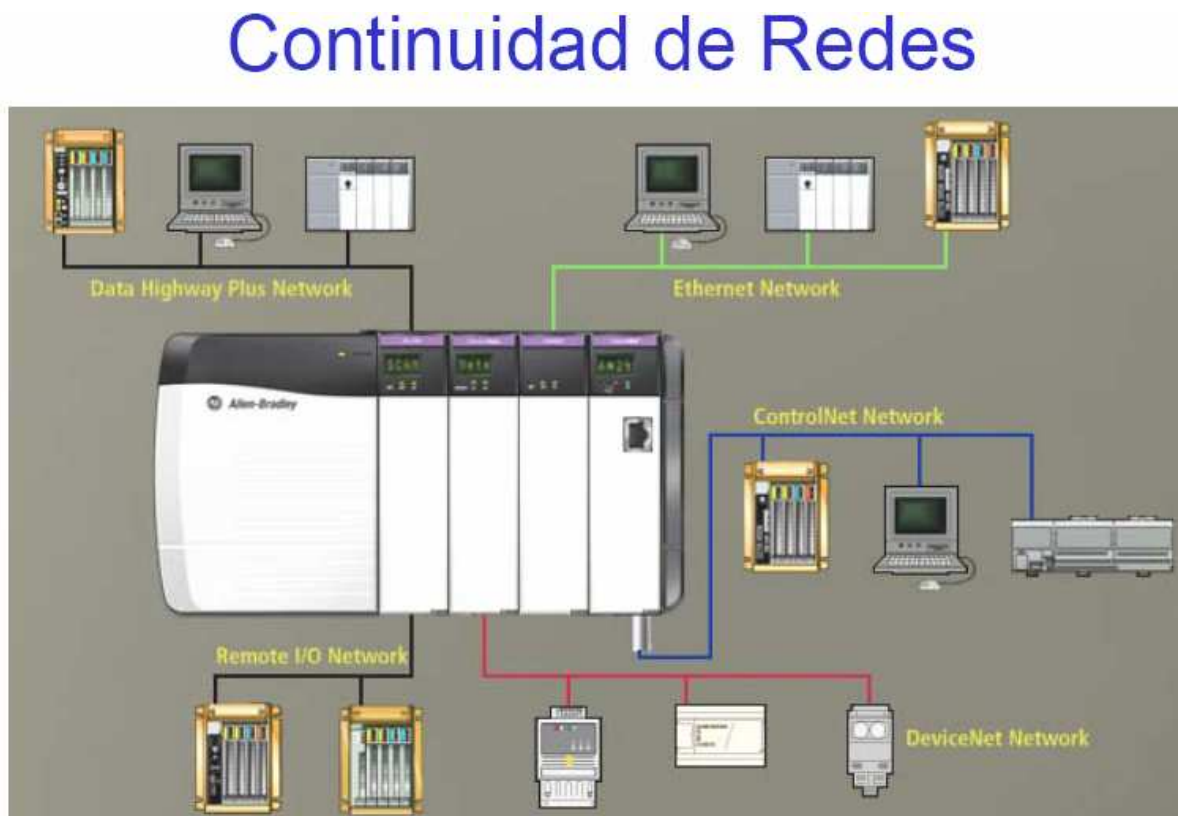
- Firmware adecuado al entorno de programación
- Logix 5550
 - 160Kb, 512Kb, 1Mb, 2Mb
- Logix 5555
 - 1.5Mb, 3.5Mb, 7.5Mb
 - Ejecución como flotante más rápida
 - Soporte de Redundancia
 - Versión LogixOS v6.0 y posterior
- Logix serie 6xxx
 - Memoria en Compactflash



7.3.5. Redes de comunicación. El alto rendimiento de la plataforma ControlLogix se debe en parte al backplane ControlLogix, el cual funciona como una red NetLinx muy rápida. En los procesadores ControlLogix, las E/S y los módulos de

comunicaciones están dotados con inteligencia para funcionar como nodos independientes en dicha red. Como consecuencia, se pueden combinar múltiples procesadores, módulos de comunicación y E/S sin restricciones. No se necesita un procesador para conectar en puente o encaminar las E/S, y a medida que va creciendo el sistema, la red permite distribuir el control a bastidores adicionales. Ver figura 8.

Figura 8. Redes de comunicación



El sistema de control distribuido ControlLogix soporta varias redes de información:

Ethernet 10 MB/s: esta red es utilizada en la arquitectura para conectar los controladores a las estaciones de operación y manejo de información.

Controlnet: es la red de control de los procesadores ControlLogix. Trabaja a una velocidad de 5 millones de bits por Segundo.

DH+/RO: Son redes de control con bastante base instalada en el Mercado. Trabajan a 234000 bits por segundo.

La red ControlNet esta basada en el modelo de alta eficiencia (Productor-Consumidor), en el cual se elimina la necesidad de tener un maestro para el manejo de la red, pues son los módulos presentes en la red los que producen y consumen la información.

7.3.6. Software de programación RS Logix 5000. RSLogix 5000 es un paquete de programación para procesadores ControlLogix, para programar operando en el ambiente Microsoft Windows NT.

La funcionalidad del Software incluye una fácil configuración grafica de entradas-salidas, diálogos, herramientas para configuración de movimiento.

Proporciona un manejo rápido y sofisticado de los datos, utilizando estructuras definidas en arreglos para el usuario permitiendo crear una estructura definida en

la memoria de la tabla de datos. Facilita el direccionamiento de los métodos de entradas-salidas.

Permite diagnosticar y monitorear el Status del programa en el Controlador verificando características de la configuración programada.

7.3.7. Software de monitoreo RSVIEW 32. El paquete de software que se utilizará para la adquisición de datos es el RSVIEW32 de Rockwell software, el cual consta de un conjunto modular de control de datos, control supervisor, manejo de información y estado de variables. Este producto satisface las demandas de aquellas aplicaciones de tiempo real que requieren de interacción de operador y las actividades de la planta.

El RSVIEW32 es un sistema de interfase gráfico de 32 bits basado en Windows NT, diseñado para animar y modificar valores de datos. RSVIEW32 anima datos de controladores programables como por ejemplo: diagramas de barras, cambios de color, barras deslizables interactivas y caracteres. RSVIEW32 usa su propio protocolo de comunicaciones para comunicarse con los controladores de Allen Bradley y emplea las últimas tecnologías para el intercambio de información tales como: DDE, OPC y ACTIVE X lo cual lo convierte en un paquete totalmente abierto. En la actualidad es el único paquete de este nivel que incluye en sus herramientas de desarrollo la opción de programar en Visual Basic.

RSVIEW es un paquete integrado para desarrollar y correr aplicaciones de interfaces hombre máquina que permiten automatizar un proceso o realizar monitoreo de máquinas y control supervisorio.

Las tareas que realiza son:

- Recolección de datos.
- Procesamiento de datos.
- Presentación de datos.
- Control de operador.

La configuración de etiquetas y alarmas se almacenan en un formato de base de datos llamado ODBC (Conectividad de base de datos abierta).

RSView almacena todos los datos históricos en archivos de formato dbf. Esto significa que usted puede acceder a datos tales como actividad del operador, eventos del sistema, mensajes de alarma y valores de las etiquetas (tags) empleando una base de datos relacional.

RSView puede actuar como un cliente o servidor DDE. Ello permite el intercambio de datos con una gran cantidad de dispositivos y otras aplicaciones bajo Windows tal como Microsoft Excel.

RSView viene con un gran número de objetos gráficos y símbolos que se pueden introducir en las pantallas creadas. Los objetos gráficos creados o importados desde AutoCAD, CorelDraw o PhotoShop pueden ser animados empleando 12 tipos de control, incluyendo posición, rotación, tamaño y visibilidad.

La creación de tendencias permite mostrar variables del proceso en función del tiempo en una gran variedad de colores y símbolos.

La creación de recetas permite la descarga o carga de grupos de variables del proceso (recetas) a o desde un controlador programable.

Las Alarmas permiten el monitoreo de incidentes del proceso con múltiples niveles de severidad.

7.3.8. RSView32 Works. RSView32 Works contiene los editores necesarios para generar una aplicación completa de interfaz operador-máquina y contiene el software requerido para ejecutar las aplicaciones generadas. Cuando haya terminado de desarrollar su aplicación, cambia al modo de ejecución o utiliza RSView32 Runtime (que viene incluido junto con RSView32 Works y utiliza menos memoria) y ejecuta su aplicación.

7.3.9. Software RsLinx. Es un paquete de servidor de comunicación que proporciona conectividad de dispositivos a nivel de la planta para una amplia variedad de aplicaciones. RsLinx permite que múltiples aplicaciones de software

se comuniquen simultáneamente con una serie de dispositivos en muchas redes diferentes.

RSLinx proporciona una interface grafica fácil de usar para navegar por la red. Es compatible con productos de software de programación MMI y componentes de Rockweel Software y Allen Bradley, actuando como un motor de comunicación entre los dispositivos y el software.

RSLinx sirve para configurar los diferentes nodos de la red Ethernet y controlar las comunicaciones que existen.

Existen diferentes paquetes según la funcionalidad a la que se haya de destinar el software. En nuestro caso y debido a las necesidades del proyecto se usará RSLinx Lite, que es el paquete más sencillo y económico.

7.4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

En esta parte del trabajo se describen todos los parámetros necesarios para realizar la automatización.

Se debe tener en cuenta que este proyecto se inicia con los filtros ya construidos y acondicionados con sus respectivas tuberías en las cuales están ubicadas las válvulas de control automático y manual, que corresponden a las diferentes entradas y salidas del proceso, estos parámetros los entrega el fabricante.

El área de instrumentación se encarga de constatar que el arreglo original sea el más apropiado para el buen funcionamiento del proceso, dentro de estas labores esta la de reubicar instrumentos.

7.4.1. Instrumentación. Los equipos de instrumentación que requiere la Automatización de los FLP son parte clave en el éxito del proyecto.

Cada filtro utiliza los siguientes equipos:

- Ocho válvulas automáticas on-off.

- Una válvula de control automático.

- Cinco válvulas manuales de mariposa.

- Un transmisor de flujo con su respectivo medidor.

- Un transmisor de presión.

- Un manómetro.

- Una válvula de seguridad.

- **Válvulas automáticas on-off.** Son válvulas solenoides tipo mariposa de la serie 30/31 de marca Bray con actuador neumático activado por una bobina de la serie 52 de la marca Bray la cual se activa con un voltaje de 20 a 250 voltios AC, permitiendo el paso de aire al actuador el cual realiza la apertura de la válvula.

El actuador tiene en la parte superior un sensor de posición de micro-swiches mecánicos de la serie 67 para montaje directo, con el fin de confirmar la apertura o cierre de la válvula.

- **Válvula de control automático.** Son válvulas de mariposa activadas por un posicionador de la serie SRD991 marca Bray el cual a su vez maneja un actuador neumático de la misma marca de la serie 90-93. Ver figura 9.

El posicionador es diseñado para la operación neumática de válvulas con actuador para el control de sistemas, El control electrónico usa el protocolo de comunicación HART. La comunicación la realiza con una señal sobre puesta de 4 a 20 mA análogos.

Características del posicionador:

- * Auto-star para auto calibración.

- * Auto diagnostico.

- * Comunicación HART.

- * Configuración por medio de teclado local, por puerto serial.

- * Bajo consumo.

- * Recorrido de 8 a 120 mm (0.3 a 4.7 pulgadas).

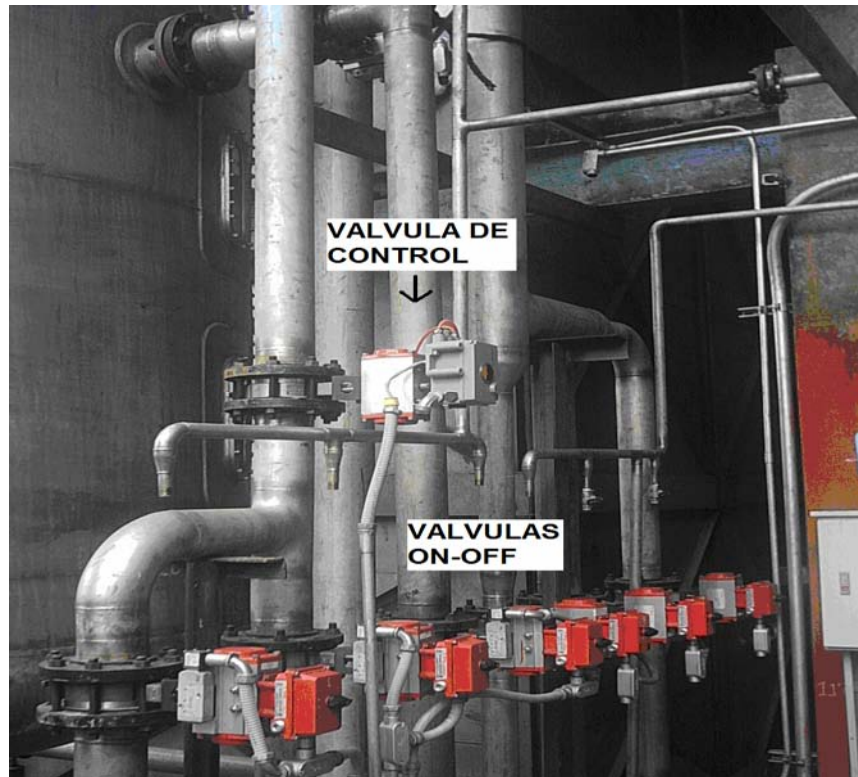
- * Angulo de desplazamiento de 95 grados.

- * Alimentación de aire presurizado de 6 Bar (90 PSI).

- * Indicador de desplazamiento mecánico.

La válvula solenoide es de tipo mariposa de la serie 30/31 de la marca Bray y soporta hasta 150 PSI. El actuador neumático es de la serie 90-93 tipo piñón, la cremallera es de doble acción, la fabricación del cuerpo y los pistones en aluminio, engranes de aleación aluminio-bronce, partes de deslizamiento plásticas para bajo torque, La válvula de mariposa es de marca Bray con un diámetro de 6 pulgadas de la series 30/31.

Figura 9. Válvulas de control



- **Válvulas manuales.** Válvulas manuales wafer (entre bridas) tipo mariposa de 4 pulgadas de diámetro, soporta hasta 150 PSI de presión. Pertenecen a la serie 40 de la marca Bray. Ver figura 10.

Figura 10. Válvulas manuales



- **Transmisor y medidor de flujo.** Sirve para medir sustancias líquidas o pastosas eléctricamente conductoras. Sirve para la medida de caudal volumétrico de operación. Ver figura 11 y 12.

Para una utilización correcta es necesario que se utilice dentro de los valores técnicos límite, que se observen y sigan las indicaciones sobre los fluidos de medida permitidos. Solo debe utilizarse con fluidos en los que pueda asegurarse, según la técnica actual o la experiencia de trabajo del usuario, que las propiedades físicas y químicas de los materiales en contacto con el fluido (electrodos de medida, o en su caso electrodos de toma de tierra, recubrimientos, conexiones, discos de protección y bridas de protección) no puedan mermar el tiempo de servicio previsto. Se utiliza la serie D18B123U01 de la marca ABB.

Figura 11. Transmisor de flujo

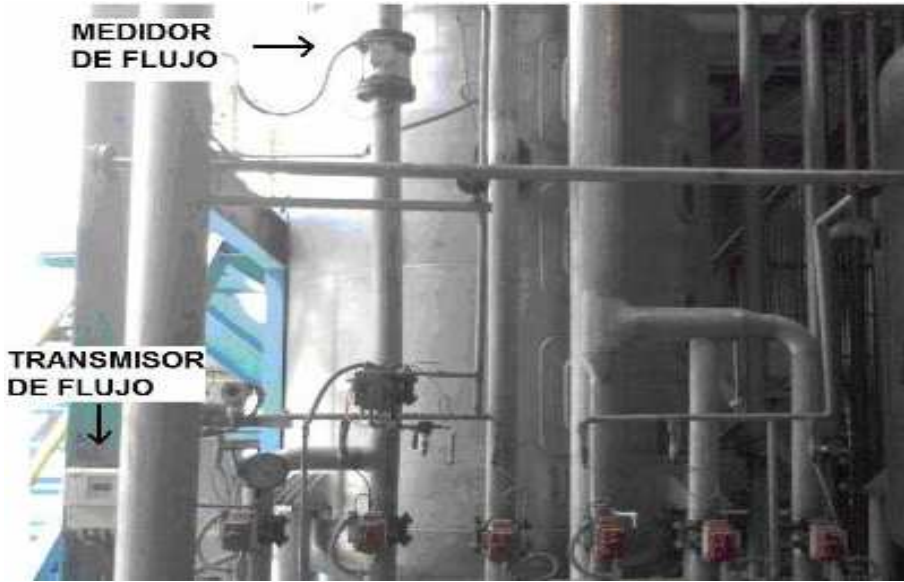


Figura 12. Transmisor de flujo



- **Transmisor de presión.** Se utiliza para saber cuando se termina el filtrado.
Transmisor de Presión Con Comunicación Hart. Ver figura 13.

- Marca: Smar

- Modelo: LD301D

Requieren poco refaccionamiento porque con pocas piezas se cubren rangos desde 0.5 "H₂O hasta 360 Psi, siendo la electrónica y el display intercambiable para cualquier rango o modelo.

- Precisión de 0.075%.

- Rangeabilidad de 40:1.

- Certificación ISO 9001.

- Generación de señal constante para prueba del loop.

- Totalización de flujo.

- Partes completamente intercambiables para facilidad de mantenimiento.

- PID opcional.

Figura 13. Transmisor de presión.



• **Manómetros.** Se utiliza para medir la presión manométrica dentro del filtro. El rango de medición es de 0 a 30 psi, el fabricante es ashcroft de la serie 1009. Ver figura 14. Este instrumento es útil en el momento en que falle el transmisor de presión.

Figura 14. Manómetro.



- **Válvula de seguridad.** Son válvulas que se pueden calibrar para permitir el paso de aire o vapor comprimido a una determinada presión. Ver figura 15.

La marca de la válvula es SPIRAX SARCO. Se calibro a 27 PSI, cuando la presión del filtro supere este valor se abrirá mecánicamente hasta volver a el valor de calibración o menor.

Figura 15. Válvula de seguridad



7.4.2. Identificación de las entradas y salidas del proceso. Al identificar las entradas y salidas se establece la cantidad de señales que se van a utilizar y a si poder escoger los módulos del PLC que cumplan con estos requerimientos. En la tabla se muestran todas las señales que se necesitan para poder realizar la automatización. Ver tabla 2.

Tabla 2. Entradas y salidas del proceso

ENTRADAS		SALIDAS	
DIGITALES	ANALÓGICAS	DIGITALES	ANALÓGICAS
Sensores válvulas cerradas FLP 1 (SC) FSV 0401_1 a FSV 0401_8 Sensores válvulas abiertas FLP 1 (so) FSV 0401_1 a FSV 0401_8 Sensores válvulas cerradas FLP 2 (SC) FSV 0401_1 a FSV 0401_8 Sensores válvulas abiertas FLP 2 (so) FSV 0401_1 a FSV 0401_8 Sensores válvulas cerradas FLP 3 (SC) FSV 0401_1 a FSV 0401_8 Sensores válvulas abiertas FLP 3 (so) FSV 0401_1 a FSV 0401_8	Filtro de lecho profundo 1 Transmisor de flujo Transmisor de presión Filtro de lecho profundo 2 Transmisor de flujo Transmisor de presión Filtro de lecho profundo 3 Transmisor de flujo Transmisor de presión	Válvulas ON-OFF FLP 1 FSV 0401-1 a 0401-8 Válvulas ON-OFF FLP 2 FSV 0402-1 a 0402-8 Válvulas ON-OFF FLP 3 FSV 0403-1 a 0403-8	Posicionador de la válvula de control de flujo FLP 1 FCV 0401 Posicionador de la válvula de control de flujo FLP 2 FCV 0402 Posicionador de la válvula de control de flujo FLP 3 FCV0403
Motor Bomba 1 Licor filtrado Star_Stop_Termico_Auxiliar Motor bomba 2 Licor filtrado Stara_Stop_Termico_Auxiliar	Transmisores de nivel Tanque de licor filtrado Tanque de licor	Motor Bomba 1 Licor filtrado Arranque del motor Bomba 1 Motor bomba 2 Licor filtrado Arranque del motor Bomba 2	
<u>Total = 56</u>	<u>Total = 8</u>	<u>Total = 26</u>	<u>Total = 3</u>

La ubicación de las entradas y las salidas de los FLP ya estaban identificadas gracias a los diagramas de flujo entregados por el fabricante, partiendo de estos datos nos encaminamos a asignarles nombres o tags de identificación.

La sigla FSV significa válvula solenoide de flujo y va acompañada del número 0400 que es el asignado a la etapa de filtración, pero como se necesita especificar a cual filtro se está haciendo referencia se le cambia el último dígito por el número que corresponda al filtro, por ejemplo si se está haciendo referencia al filtro número uno entonces se representará con la siglas FSV 0401, partiendo de esta nomenclatura se enumeran respectivamente las diferentes válvulas que se utilizan en el proceso de filtrado.

FSV 0401-1 corresponde a una válvula de flujo que pertenece a la etapa de filtrado, del filtro número 1, de la válvula número 1.

Las demás válvulas se enumeran respectivamente así: FSV 0401-1, FSV 0401-2, FSV 0401-3, FSV 0401-4, FSV 0401-5, FSV 0401-6, FSV 0401-7, FSV 0401-8. Cada filtro tiene 8 válvulas con su correspondiente nomenclatura.

Nota: Las válvulas que aparecen en el diagrama de flujo del manual de operación de los filtros de lecho profundo y que no mostramos en la tabla, son válvulas manuales que no se tendrán en cuenta en la automatización, se espera que en una futura mejora se cambien por válvulas de control para que se puedan incluir en ella.

La sigla FCV significa válvula de control de flujo, cada filtro tiene una sola y su numeración solo dependerá del filtro al que se esta haciendo referencia, por ejemplo el filtro numero uno se nombra de la siguiente manera FCV 0401, para los demás filtros solo se le cambia la ultima cifra y se le pone la correspondiente al filtro que se va a mencionar.

Como ya se identifico todas las señales que se utilizaran en los filtros se saca un total de ellas.

- **Entradas digitales.** Son las señales que se van a enviar al PLC a través de pulsadores. Cada motor utiliza cuatro señales que se encargan de decirle al PLC que debe hacer. Las señales que se utilizan son las siguientes:

Stara. Le indica al PLC que debe prender el motor.

Stop. Le indica al PLC que debe parar el motor.

Auxiliar. Le confirma al PLC de que el motor arranco.

Térmico. Le indica al PLC que existe una sobrecorriente y que debe parar el motor.

Existen cuatro motores, por lo tanto se tienen 16 entradas digitales. Los cuatro motores son comunes para los tres filtros.

- **Entradas analógicas.** Son las señales que envían los transmisores al PLC indicando las diferentes medidas que se hacen de las variables del proceso, cada filtro utiliza dos transmisores uno de flujo y el otro de presión, por lo tanto se utilizan para los tres filtros 6 entradas analógicas. También se tienen dos transmisores de nivel los cuales están ubicados, uno en el tanque de licor flotado y el otro en el tanque de licor filtrado, en estos dos transmisores se utilizan otras dos entradas analógicas.

Se requieren un total de 8 entradas analógicas.

- **Salidas digitales.** Son las señales que envía el PLC a los diferentes dispositivos de campo. Cada motor debe tener un arranque o accionamiento del contactor, como se tienen cuatro motores se utilizaran cuatro señales. Cada filtro posee ocho válvulas que son activadas a través de una bobina, para los tres filtros se utilizan 24 señales.

Por lo tanto se requieren un total de 28 salidas digitales.

- **Salidas análogas.** Cada filtro utiliza una salida analógica la cual controla una válvula posicionadota que regula el flujo.

Se requieren de 3 salidas análogas.

7.4.3. Tipo de módulos. Como ya se tienen identificadas las entradas y salidas del proceso, se escogen los módulos que se van a utilizar.

Se debe tener en cuenta la capacidad de los diferentes módulos, y también las posibles modificaciones o mejoras que se puedan hacer en un futuro. Para conocer las características de los diferentes módulos, se consulta en Internet los manuales del fabricante que en este caso es Allan Bradley con el controlador ControlLogix 5000, en estos manuales se encuentra toda la información necesaria para escoger correctamente los módulos.

- **Modulo de entradas digitales.** Se tienen 56 entradas digitales, se escoge uno o más módulos que tengan esta capacidad. Se consulta en el manual del fabricante cual referencia satisface nuestra necesidad.

Al observar la información del fabricante se escoge la referencia 1756-IB32. Este modulo tiene una capacidad de 32 entradas o puntos que trabajan a un voltaje de 120 voltios AC, se deben de escoger dos módulos con 32 entradas cada uno. Ver tabla 3.

La capacidad de corrientes de backplane es de 165 mA para un voltaje de 5 V, y de 3 mA para un voltaje de 24 V.

Tabla 3. Características de los módulos digitales

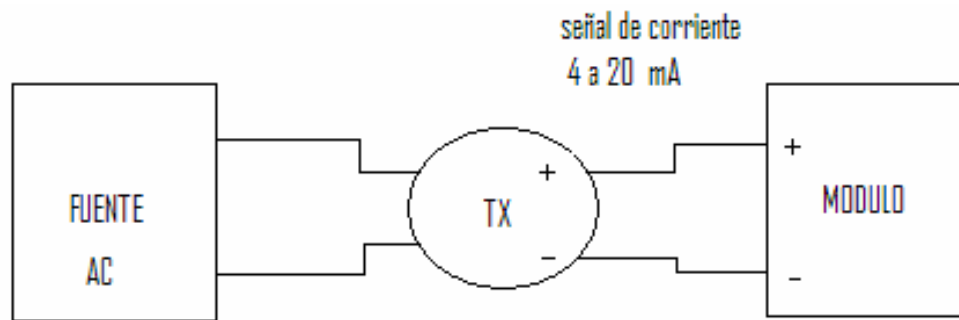
Cat. No.	Number of inputs	Voltaje, On-State Input, Nom.	Operating Voltage	Input Delay Time, ON to OFF	Current, On-State Input, Min.	Current, On-State Input, Max.	Current, On-State Input, Max.	Removable Terminal Block Housing	Blackplane Current (mA) at 5V	Blackplane Current (mA) at 24V	Power Dissipation, Max
1756-IA8D	8 diagnostic	120V ac	79...132V ac	Hardware: 8 ms, max (plus filter time) Programmable filter: 9 ms or 18 ms	5 mA @ 79V ac	16mA @ 132V ac	2.5 mA	1756-TBNH 1756-TBSH	100 Ma	3 mA	4.5W @60°C
1756-IA16	16	120V ac	74...132V ac	Hardware: 8 ms, max (plus filter time) Programmable filter: 9 ms or 18 ms	5 mA @ 74V ac	13mA @ 132V ac	2.5 mA	1756-TBNH 1756-TBSH	105 Ma	2 mA	5.8W @60°C
1756-IA16I	16 Individually isolated	120V ac	79...132V ac	Hardware: 8 ms, max (plus filter time) Programmable filter: 9 ms or 18 ms	5 mA @ 79V ac 47...63Hz	15mA @ 132V ac 47...63Hz	2.5 mA	1756-TBCH 1756-TBS6H	125 Ma	3 mA	4.9W @60°C
1756-IA32	32	120V ac	74...132V ac	Programmable filter: 9 ms & 18 ms	5 mA @ 74V ac	10mA @ 132V ac	2.5 mA	1756-TBCH 1756-TBS6H	165 mA	2 mA	6.1W @60°C
1756-IM16I	16 Individually isolated	120V ac	159...265V ac	Hardware: 8 ms, max (plus filter time) Programmable filter: 9 ms or 18 ms	5 mA @ 159V ac 60Hz	13mA @ 265V ac 60Hz	2.5 mA	1756-TBCH 1756-TBS6H	100 mA	3 mA	5.8W @60°C

• **Modulo de entradas analógicas.** Para las entradas analógicas se deben de tener en cuenta la forma en que se va a configurar el modulo o los módulos, para ésto se dará una breve explicación sobre los diferentes transmisores que se van a utilizar.

En este proyecto se utilizan dos clases de transmisores, los activos y los pasivos.

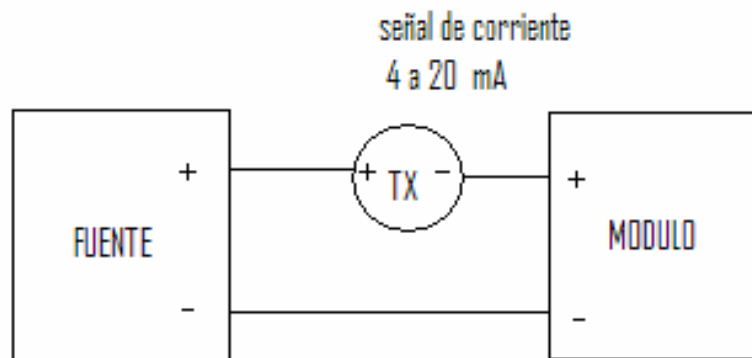
- **Los transmisores activos.** Estos necesitan de una fuente independiente para alimentarlos y la señal. Se conectan en paralelo al modulo del PLC. Ver figura16.

Figura 16. Conexión con fuente independiente



- **Los transmisores pasivos.** Estos no necesitan fuente independiente, su alimentación la realiza la fuente del PLC a través de un circuito en serie que se hace entre el modulo, la fuente y el transmisor. Ver figura 17.

Figura 17. Conexión en serie



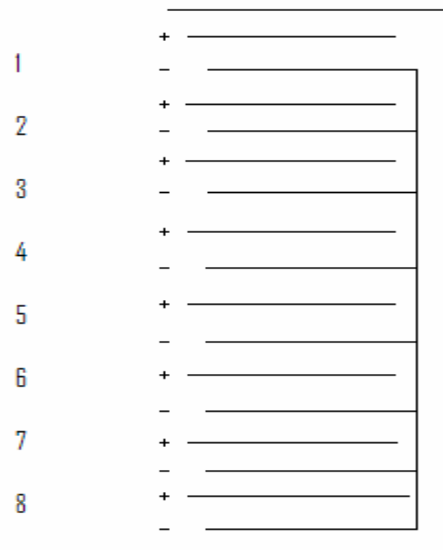
Existen dos maneras de configurar los módulos: singlen-ended y diferencial.

- **Single-ended.** Se utiliza una línea común en las entradas, casi siempre se utiliza la línea negativa. Ver figura 18.

Esta configuración se hace para los transmisores pasivos, por ejemplo si se tienen 8 entradas analógicas se puede utilizar un modulo con 8 entradas, cada entrada se conecta en serie con la fuente y el módulo.

Esta configuración se utiliza para recibir la señal de corriente (4 a 20 mA) de los transmisores pasivos al modulo del PLC.

Figura 18. Conexión single-ended



- **Diferencial.** No tienen fase o línea común, las entradas se conectan de forma individual. Se utiliza para recibir las señales de los transmisores activos que en nuestro caso son transmisores de flujo.

Después de tener en cuenta las características de los transmisores que se van utilizar, se consideran las entradas que se tienen, en nuestro caso se tienen 8 entradas analógicas del proceso, pero se debe tener en cuenta que 5 de estas entradas son de transmisores pasivos y las 3 restantes son de transmisores activos.

Al tener en cuenta estas observaciones se debe de utilizar un módulo para cada caso, debido a que, a pesar de que los módulos pueden tener las mismas características el ControlLogix hace una diferenciación en estos dos tipos de conexiones.

La referencia de los módulos es 1756-IF8.

Cada modulo tiene 8 entradas por lo tanto no hay problema en caso de que se quiera ingresar en un futuro mas instrumentos.

La capacidad de corrientes de backplane es de 150 mA para un voltaje de 5V, y de 40 mA para un voltaje de 24V.

- **Modulo de salidas digitales.** Se tienen 26 salidas digitales, se escoge dos módulos de 16 salidas ya que no existe uno que tenga esta capacidad. Se consulta en el manual del fabricante cual referencia satisface nuestra necesidad.

Al observar la información del fabricante se escoge la referencia 1756-OW16I.

Este modulo tiene una capacidad de 16 entradas o puntos accionados por rele, con un voltaje de operación de 120 voltios AC, por lo tanto se escogen dos módulos que suman 32 salidas.

La capacidad de corrientes de backplane es de 400 mA para un voltaje de 5V, y de 2 mA para un voltaje de 24V. Ver tabla 4.

Tabla 4. Características eléctricas del modulo

Cat. No.	Number of inputs	Number of Outputs	Resolution	Sensor Supported	Removable Terminal Block Housing	Blackplane Current (mA) at 5V	Blackplane Current (mA) at 24V	Power Dissipation, Max.
1756-IF8	8 single-ended, 4 differential, 2 high-speed differential,,	–	16 bits	±10.25V 0...5.125V 0...10.25V	1756-TBCH 1756-TBS6H	150 mA	40 mA	1.73 W – Voltage 2.33 W – Current
1756-IF6CIS	6 isolated, current sourcing	–	16 bits	0...21mA Range	1756-TBNH 1756-TBSH	250 mA	275 mA	5.1 W @ 60°C
1756-IF6I	6 isolated	–	16 bits	±10.5V 0...5.25V 0...10.5V	1756-TBNH 1756-TBSH	250 mA	100 mA	3.7 W – Voltage 4.3 W – Current
1756-IA32	8 differential, 4 high-speed differential, 16 single-ended,,	–	16 bits	±10.25V 0...5.125V 0...10.25V	1756-TBCH 1756-TBS6H	150 mA	65 mA	2.3 W – Voltage 3.9 W - Current
1756-IF16	4 high-speed, sub-millisecond, differential	2 high-speed voltage or current	14 bits	Inputs ±10.5V 0...5.25V 0...10.5V Outputs ±10.5V	1756-TBCH 1756-TBS6H	375 mA	100 mA	4.3 W – Voltage 4.7 W - Current
1756-IR6I	6 isolated RTD	–	16 bits	<ul style="list-style-type: none"> • 100, 200, 500, 1000Ω Platinum, alpha = 385 • 100, 200, 500, 1000Ω Platinum, alpha = 3916 • 120Ω Nickel, alpha = 672 • 100, 120, 200, 500Ω Nickel, alpha = 618 • 10Ω Copper 	1756-TBNH 1756-TBSH	250 mA	125 mA	4.3 W

- **Módulo de salidas analógicas.** Se tienen 3 salidas analógicas, se escoge un módulo que tenga esta capacidad o mayor. Se consulta con el fabricante cual es el módulo que cumpla con esta condición.

Al observar la información del fabricante se escoge la referencia 1756-OF8.

Este módulo tiene una capacidad de 8 salidas analógicas, como solo se utilizaran 3 salidas las 5 restantes quedan para una futura ampliación.

La capacidad de corrientes de backplane es de 150 mA para un voltaje de 5V, y de 210 mA para un voltaje de 24V.

- **Módulo de comunicaciones.** Es el encargado de realizar la comunicación en la red de control.

Se utiliza el módulo 1756-ENBT que se comunica a 10/base100.

La capacidad de corrientes de backplane es de 700 mA para un voltaje de 5V, y de 3 mA para un voltaje de 24V.

7.4.4. Tipo de chasis. La capacidad de slots del chasis depende de la cantidad de módulos que se van a utilizar, también se le debe de dar un margen de tolerancia en caso de una futura ampliación.

Para la automatización de los filtros de lecho profundo se necesitan un total de 9 módulos. Dos para las entradas digitales, dos para entradas analógicas, dos para salidas digitales, uno para salidas analógicas, uno para comunicación y otro para el procesador.

Los chasis que existen tienen una capacidad de 4, 7, 10, 13 y 17 slots.

En este proyecto se escogió el de 10 slots.

La referencia del chasis es 1756-A10

7.4.5. Tipo de procesador. El procesador de control que cumple con las necesidades que se requieren en la automatización de los filtros es el L55.

El siguiente paso es el de escoger la memoria del procesador, para esto se tienen en cuenta varios datos.

- Sistema operativo: 43000 bytes.
- ¿Cuántas tareas voy a utilizar?

Se utilizarán dos tareas: una continua y otra periódica.

$$2 * 4000 \text{ bytes} = 8000 \text{ bytes}$$

- ¿Cuántos puntos digitales se van a utilizar?

$$\text{Entradas digitales } 2 * 32 = 64$$

$$\text{Salidas digitales } 2 * 16 = 32$$

$$\text{Total} = 86 \text{ puntos}$$

$$86 * 400 = 34400 \text{ bytes}$$

- ¿Cuántos puntos análogos?

$$\text{Entradas análogas } 2 * 8 = 16$$

$$\text{Salidas análogas } 1 * 8 = 8$$

$$\text{Total} = 24 \text{ puntos}$$

$$24 * 2600 = 62400 \text{ bytes}$$

- ¿Cuántos módulos de comunicación?

$$1 * 2000 = 2000 \text{ bytes}$$

Se suman el total de todas las condiciones incluyendo el valor del sistema operativo.

$$\text{Total} = 149800 \text{ bytes}$$

- Se debe tener en cuenta futuras ampliaciones, se multiplica la cantidad dada por dos y luego se busca la referencia que corresponda a ese valor o mayor.

$$\text{Total} = 149800 * 2 = 299600 \text{ bytes}$$

- En nuestro caso la memoria más próxima a este valor es de 750 kbytes que es más que suficiente para este proyecto.
- La serie de la memoria a la que corresponde este valor es 1756-L55M12.

- La corriente de backplane es de 1230 mA para un voltaje de 5 V, y de 14 mA para un voltaje de 24 V.

7.4.6. Tipo de fuente. Para escoger la fuente que se utilizara se suman todas las corrientes de backplane de los módulos.

- 2 Módulos de entradas digitales.
- La corriente de backplane es de 165 mA para 5 V y de 3 mA para 24 V.
- 2 Módulos de entradas analógicas.
- La corriente de backplane es de 150 mA para 5 V y de 40 mA para 24 V.
- 2 Módulos de salidas digitales.
- La corriente de backplane es de 400 mA para 5 V y de 2 mA para 24 V.
- 1 Módulo de salidas análogas.

- La corriente de backplane es de 150 mA para 5 V y de 210 mA para 24 V.

- 1 Modulo de comunicaciones.

- La corriente de backplane es de 700 mA para 5 V y de 3 mA para 24 V.

- 1 Procesador de control.

- La corriente de backplane es de 1230 mA para 5 V y de 14 mA para 24 V.

- Para 5 voltios tenemos:

$$(1 * 165) + (2 * 150) + (2 * 400) + (1 * 150) + (1 * 700) + (1 * 1230)$$

$$\text{Total} = 3345 \text{ mA} = 3,345 \text{ Amp}$$

- Para 24 voltios tenemos:

$$(1 * 3) + (2 * 40) + (2 * 2) + (1 * 210) + (1 * 3) + (1 * 14)$$

Total = 314 mA = 0.3 Amp

Se escoge una fuente PA que soporta corrientes de backplane de 13 Amp para 5 voltios y de 2.8 Amp para 24 voltios.

7.5. PLANOS

7.5.1 Planos P&I.

Figura 19. Plano PID

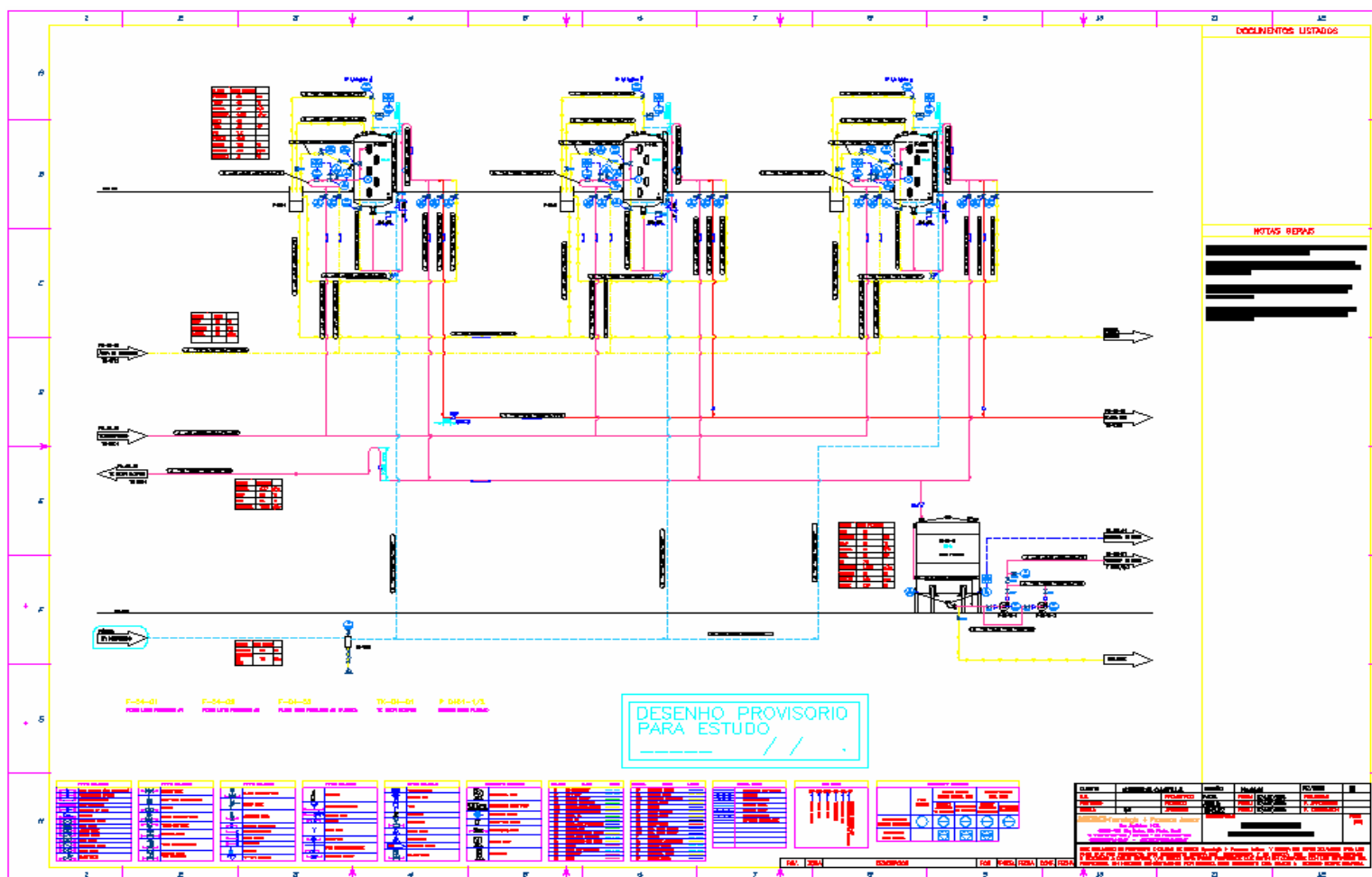
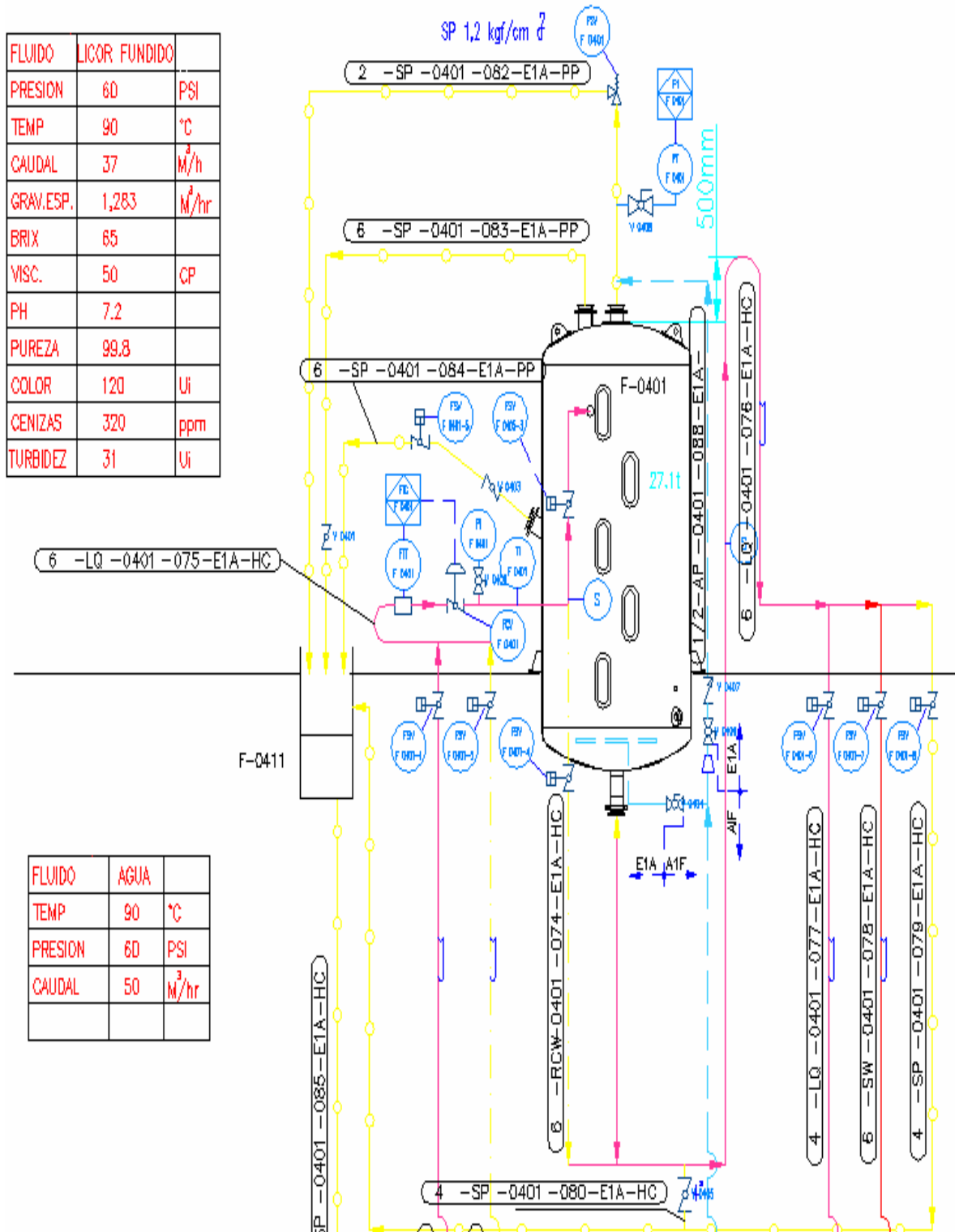


Figura 20. Plano PID FLP 1



FLUIDO	LICOR FUNDIDO	
PRESION	60	PSI
TEMP	90	°C
CAUDAL	37	M ³ /h
GRAV.ESP.	1,283	M ³ /hr
BRIX	65	
VISC.	50	CP
PH	7.2	
PUREZA	99.8	
COLOR	120	Ui
CENIZAS	320	ppm
TURBIDEZ	31	Ui

FLUIDO	AGUA	
TEMP	90	°C
PRESION	60	PSI
CAUDAL	50	M ³ /hr

Figura 21. Plano PID FLP 2

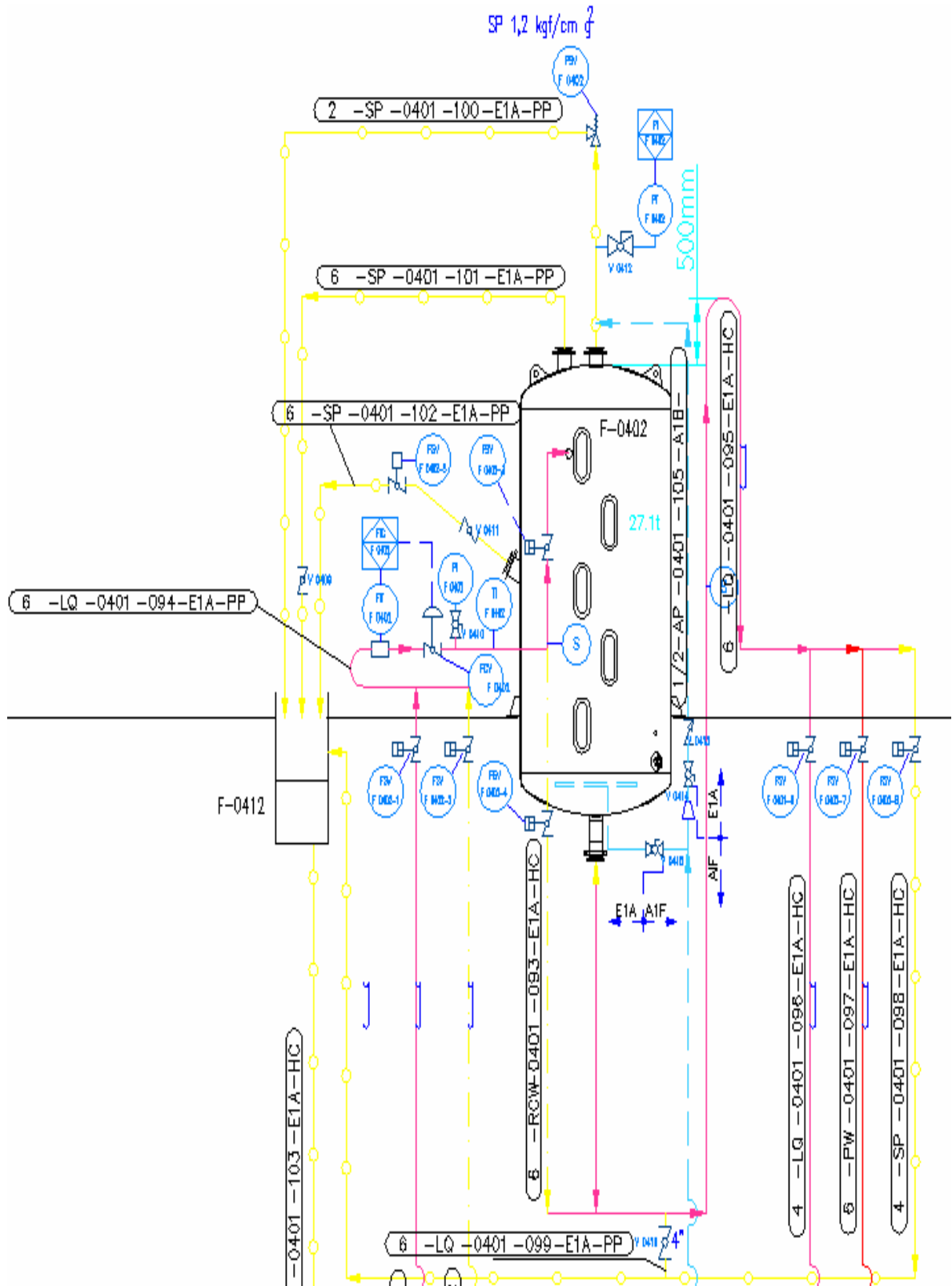
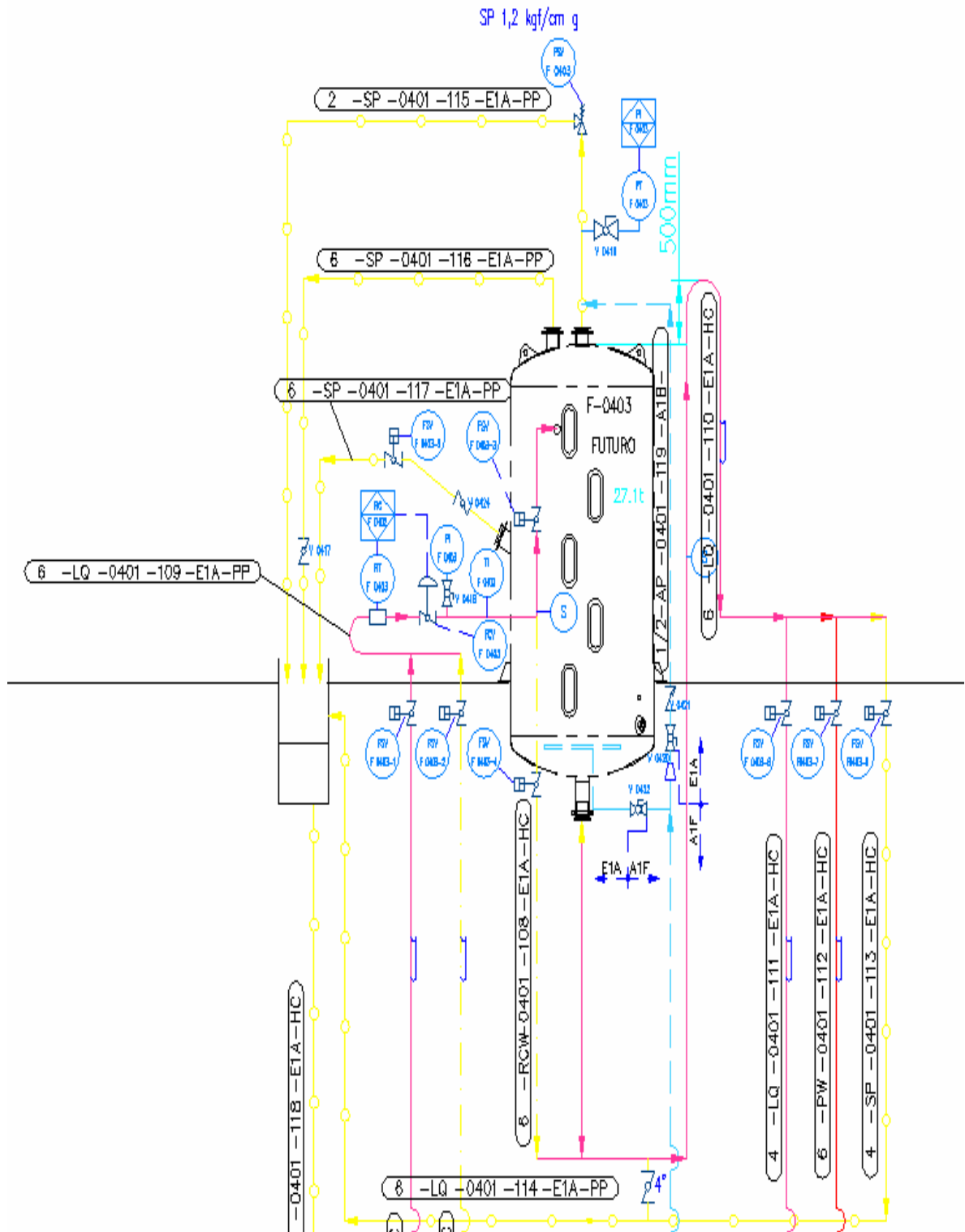


Figura 22. Plano PID FLP 3



7.5.2. Planos eléctricos. Arranque directo de un motor trifásico, con protección por rele térmico. Los mandos de arranque y paro se hacen con un bit de memoria.

Figura 23. Esquema de fuerza y mando motor 1

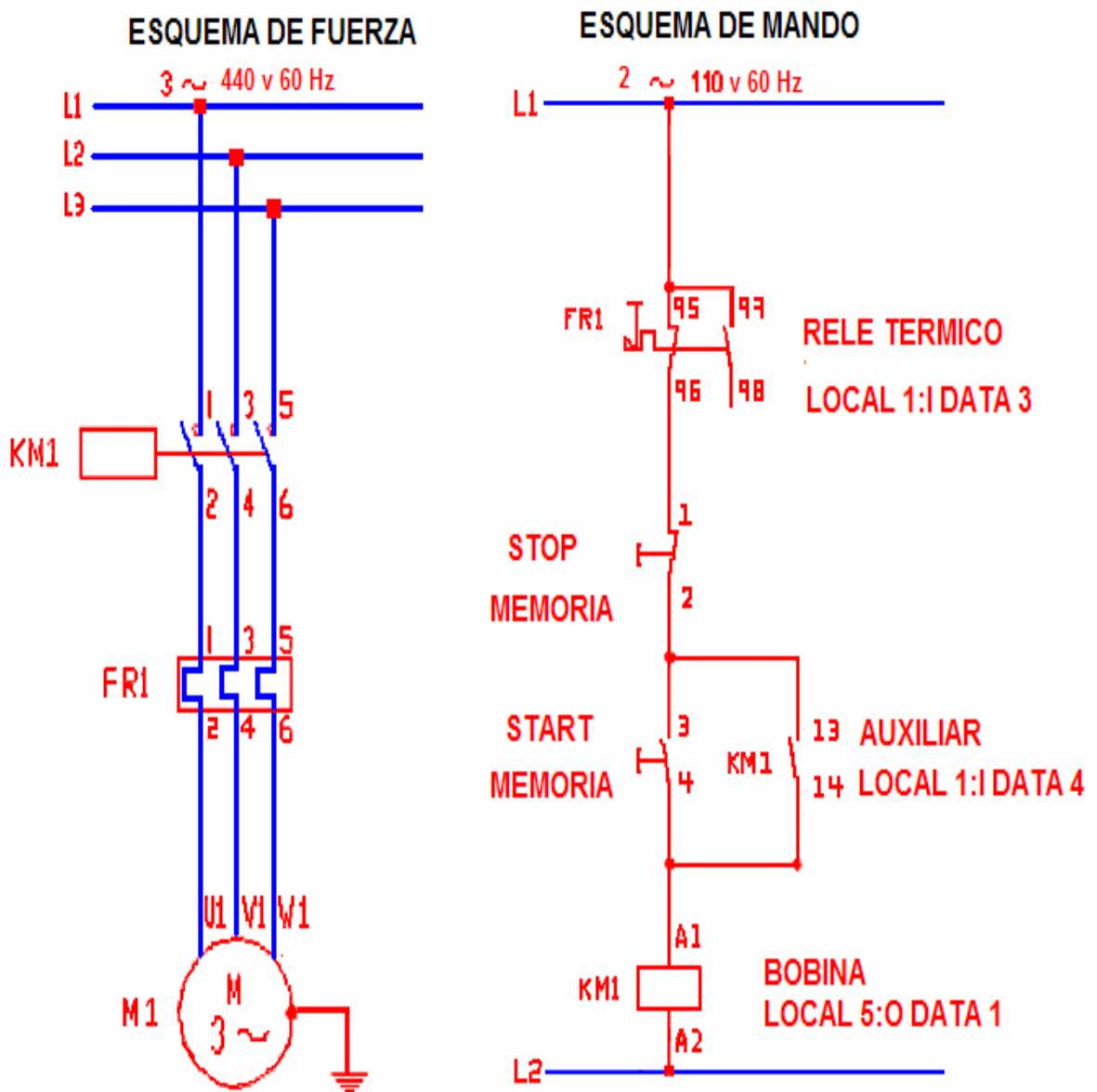
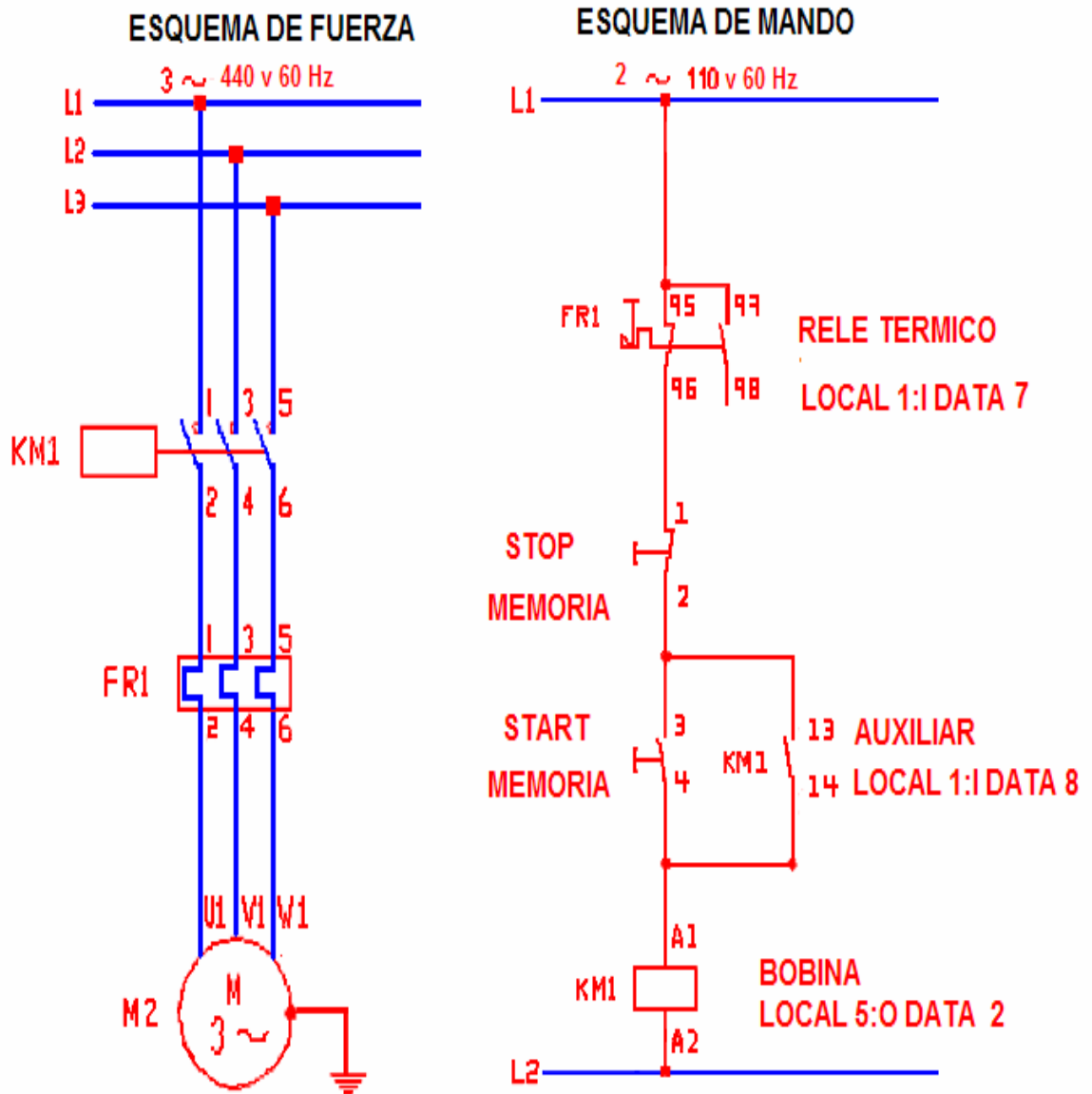


Figura 24. Esquema de fuerza y mando motor 2



7.5.3. Planos de conexiones de los módulos.

Figura 25. Modulo de entradas digitales 1756-IA32 Slot 1

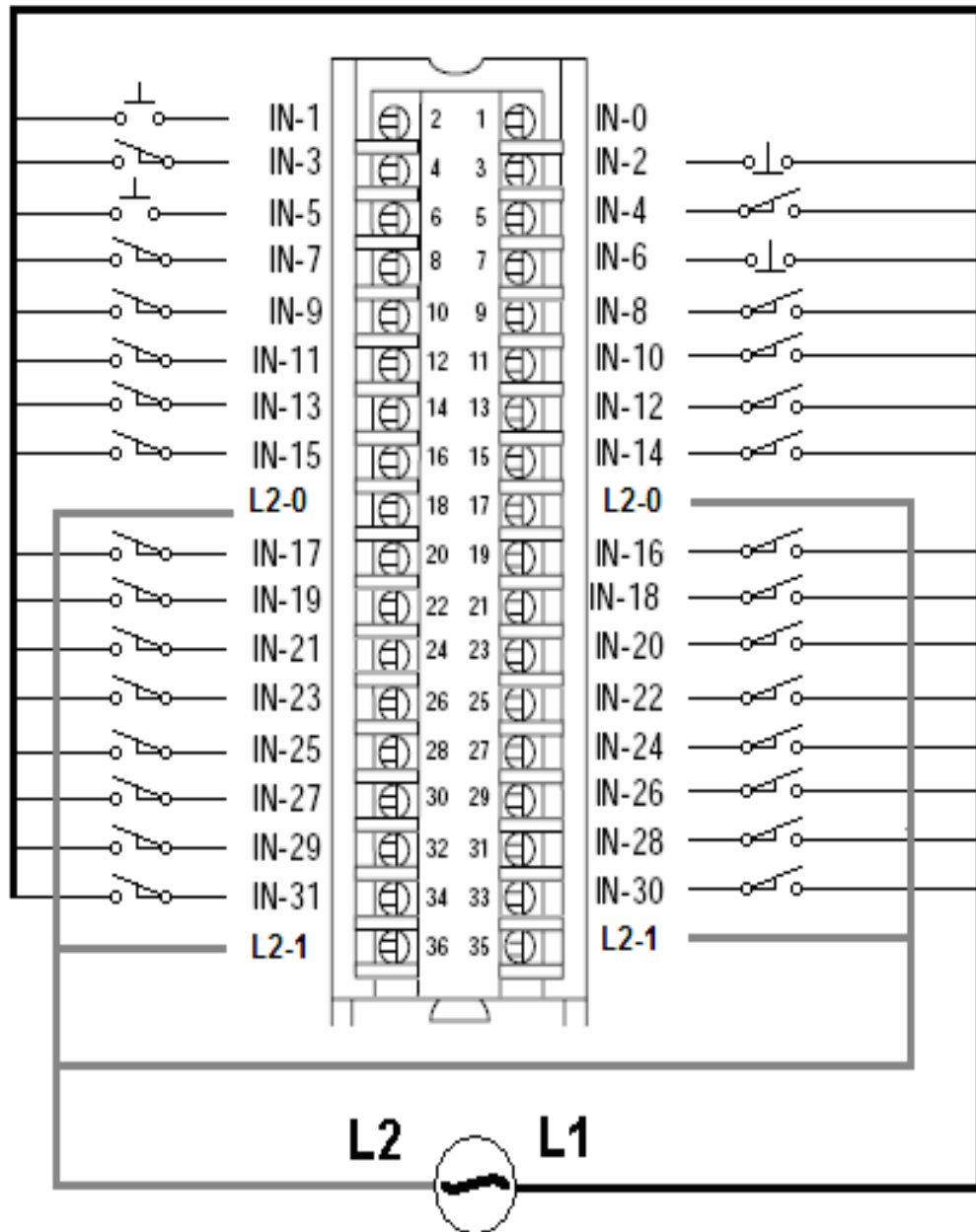


Tabla 5. Entradas digitales

ENTRADAS DIGITALES (MODULO 1)		
NOMBRE	ENTR.	DESCRIPCIÓN
START_MP0401_1	IN-1	Start motor bomba 1 tanque licor filtrado
STOP_MP0401_1	IN-2	Stop motor bomba 1 tanque licor filtrado
TERM_MP0401_1	IN-3	Térmico motor bomba 1 tanque licor filtrado
AUX_MP0401_1	IN-4	Auxiliar motor bomba 1 tanque licor filtrado
START_MP0401_2	IN-5	Start motor bomba 2 tanque licor filtrado
STOP_MP0401_2	IN-6	Stop motor bomba 2 tanque licor filtrado
TERM_MP0401_2	IN-7	Térmico motor bomba 2 tanque licor filtrado
AUX_MP0401_2	IN-8	Auxiliar motor bomba 2 tanque licor filtrado
SC_FSV0401_1	IN-9	Sensor válvula licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0401_2	IN-10	Sensor válvula de procesos FLP1 cerrada
SC_FSV0401_3	IN-11	Sensor válvula de alimentación FLP1 cerrada
SC_FSV0401_4	IN-12	Sensor válvula retrolavado FLP1 cerrada
SC_FSV0401_5	IN-13	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP1 cerrada
SC_FSV0401_6	IN-14	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0401_7	IN-15	Sensor válvula retorno agua dulce FLP1 cerrada
SC_FSV0401_8	IN-16	Sensor válvula retorno afluente FLP1 cerrada
SC_FSV0402_1	IN-17	Sensor válvula licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0402_2	IN-18	Sensor válvula de procesos FLP1 cerrada
SC_FSV0402_3	IN-19	Sensor válvula de alimentación FLP1 cerrada
SC_FSV0402_4	IN-20	Sensor válvula retrolavado FLP1 cerrada
SC_FSV0402_5	IN-21	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP1 cerrada
SC_FSV0402_6	IN-22	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0402_7	IN-23	Sensor válvula retorno agua dulce FLP1 cerrada
SC_FSV0402_8	IN-24	Sensor válvula retorno afluente FLP1 cerrada
SC_FSV0403_1	IN-25	Sensor válvula licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0403_2	IN-26	Sensor válvula de procesos FLP1 cerrada
SC_FSV0403_3	IN-27	Sensor válvula de alimentación FLP1 cerrada
SC_FSV0403_4	IN-28	Sensor válvula retrolavado FLP1 cerrada
SC_FSV0403_5	IN-29	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP1 cerrada
SC_FSV0403_6	IN-30	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP1 cerrada
SC_FSV0403_7	IN-31	Sensor válvula retorno agua dulce FLP1 cerrada

Figura 26. Modulo de entradas digitales 1756-IA32 Slot 2

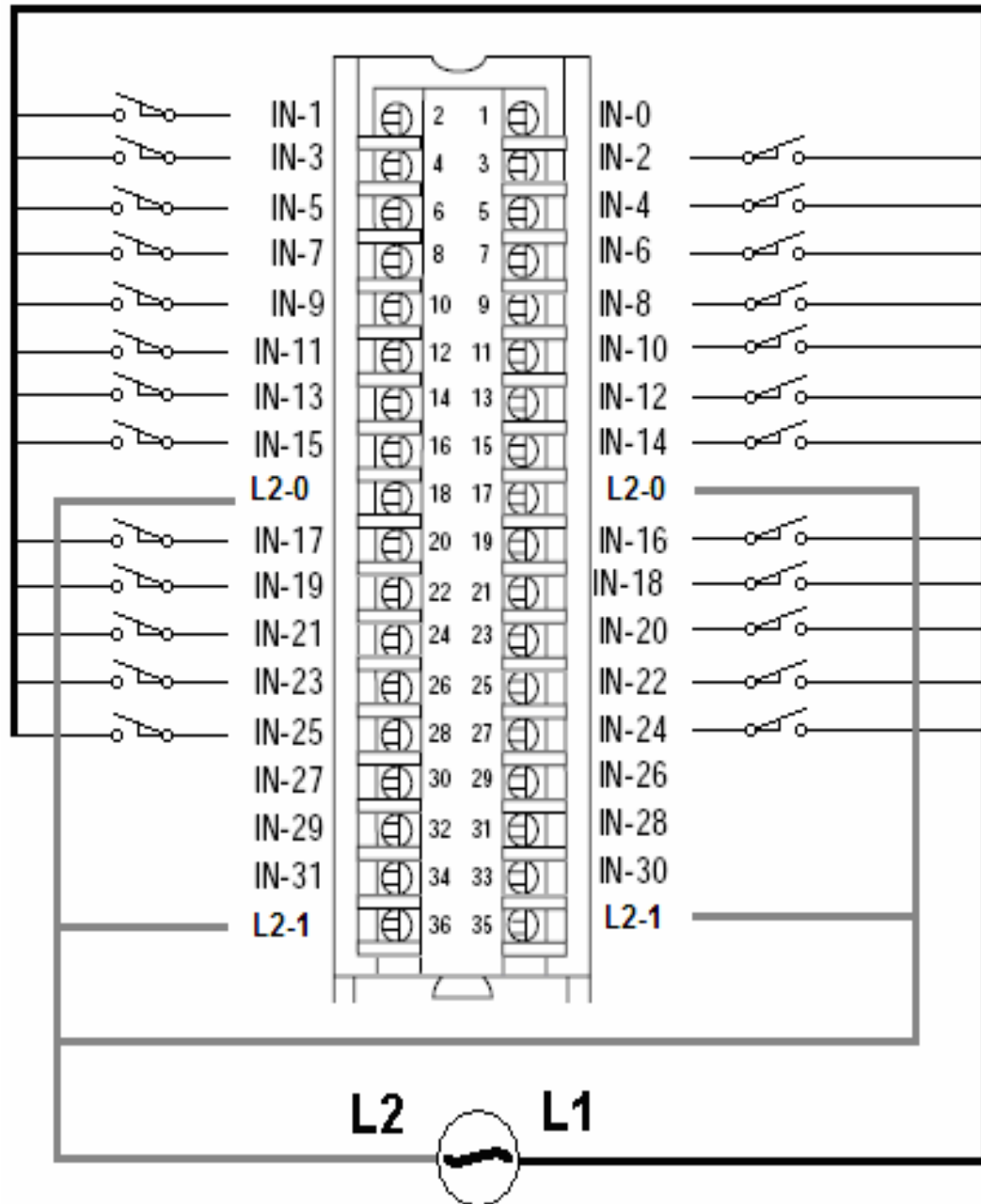


Tabla 6. Entradas digitales

ENTRADAS DIGITALES (MODULO 2)		
NOMBRE	ENTR	DESCRIPCIÓN
SC_FSV0403_8	IN-1	Sensor válvula retorno afluyente FLP3 cerrada
SO_FSV0401_1	IN-2	Sensor válvula licor flotado FLP1 abierto
SO_FSV0401_2	IN-3	Sensor válvula de procesos FLP1 cerrada
SO_FSV0401_3	IN-4	Sensor válvula de alimentación FLP1 cerrada
SO_FSV0401_4	IN-5	Sensor válvula retrolavado FLP1 cerrada
SO_FSV0401_5	IN-6	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP1 cerrada
SO_FSV0401_6	IN-7	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP1 cerrada
SO_FSV0401_7	IN-8	Sensor válvula retorno agua dulce FLP1 cerrada
SO_FSV0401_8	IN-9	Sensor válvula retorno afluyente FLP1 cerrada
SO_FSV0402_1	IN-10	Sensor válvula licor flotado FLP1 cerrada
SO_FSV0402_2	IN-11	Sensor válvula de procesos FLP2 cerrada
SO_FSV0402_3	IN-12	Sensor válvula de alimentación FLP2 cerrada
SO_FSV0402_4	IN-13	Sensor válvula retrolavado FLP2 cerrada
SO_FSV0402_5	IN-14	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP2 cerrada
SO_FSV0402_6	IN-15	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP2 cerrada
SO_FSV0402_7	IN-16	Sensor válvula retorno agua dulce FLP2 cerrada
SO_FSV0402_8	IN-17	Sensor válvula retorno afluyente FLP2 cerrada
SO_FSV0403_1	IN-18	Sensor válvula licor flotado FLP3 cerrada
SO_FSV0403_2	IN-19	Sensor válvula de procesos FLP3 cerrada
SO_FSV0403_3	IN-20	Sensor válvula de alimentación FLP3 cerrada
SO_FSV0403_4	IN-21	Sensor válvula retrolavado FLP3 cerrada
SO_FSV0403_5	IN-22	Sensor válvula de retrolavado a afluentes FLP3 cerrada
SO_FSV0403_6	IN-23	Sensor válvula retorno a licor flotado FLP3 cerrada
SO_FSV0403_7	IN-24	Sensor válvula retorno agua dulce FLP3 cerrada
SO_FSV0403_8	IN-25	Sensor válvula retorno afluyente FLP3 cerrada

Figura 27. Modulo de entradas análogas 1756-if8 single-ende SLOT 3

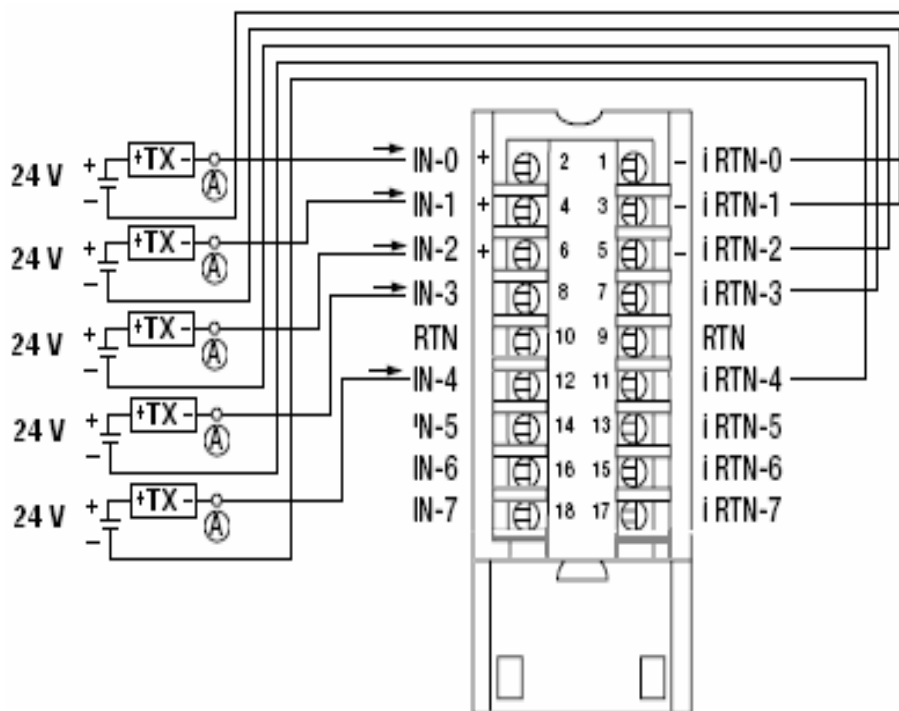


Tabla 7. Entradas Análogas

ENTRADAS ANÁLOGAS (MODULO 3)		
NOMBRE	ENTRADA	DESCRIPCIÓN
LTTK0401	IN-0	Nivel TK licor filtrado
LTTK0703	IN-1	Nivel TK licor tachos
PTF0401	IN-2	Presión FLP 1
PTF0402	IN-3	Presión FLP 2
PTF0403	IN-4	Presión FLP 3

Figura 28. Modulo de entradas Análogas 1756-IF8 diferencial slot 4

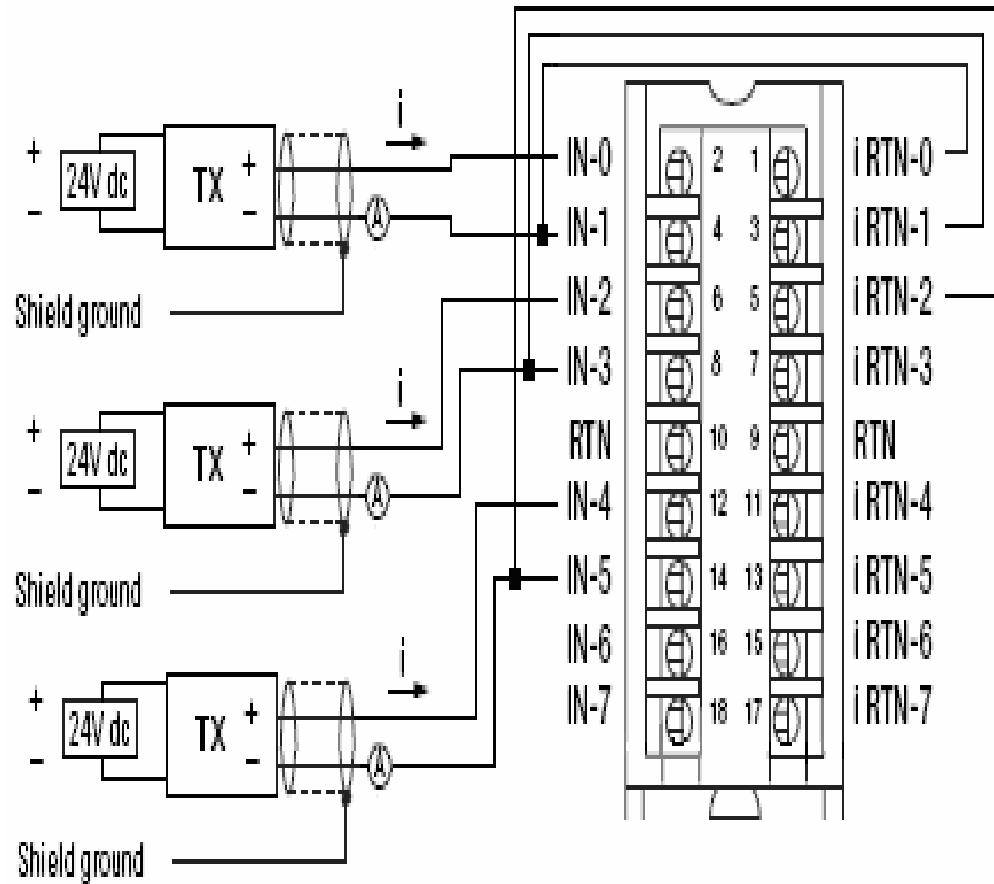


Tabla 8. Entradas Análogas

ENTRADAS ANÁLOGAS (MODULO 4)		
NOMBRE	ENTRADA	DESCRIPCIÓN
FTF0401	IN-0	Flujo licor flotado FLP 1
FTF0402	IN-1	Flujo licor flotado FLP 2
FTF0403	IN-2	Flujo licor flotado FLP 3

Figura 29. Modulo de salidas digitales 1756-OW16I Slot 5

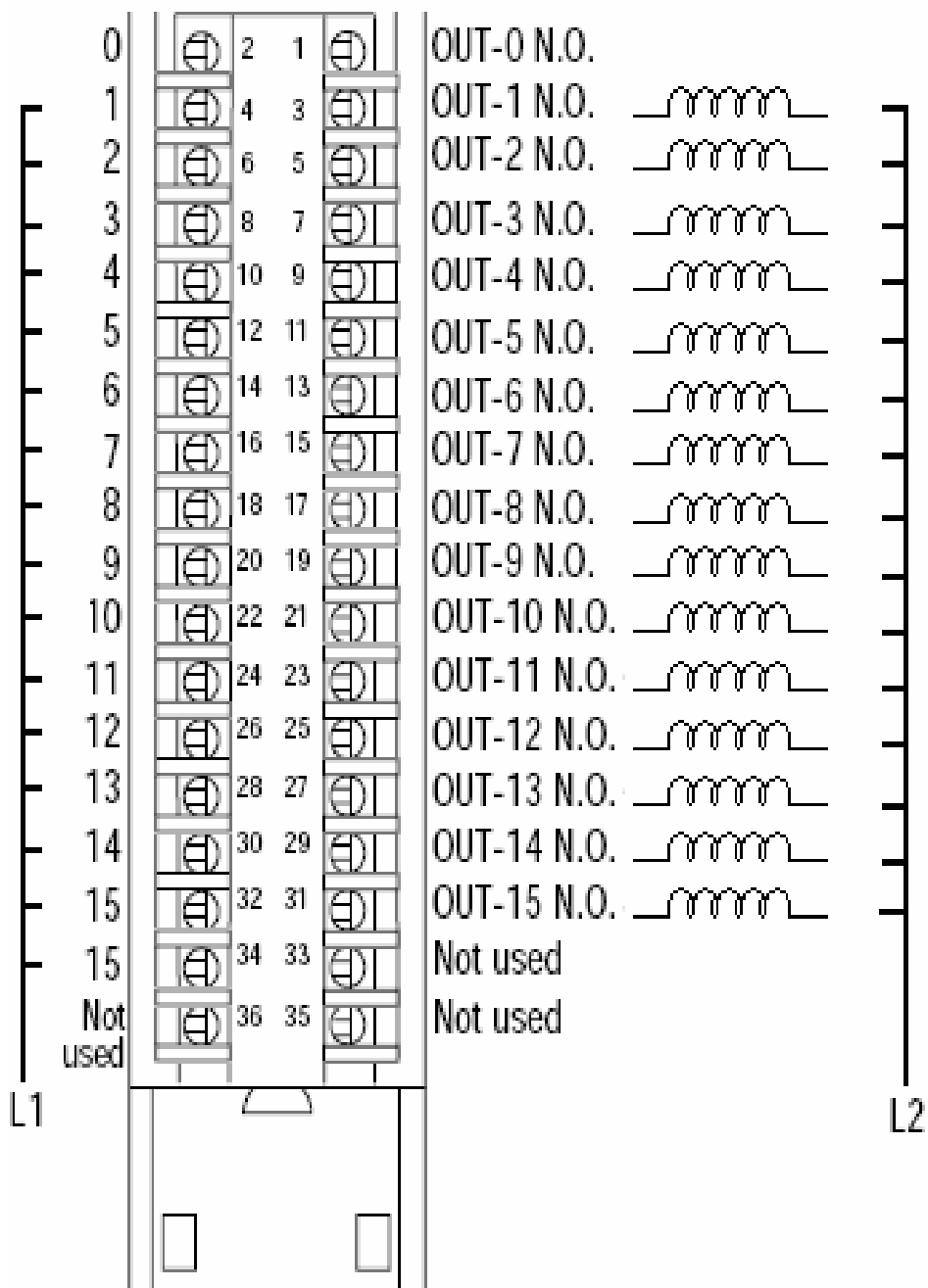


Tabla 9. Salidas Digitales

SALIDAS DIGITALES (MODULO 5)		
NOMBRE	SALIDA	DESCRIPCIÓN
B_MP0401_1	OUT-1	Bobina motor bomba 1 TK licor filtrado
B_MP0401_2	OUT-2	Bobina válvula de procesos FLP1
B_FSV0401_1	OUT-3	Bobina actuador válvula licor flotado FLP1
B_FSV0401_2	OUT-4	Bobina actuador válvula de procesos FLP1
B_FSV0401_3	OUT-5	Bobina actuador válvula de alimentación FLP1
B_FSV0401_4	OUT-6	Bobina actuador válvula retrolavado FLP1
B_FSV0401_5	OUT-7	Bobina actuador válvula de retrolavado a afluentes FLP1
B_FSV0401_6	OUT-8	Bobina actuador válvula retorno a licor flotado FLP1
B_FSV0401_7	OUT-9	Bobina actuador válvula retorno a TK agua dulce FLP1
B_FSV0401_8	OUT-10	Bobina actuador válvula retorno afluente FLP1
B_FSV0402_1	OUT-11	Bobina actuador válvula licor flotado FLP2
B_FSV0402_2	OUT-12	Bobina actuador válvula de procesos FLP2
B_FSV0402_3	OUT-13	Bobina actuador válvula de alimentación FLP2
B_FSV0402_4	OUT-14	Bobina actuador válvula retrolavado FLP2
B_FSV0402_5	OUT-15	Bobina actuador válvula de retrolavado a afluentes FLP2

Figura 30. Modulo de salidas digitales 1756-OW16I slot 6

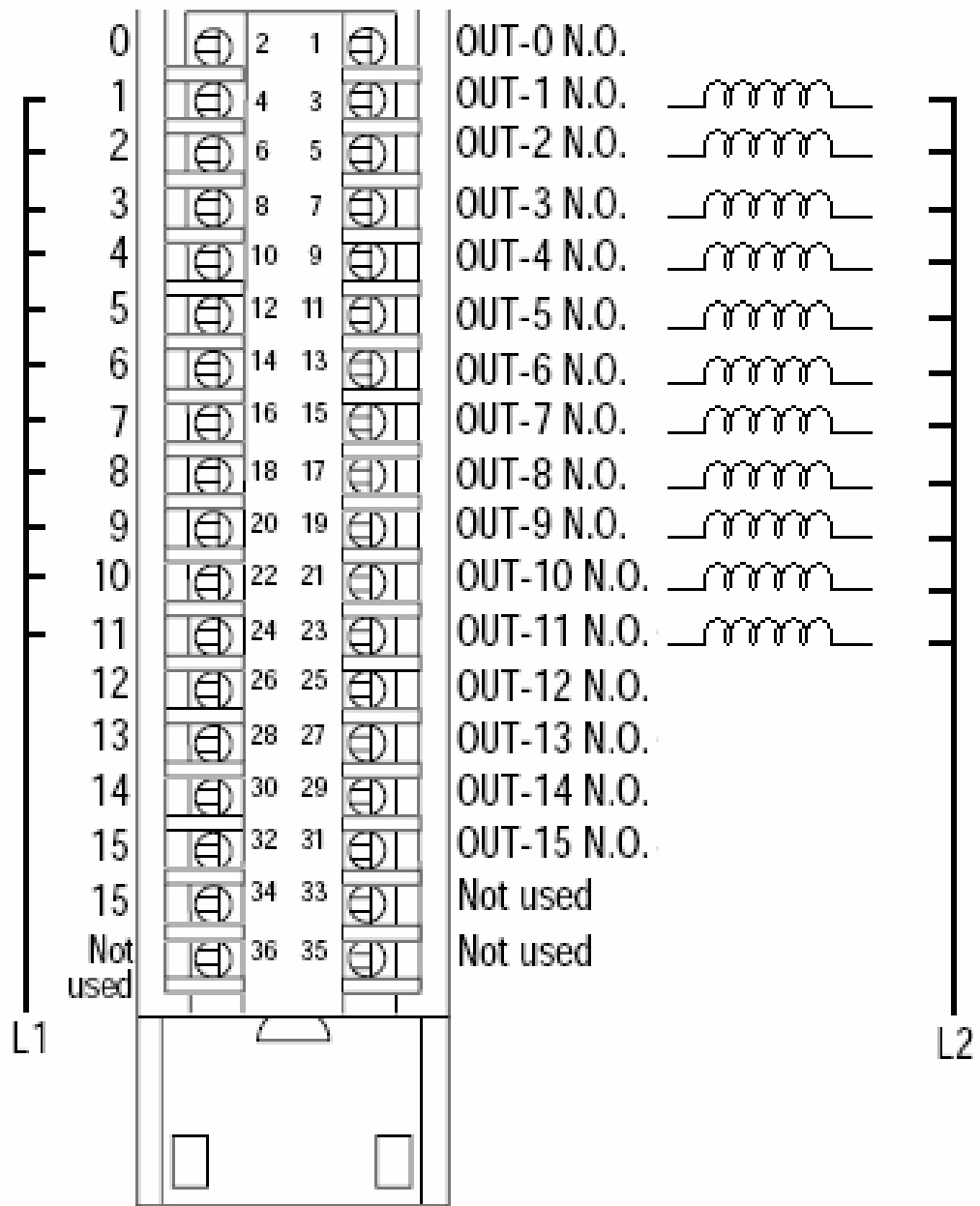


Tabla 10. Salidas digitales

SALIDAS DIGITALES (MODULO 6)		
NOMBRE	SALIDA	DESCRIPCIÓN
B_FSV0402_6	OUT-1	Bobina actuador válvula retorno a licor flotado FLP2
B_FSV0402_7	OUT-2	Bobina actuador válvula retorno a TK agua dulce FLP2
B_FSV0402_8	OUT-3	Bobina actuador válvula retorno afluyente FLP2
B_FSV0403_1	OUT-4	Bobina actuador válvula licor flotado FLP3
B_FSV0403_2	OUT-5	Bobina actuador válvula agua de procesos FLP3
B_FSV0403_3	OUT-6	Bobina actuador válvula de alimentación FLP3
B_FSV0403_4	OUT-7	Bobina actuador válvula retrolavado FLP3
B_FSV0403_5	OUT-8	Bobina actuador válvula de retrolavado a afluentes FLP3
B_FSV0403_6	OUT-9	Bobina actuador válvula retorno a licor flotado FLP3
B_FSV0403_7	OUT-10	Bobina actuador válvula retorno a TK agua dulce FLP3
B_FSV0403_8	OUT-11	Bobina actuador válvula retorno afluyente FLP3

Figura 31. Modulo de salidas análogas 1756-OF8 slot 7

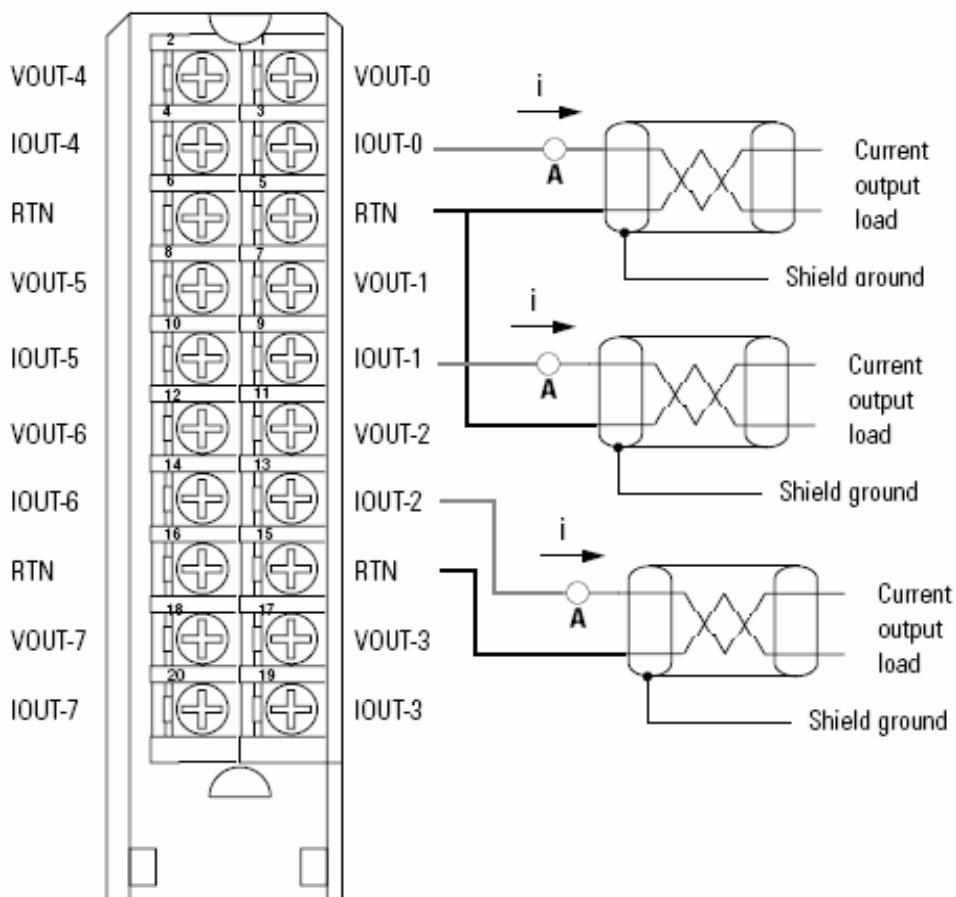


Tabla 11. Salidas análogas

SALIDAS ANÁLOGAS (MODULO 7)		
NOMBRE	SALIDA	DESCRIPCIÓN
FCV0401	IOUT-0	Válvula control FLP 1
FCV0402	IOUT-1	Válvula control FLP 2
FCV0403	IOUT-2	Válvula control FLP 3

7.6. GASTOS GENERALES DEL PROYECTO

7.6.1. Gastos relacionados con el Hardware

Tabla 12. Gastos en Hardware

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	Procesador Logix 5555 ref.: 1756-L55M14	3.681,00	3.681,00
1	Chasis Control Logix Ref.: 1756-A10	987,00	987,00
2	Modulo de Entradas Digitales ref.: 1756-IA32/A	614,00	1.228,00
2	Modulo de Entradas Análogas Ref.: 1756-IF8	700,00	1.400,00
2	Modulo de Salidas Digitales Ref.: 1756-OW16I	626,00	1.252,00
1	Modulo de Salidas Análogas Ref.: 1756-OF8	717,00	717,00
1	Modulo de Comunicación Ref.: 1756-ENBT/A	879,00	879,00
1	Fuente de alimentación Ref.: 1756-PA75	896,00	896,00
VALOR TOTAL EN DOLARES			11.040,00

7.6.2. Gastos relacionados con el Software.

Tabla 13. Gastos en Software

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	RSLogix 5000 Ref: 9324-RLD300	3.015,00	3.015,00
1	RSView 32 Runtime Con RSLinx Ref.: 9301-2SE3303	3.259,00	3.259,00
VALOR TOTAL EN DOLARES			6.274,00

7.6.3. Gastos en Instrumentación

Tabla 14. Gastos en instrumentación

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
500	Cable de instrumentación	2.5,00	1.250,00
100	Borneras	0.8,00	80,00
500	Terminales de aguja	0.1,00	50,00
3	Cajas de paso	100,00	300,00
24	Válvulas automáticas On-Off	2.750,00	66.000,00
3	Válvulas de Control	3.550,00	10.650,00
15	Válvulas manuales	105,00	1.575,00
3	Transmisores de presión	700,00	2.100,00
3	Manómetros	55,00	165,00
3	Válvulas de seguridad	750,00	2.250,00
3	Transmisores de flujo	4.500,00	13.500,00
VALOR TOTAL EN DOLARES			97.920,00

7.6.4. Otros costos

Tabla 15. Gastos directos

COSTOS DIRECTOS		
CONCEPTO	RESPONSABLE	VALOR
Fax	Empresa	Empresa
Internet	Empresa	Empresa
Impresiones	Empresa	Empresa
Papelería	Empresa	Empresa
Transporte	Empresa	Empresa
Materiales	Estudiante	100.000
Almuerzo	Estudiante	770.000
Bibliografía	Estudiante	450.000
Otros	Estudiante	150.000
VALOR TOTAL EN PESOS		1.470.000

Tabla 16. Gastos indirectos

COSTOS INDIRECTOS	
CONCEPTO	VALOR
Director 180 Horas	Empresa
Asesor 16 Horas	Universidad
Estudiante 1020 Horas	\$ 4.488.000

Todos los materiales que se necesiten serán proporcionados por el ingenio Castilla Industrial. Se le proporciona al estudiante en práctica un auxilio de

sostenimiento que equivale a un salario mínimo mensual durante el tiempo que demore el proyecto.

7.7. PROGRAMACIÓN

Para más información ver el anexo 3.

8. MANUAL DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO (FLP)

Con este manual se pretende explicar el funcionamiento de los filtros de lecho profundo. Se hará referencia a un solo filtro, ya que los tres funcionan del mismo modo, lo único que cambia son los nombres de las válvulas.

En la refinería del Ingenio Castilla Industrial a las etapas del proceso se les asignó una nomenclatura, un ejemplo de esto es la etapa de filtrado a la cual se le identificó con el número 0400. Partiendo de esta referencia se le asignan valores a todos los dispositivos que intervengan en el proceso como motores, válvulas de control, válvulas automáticas, válvulas manuales, transmisores y manómetros, que hacen parte indispensable del correcto funcionamiento de los filtros y de la respectiva automatización.

A continuación se explicará cada una de las descripciones que se asignaron en la etapa de filtrado.

FCV 0401, es la válvula de control de flujo.

FSV 0401-1, 0401-2, 0401-3, 0401-4, 0401-5, 0401-6, 0401-7, 0401-8, corresponden a las válvulas solenoide automáticas de control de flujo.

FSV 0401-9 y 0401-10 corresponden a las válvulas manuales para el control de aire comprimido, se les asignó como FSV porque se pretendía que fueran automáticas pero finalmente se instalaron válvulas manuales de bola.

V 0417, 0424, 0401, son las válvulas manuales de bola.

S1, S2, son válvulas de bola para toma de muestra del licor flotado y licor filtrado respectivamente.

8.1. PRIMERA ETAPA

8.1.1. Endulzado. La finalidad de esta etapa es Iniciar el proceso de filtración. Se comienza a llenar el FLP con Licor para remover el agua residual que se quedó en el interior del Filtro desde el último lavado, y su sustitución por el Licor.

- **Posición inicial de las válvulas.** Con las válvulas FSV 0401-1, FCV 0401, FSV 0401-3, abiertas se empieza a bombear Licor para el Filtro. A medida que el FLP se llena la presión debe subir cerca de 4,27 a 5,69 PSI.

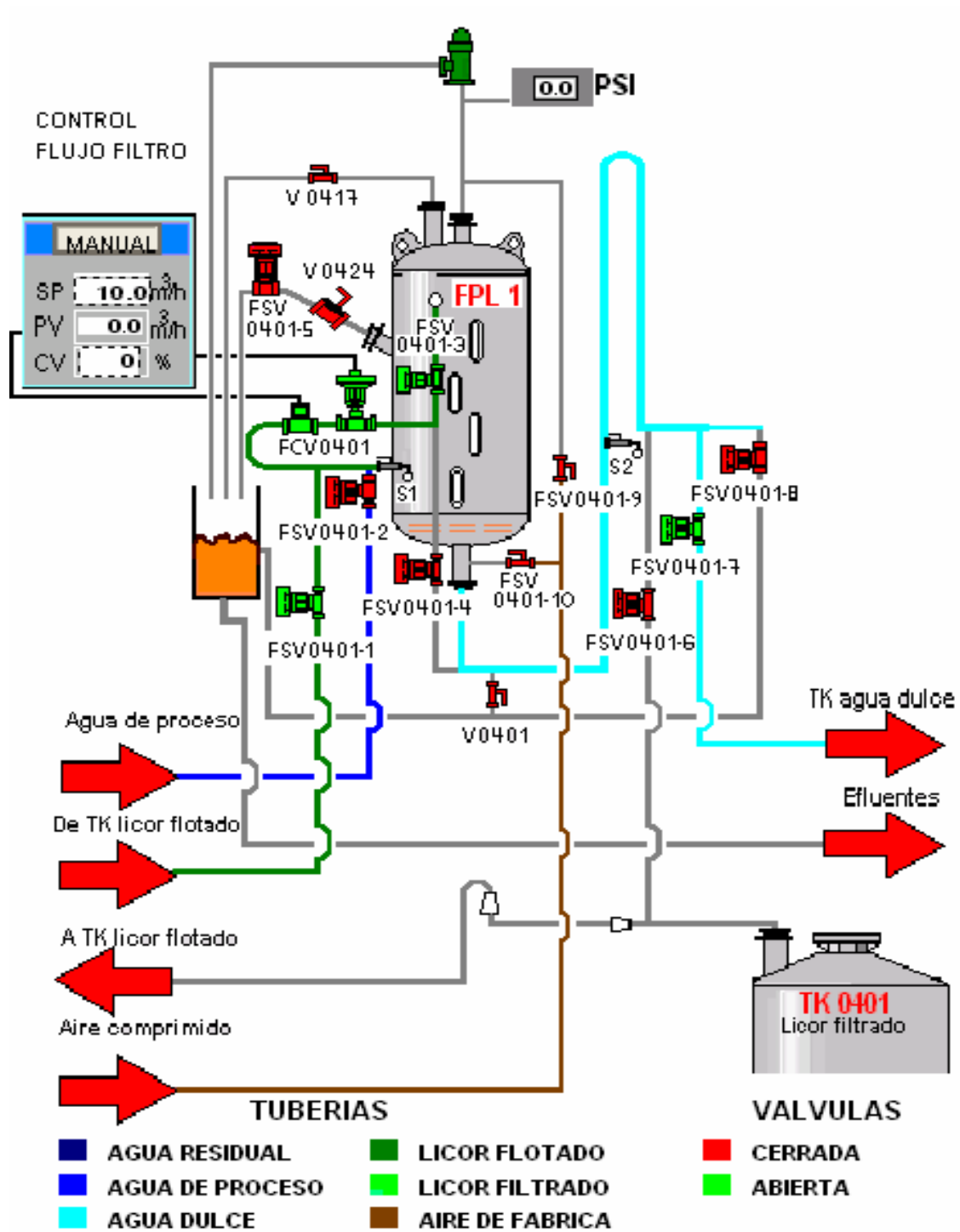
Al empezar a salir Agua Dulce por la válvula FSV 0401-7, para el Tk de Agua Dulce se observa que la presión deberá bajar, por el efecto de la sifón. Se controla el Brix del Agua Dulce por la válvula de toma de muestra S2. El flujo se debe iniciar con un valor relativamente bajo, cerca del 50% del caudal de operación normal del proceso. Esto se recomienda para evitar que se tape prematuramente la capa de carbón y que se acorte el ciclo de filtración. Ver Figura 32.

Se considera esta etapa como terminada cuando el Brix en el Agua Dulce que se toma de muestra en la válvula S2 sea mayor al 40%. Ver tabla 17. Todas las demás válvulas deben estar cerradas.

Tabla 17. Posición de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Licor flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Alimentar el flp con licor Flotado	Fsv 0401-1 Automática On- off Abierta	
Licor flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Controlar el flujo de licor Flotado	Fcv 0401 Automática De control Abierta	El flujo debe de ser lento cerca de 10 m ³ /h. Se deben hacer incrementos de 2 m ³ /h
Licor flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Alimentar el flp con licor flotado	Fsv 0401-3 Automática On-off Abierta	
Agua dulce	Saliendo	Tk agua Dulce	Drenar el agua dulce	Fsv 0401-7 Automática On-off Abierta	Se controla el Brix con la válvula toma de muestra s2 hasta un valor del 40%. A partir de este valor se considera como licor filtrado y se pasa a la siguiente etapa

Figura 32. Posición de las válvulas



8.2. SEGUNDA ETAPA

8.2.1. Filtración (operación normal). La Finalidad de esta etapa es la de alimentar el FLP con Licor flotado para remover los Flóculos en suspensión.

- **Posición inicial de las válvulas.**

Tabla 18. Posición de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Licor Flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Alimentar el flp con licor flotado	Fsv 0401-1 Automática On- off Abierta	
Licor Flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Controlar el flujo de licor flotado	Fcv 0401 Automática De control Abierta	El flujo debe de ser lento cerca de $10 \text{ m}^3/\text{h}$, se debe Incrementar en $2 \text{ m}^3/\text{h}$
Licor Flotado	Entrando	Tk de licor Flotado	Alimentar el flp con licor flotado	Fsv 0401-3 Automática On-off Abierta	
Licor Filtrado	Saliendo	Tk de licor Filtrado	Filtrar los flóculos que trae el licor flotado	Fsv 0401-6 Automática On-off Abierta	

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

La válvula FSV 0401-1 continúa abierta. El caudal de operación está ajustado por el valor indicado en el transmisor de flujo. El incremento de flujo será despacio, aproximadamente cerca de 2 m³/h, para evitar que las capas se queden compactadas y se produzca pérdida de carga.

La válvula FSV 0401-6 se queda totalmente abierta. El Licor Filtrado pasa al Tk Licor Filtrado.

Cada hora se debe anotar la presión de operación. La planilla de control debe quedar en el cuerpo de cada FLP permitiendo el control visual del incremento de la presión.

La presión límite de operación esta marcada en cada manómetro y tiene un valor de 25 PSI. La válvula de seguridad se ajustará para una presión máxima de 27 PSI.

Cada FLP tiene instalado un Presostato, ajustado para una presión de 27 PSI. A partir de este valor el supervisor de control automáticamente interrumpe la etapa de Filtración, cerrando la válvula de entrada de Licor FSV 0401-1. La indicación de la presión por el presostato esta siempre visualizada en la computadora.

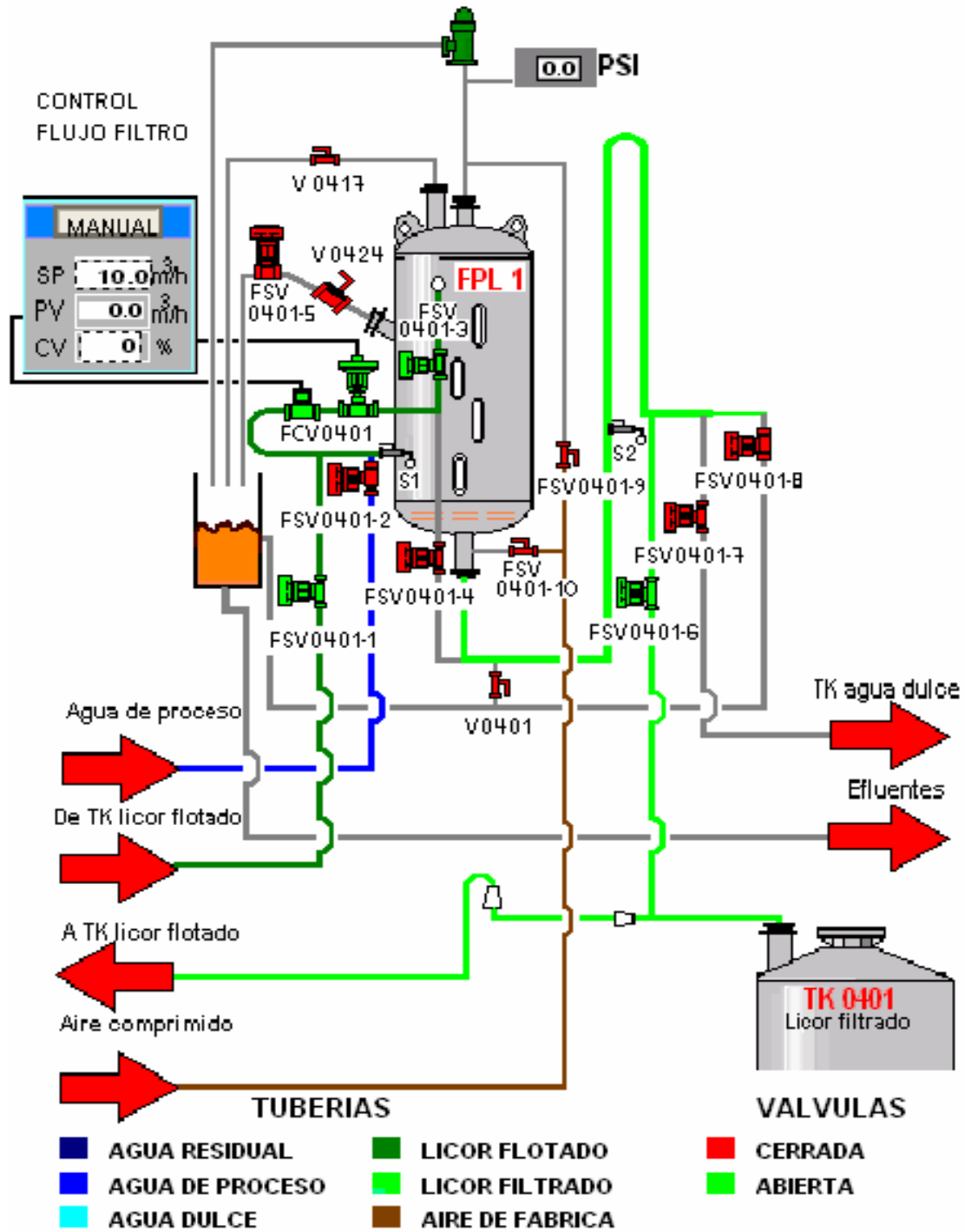
Durante la operación se debe acompañar la elevación del nivel del Licor del FLP. Inicialmente el nivel estará ligeramente por arriba de la capa de Carbón y, mientras la presión se eleva, el nivel también subirá proporcionalmente. La presencia de espuma dentro del FLP indica que la bomba estaría cavilando por falta de Licor.

Es importante observar si hay burbujas de aire, lo que indica paso de aire por la válvula de aire de Retrolavado FSV 0401-10. Este problema se debe corregir rápido debido a que puede llevar a pérdida de Arena y Carbón, además de aumentar la pérdida de carga. Al llegar a la presión especificada (25 PSI) se considera como terminado el ciclo de Filtración.

El ciclo varía en función de la calidad del Licor Flotado. Con Licor limpio, de alto brillo y sin flóculos, se debe operar hasta cerca de 12 horas, o más. Con Licor sucio, con alto índice de Flóculos en suspensión, se irá reduciendo el ciclo a valores bastante bajos, hasta 2 horas, o menos.

Hay que estar pendiente de que el ciclo mayor o menor, no sea un problema del FLP y sí, una indicación de que la flotación no esta operando adecuadamente, para así poder tomar las medidas necesarias y resolver el problema. Ver figura 33.

Figura 33. Posición válvulas



8.3. TERCERA ETAPA

8.3.1. Drenaje del licor al final del ciclo. La finalidad de esta etapa es la de sacar la mayor parte posible del Licor que se queda retenido en el Filtro, para reducir la generación de agua dulce en la etapa de desendulzado.

Tabla 19. Posición inicial de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Aire Comprimido	Entrando	Compresor de fabrica	Alimentar con aire comprimido el flp	Fsv 0401-9 Manual Abierta	El ajuste se debe hacer manual
Licor filtrado	Saliendo	Tk de licor filtrado	Aprovechar el licor que se queda dentro del filtro.	Fsv 0401-6 Automática On-off Abierta	Operar hasta que no se tenga mas licor dentro del filtro, esto se chequea con la válvula de toma de muestra s2

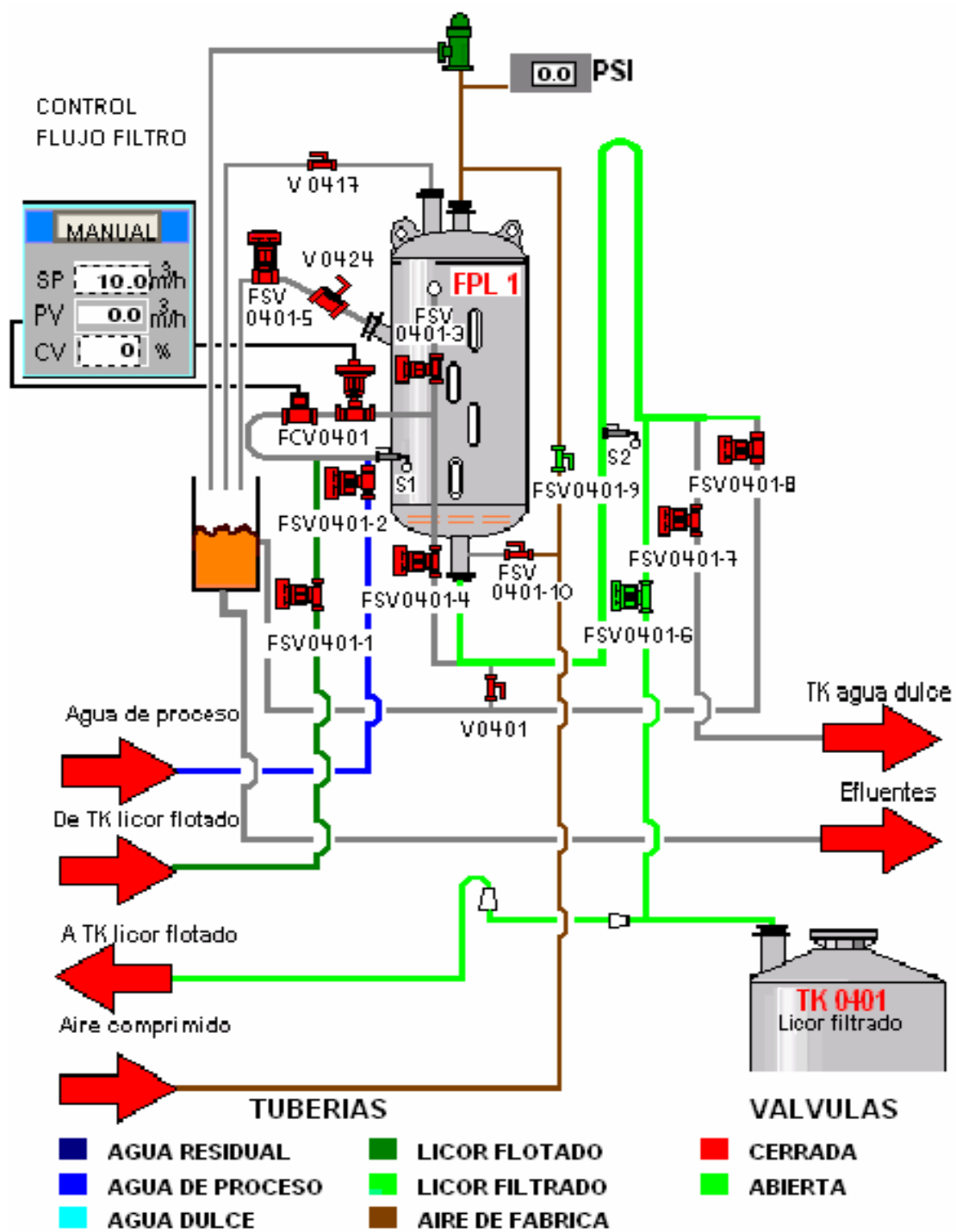
Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Se cierra la válvula FSV 0401-1 (entrada de licor) se mantiene la válvula FSV 0401-6 abierta y se abre manualmente la válvula FSV 0401-9 (entrada de aire). El aire aumenta la presión del vaso y desplaza el Licor a través de las capas filtrantes, espaciando el FLP. Esta operación dura de 10 a 20 minutos.

El aumento de presión es lento para evitar la compactación de las capas. Debe observarse la indicación del transmisor de presión, pues no debe ser superior a 25 PSI.

Cuando ya no hay más salida de Licor, para el Tk de Licor Filtrado, se considera esta etapa como concluida. El FLP esta listo para empezar el proceso de desendulzamiento y lavado. Se chequea que ya no halla más Licor, con el uso de la válvula de toma de muestra S2. Ver figura 34.

Figura 34. Posición de válvulas



8.4. CUARTA ETAPA

8.4.1. Desendulzado. Su Finalidad consiste en recuperar el dulce contenido en las capas del FLP, a través de su difusión con agua de proceso. El agua dulce generada será utilizada para la refundición del azúcar.

Tabla 20. Posición Inicial de las válvulas

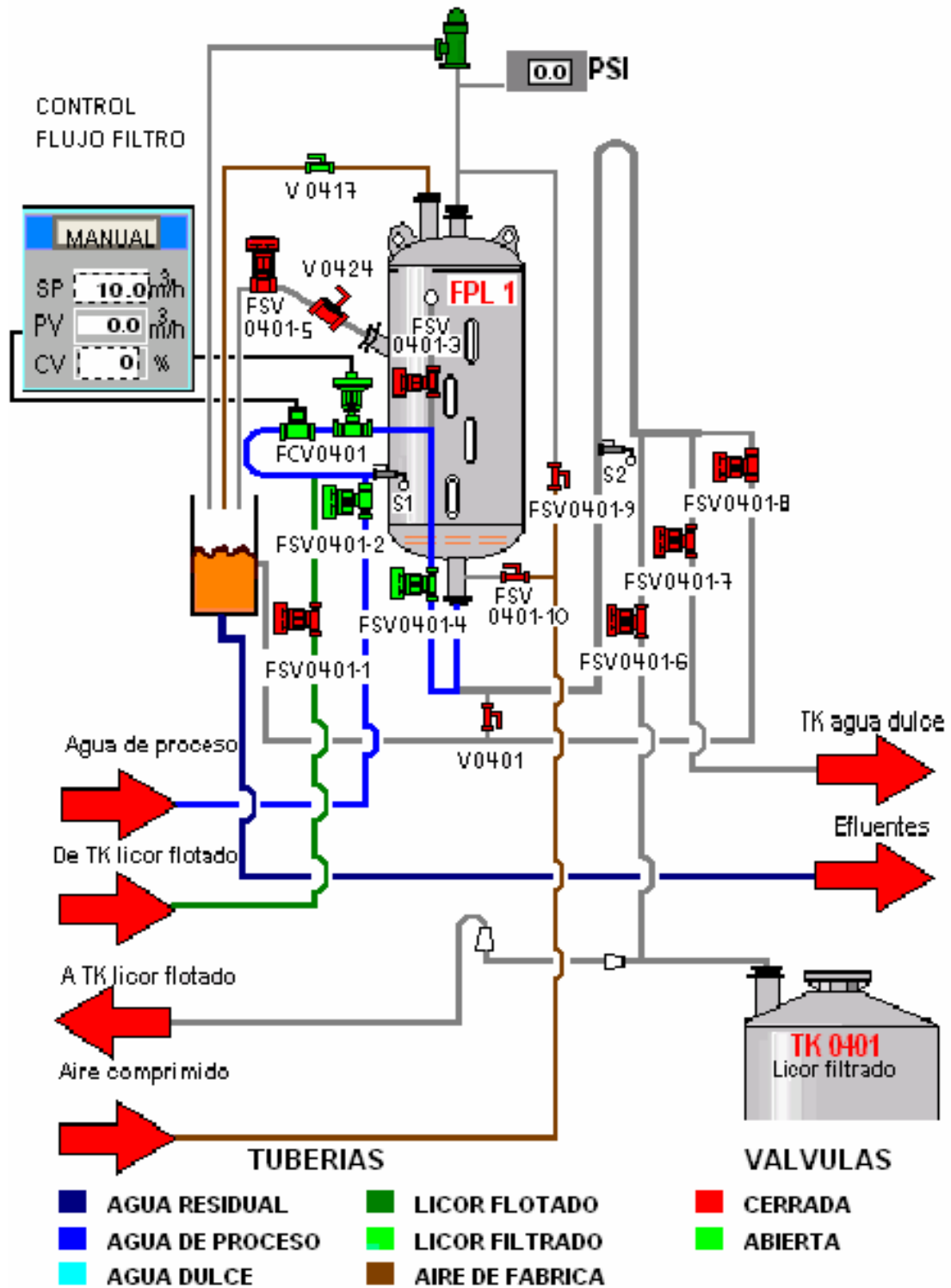
PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Agua de Condensados	Entrando	Tk de agua De condensados	Alimentar el fip con agua para recuperar el azúcar contenido en las capas del filtro	Fsv 0401-2 Automática On-off Abierta	Llenar el fip hasta que el agua cubra la capa de carbón, cerca de 20 cm. por encima
Agua de Condensados	Entrando	Tk de agua De condensados	Controlar el flujo del agua de condensados	Fcv 0401 Automática De control Abierta	El flujo debe ser lento cerca de 10 m ³ /h,
Agua de Condensados	Entrando	Tk de agua De condensados	Alimentar el fip con agua para recuperar el azúcar contenido en las capas del filtro	Fsv 0401-4 Automática On-off Abierta	El agua ingresa al fip por la parte inferior. Esperar cerca de 10 minutos para que el azúcar sea disuelto por el agua
Aire y agua	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Drenar el aire y el agua para despresurizar el filtro	V 0417 Manual Abierta	En esta etapa debe de permanecer abierta

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Se empieza a inyectar agua al FLP por intermedio de las válvulas FSV 0401-2, FCV 0401, FSV 0401-4, el flujo debe de ser cerca del 50% del flujo de operación. Se debe utilizar siempre agua caliente y de calidad, sin contaminación o presencia de arcilla y arena. La presencia de sólidos tapaná las capas, no permitiendo el lavado posterior. Ver figura 35.

Se debe de llenar el FLP hasta que el agua cubra la capa de carbón en unos 20cm.

Figura 35. Posición de válvulas



8.4.2. Drenaje de agua dulce. Su Finalidad es la de drenar el agua dulce con aire comprimido.

Tabla 21. Posición inicial de las válvulas

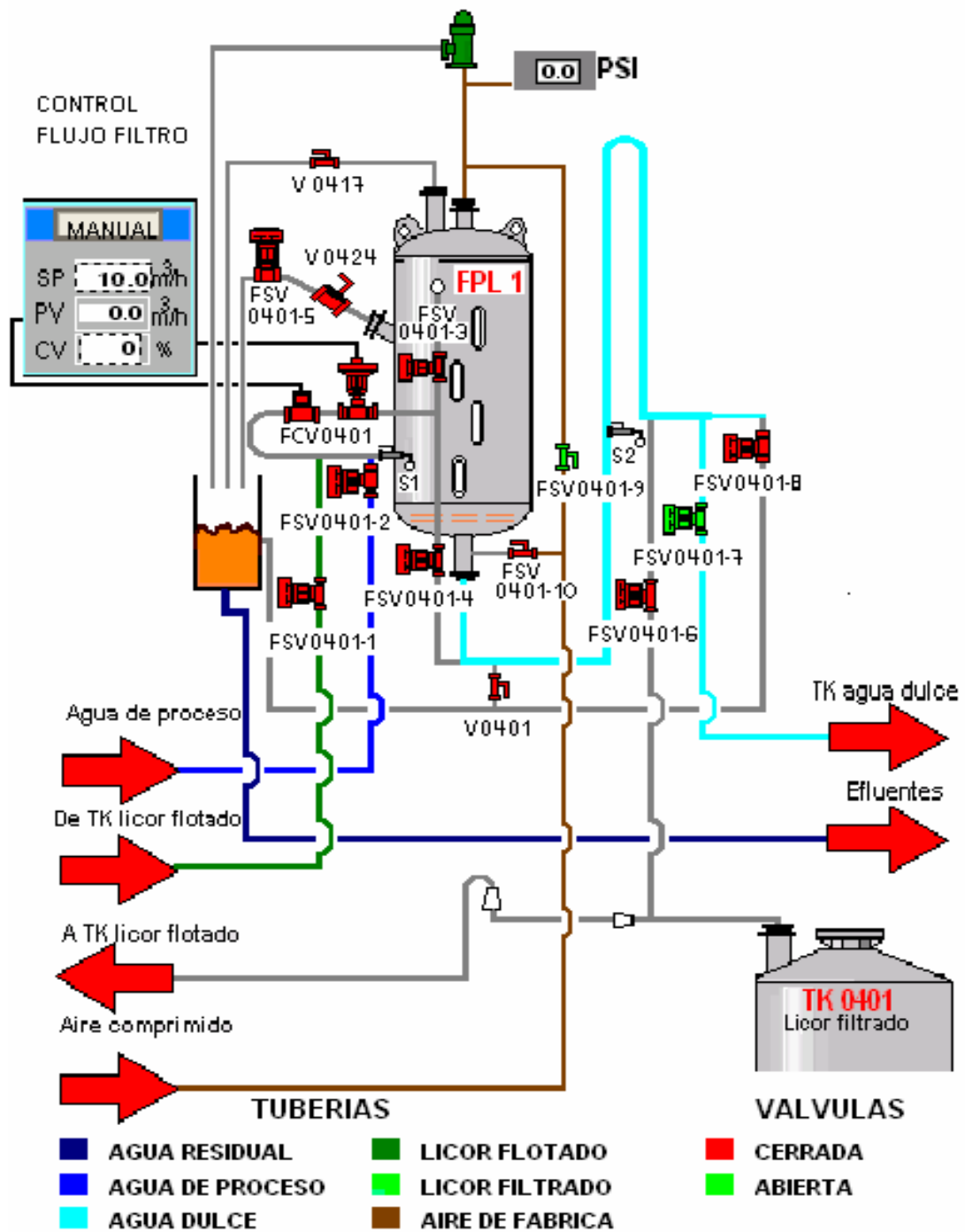
PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Aire Comprimido	Entrando	Compresor de fabrica	Alimentar con aire comprimido el Flp	Fsv 0401-9 Manual Abierta	El ajuste se debe hacer manualmente
Agua Dulce	Saliendo	Tk de agua dulce	Aprovechar el Agua Dulce que se genera con la azúcar residual	Fsv 0401-7 Automática On-Off Abierta	Se debe tomar muestras de Brix en la válvula toma de muestra S2

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Se deben tomar muestras en la válvula de toma de muestra S2. En caso de que el Brix final del Agua Dulce no baje hasta cero es necesario repetir toda la etapa 4 (desendulzado y drenaje de agua dulce).

Nota: El llenado del FLP con el agua debe de ser suave y sin agitación para no liberar los flóculos en las capas del filtro. Ver figura 36.

Figura 36. Posición válvulas



8.5. QUINTA ETAPA

8.5.1. Llenado con agua. Su finalidad consiste en limpiar las capas del FLP, con la remoción de los flóculos adheridos.

Tabla 22. Posición inicial de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Agua de condensados	Entrando	Tk de agua de condensados	Alimentar el flp con agua para recuperar la azúcar contenida en las capas.	Fsv 0401-2 Automática On- off Abierta	Llenar el flp hasta que el agua cubra la capa de carbón, con cerca de 20 cm. por encima
Agua de condensados	Entrando	Tk de agua de condensados	Controlar el flujo de agua de condensados	Fcv 0401 Automática De control Abierta	El flujo debe ser rápido cerca de 25 m ³ /h
Agua de condensados	Entrando	Tk de agua de condensados	Alimentar el flp con agua a presión para remover los flóculos adheridos en las capas de grava	Fsv 0401-4 Automática On-off Abierta	El agua ingresa al flp por la parte inferior. El flujo debe de ser alto.
Aire de despresurización ó venteo	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Drenar el aire para despresurizar el filtro	V 0417 Manual Abierta	Debe permanecer abierta

Todas las demás válvulas deben de permanecer cerradas.

La operación del Retrolavado, con expansión de las capas, es la más importante de todo el proceso de operación. De ella dependerá el ciclo de filtración y la eficiencia del FLP, además de la posibilidad de pérdida de material y de la presión de trabajo.

Se debe efectuar esta operación de modo cuidadoso y eficiente.

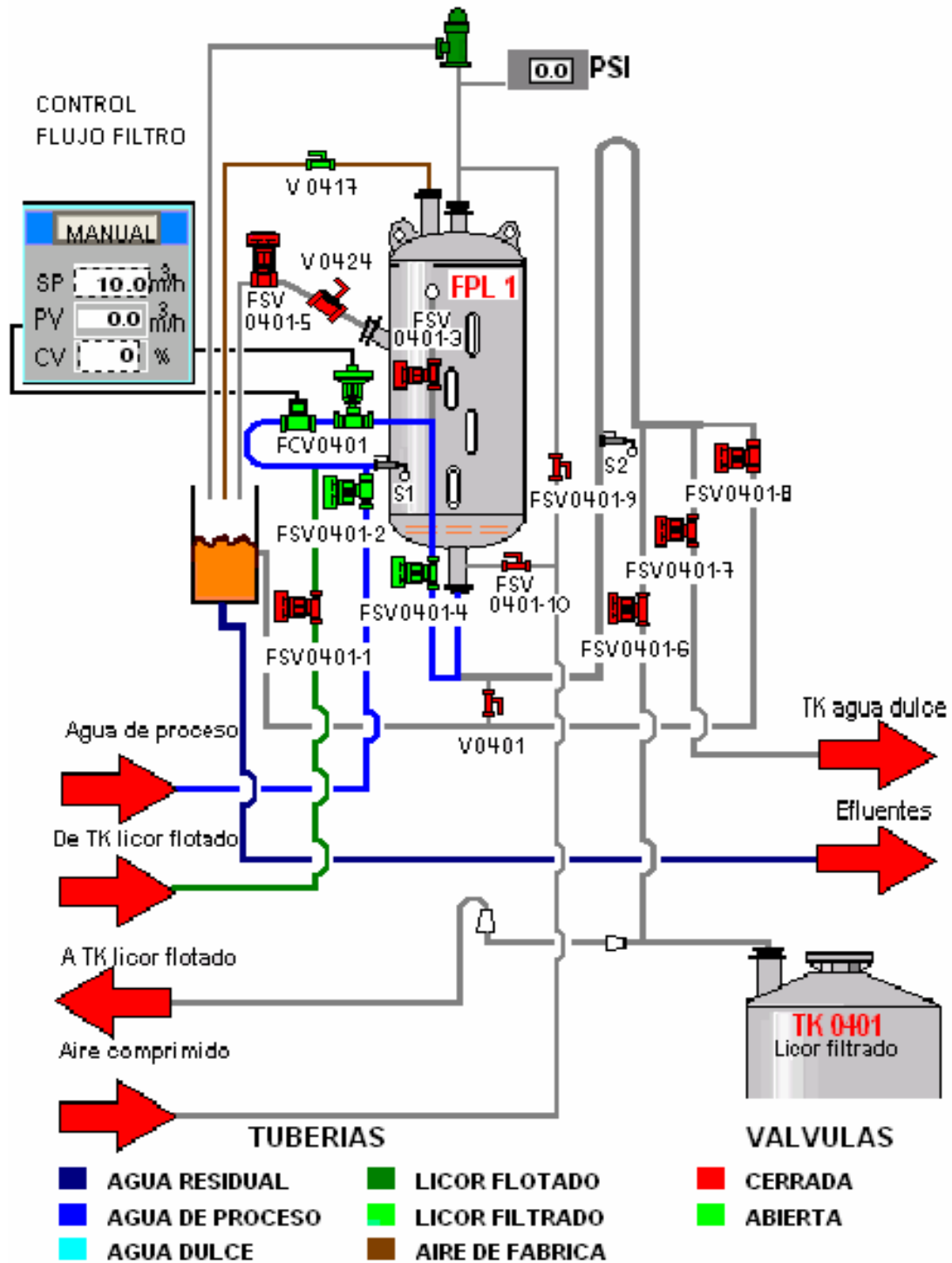
El FLP está con parte del cuerpo vacío, por el drenaje del Agua dulce.

Se abre la válvula V 0417 para aliviar la presión y permitir la salida de aire.

Se abre la válvula FSV 0401-4 (entrada de agua de retrolavado) y se empieza a llenar el FLP, hasta que cubra la capa de Carbón como mínimo unos 20cm. A partir de esta condición se disminuye el flujo, controlado por el transmisor de flujo FCV 0401 y pasamos a la siguiente etapa.

Nota: La válvula de agua de esta etapa y la de aire de la etapa siguiente se deben de abrir simultáneamente o por lo menos unos minutos después. Cabe anotar que primero debe abrirse la válvula de agua. Ver figura 37.

Figura 37. Posición de válvulas



8.5.2. Entrada súbita de aire comprimido. Su finalidad consiste en despegar las partículas de flóculos Adheridas a las capas Filtrantes.

Tabla 23. Posición inicial de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Aire Comprimido	Entrando	Compresor Fabrica	Alimentar el Flp con aire de retrolavado	Fsv 0401-10 Manual Abierta	El ajuste se debe hacer manualmente.
Aire de Despresurización o Venteo	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Drenar el aire para despresurizar el filtro	V 0417 Manual Abierta	Debe permanecer abierta

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Esta etapa se hace simultáneamente a la etapa anterior. Se abre la válvula de Aire de Retrolavado, FSV 0401-10, con una presión alta y se empieza la inyección de aire para ayudar a despegar las partículas de Flóculos adheridas a las Gravas, Arena y Carbón. Con la reducción de la densidad aparente del agua, debido a las burbujas de aire, estas partículas son arrastradas con mayor facilidad, en la corriente ascendente del agua. Cuando el nivel del agua supera la capa de carbón se reduce la presión del aire, y se ajusta para que sea apenas suficiente para burbujear.

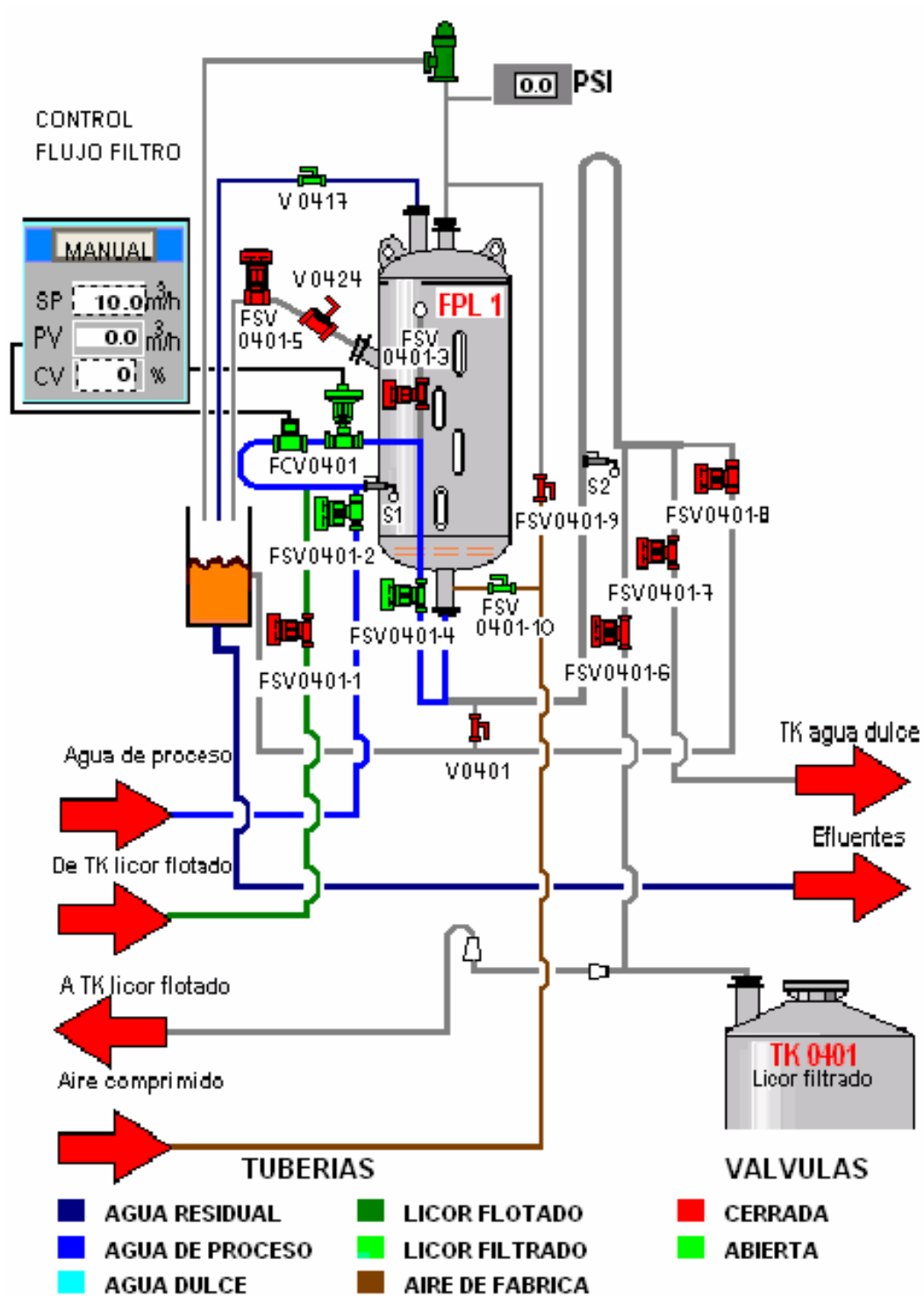
El flujo del Agua de Retrolavado se ajusta para que permita el arrastre de los flóculos, pero no arrastre los granos de Carbón. Esto se controla visualmente, a través de las mirillas de vidrio. Se procede con esta operación hasta que la calidad del agua de Retrolavado que se observa en la caja recolectora de drenaje salga limpia.

Se cierra la válvula de entrada de Agua de Retrolavado, FSV 0401-4, para que no entre más agua.

Se espera por un tiempo determinado para que los granos de carbón se asienten de vuelta a su capa original, así como la arena, este tiempo será determinado por pruebas prácticas. Como la arena tiene densidad más elevada que el carbón, ella se deposita primero, quedándose sobre ella el Carbón, como en la carga original.

Una vez depositados la arena y el carbón, se pasa a la etapa siguiente, el Drenaje Lateral. Ver figura 38.

Figura 38. Posición de válvulas



8.5.3. Drenaje parcial o lateral del filtro. Su finalidad consiste en drenar el agua sobre la capa de carbón y permitir de nuevo el Retrolavado del FLP.

Tabla 24. Posición inicial de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Agua de Retrolavado	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Expulsar flóculos	Fsv 0401-5 Automática On-off Abierta	
Agua de Retrolavado	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Expulsar flóculos	V 0424 Manual Abierta	
Aire de despresurización o venteo	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Drenar el aire para Despresurizar el filtro	V 0417 Manual Abierta	Debe permanecer abierta

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

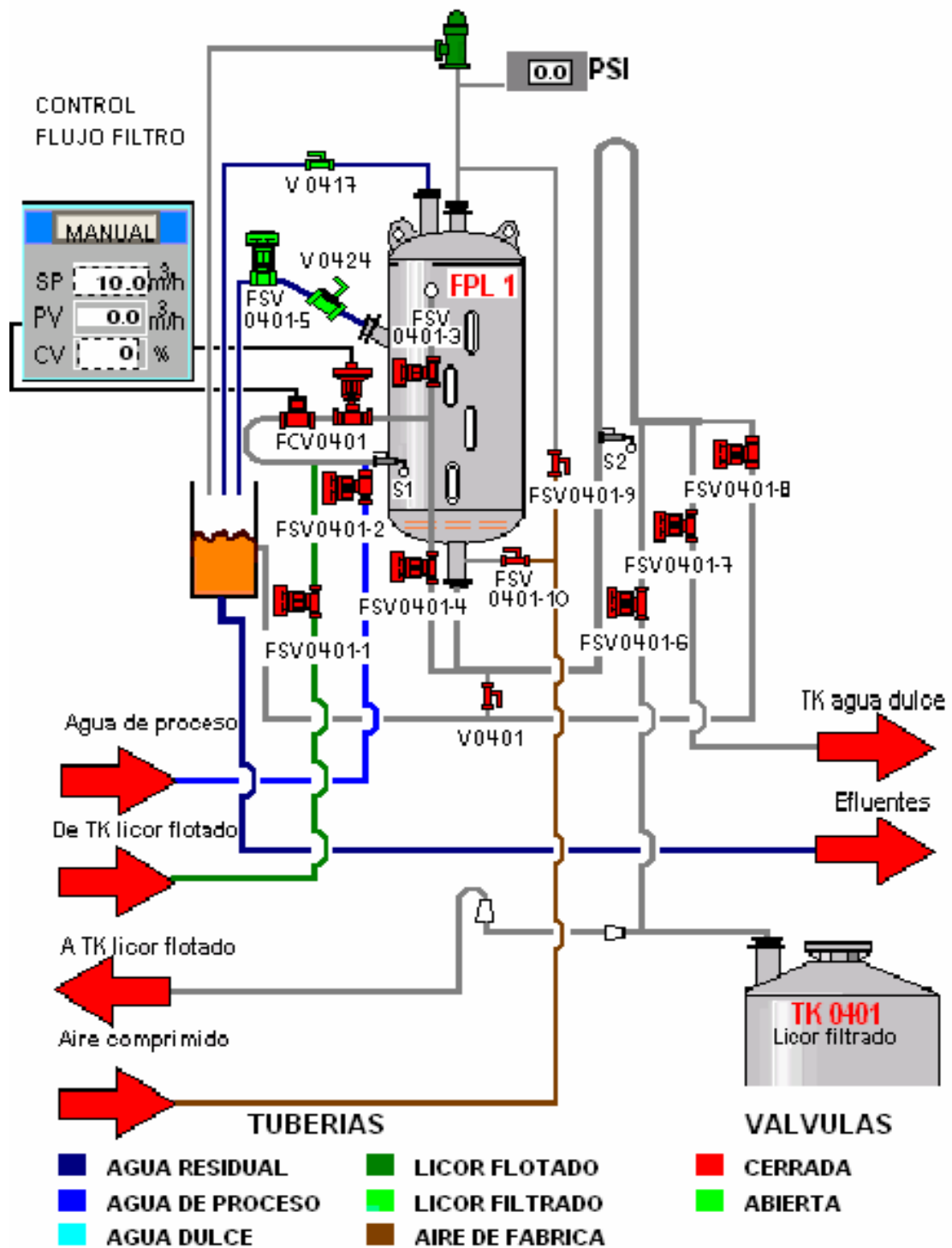
Observar el descenso del carbón. Cuando ya no hay mas carbón flotando en el agua, se abre la válvula de drenaje lateral, FSV 0401-5 y V 0424. Parte del agua que se queda sobre la capa de Carbón será drenada por estas válvulas laterales, bajando el nivel del líquido. Esto permitirá que se pueda reiniciar otra Expansión y otro Retrolavado, sin el riesgo de que se tenga un “golpe de ariete” dentro del Filtro.

Observar siempre que no halla arrastre de carbón. Se debe esperar el tiempo suficiente para que los granos de carbón se asienten sobre la capa de Arena.

Se cierra las válvulas de drenaje lateral, FSV 0401-5 y V 0424. Observar que la válvula de drenaje superior V 0417, se quede abierta durante toda la operación. Esto es por seguridad, para evitar que se tenga una sobre presión.

Nota: Se debe repetir toda la etapa 5 por lo menos 2 veces, hasta asegurarse que al final el agua de salida de la caja recolectora se mantenga limpia. Ver figura 39.

Figura 39. Posición de válvulas



8.6. SEXTA ETAPA

8.6.1. Drenaje del agua de retrolavado. Su finalidad consiste en drenar el agua de retrolavado para reducir la generación de agua dulce para el próximo ciclo.

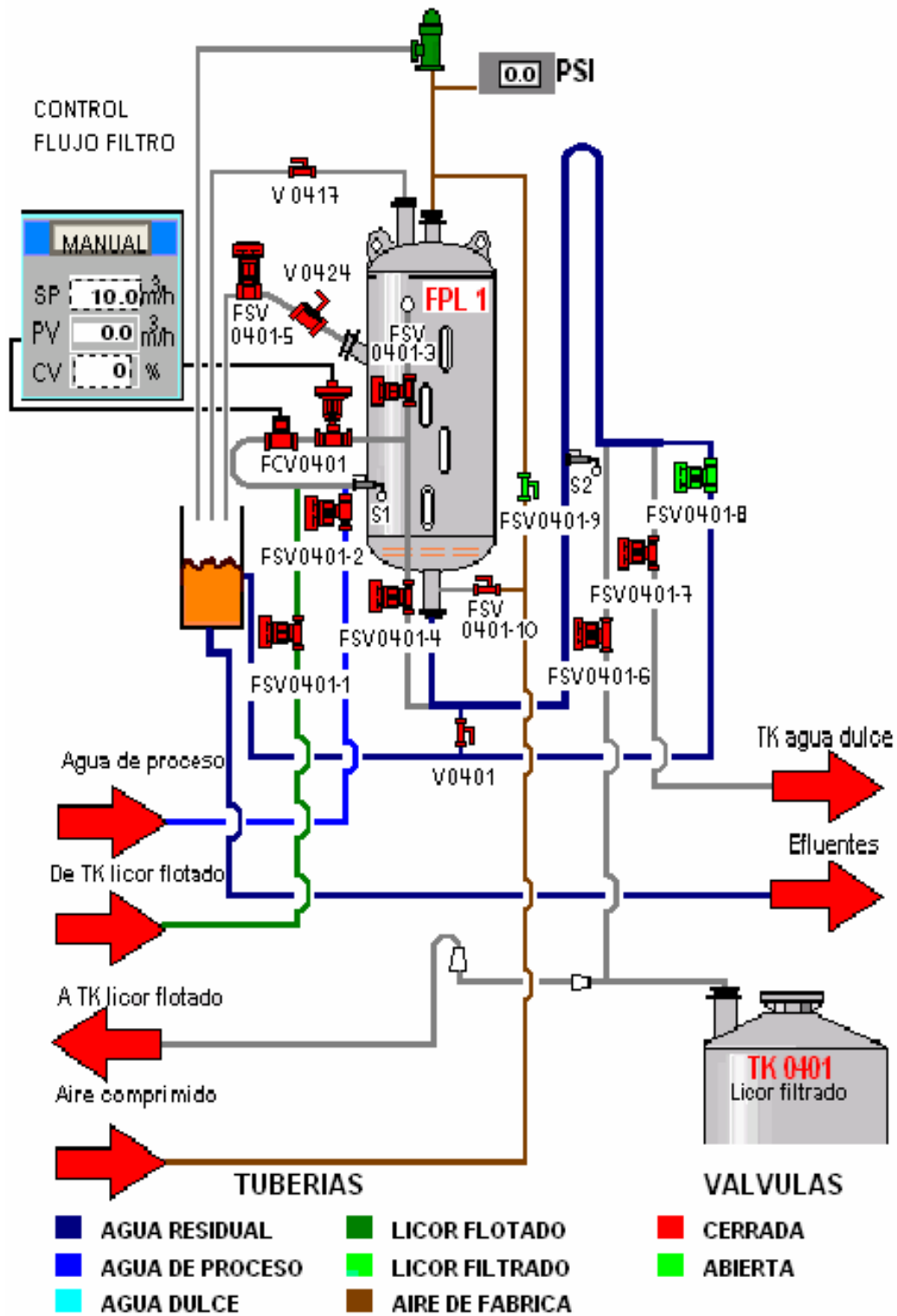
Tabla 25. Posición inicial de las válvulas

PRODUCTO	FLUJO	ORIGEN / DESTINO	OPERACIÓN	VÁLVULA	OBSERVACIÓN
Aire Comprimido	Entrando	Compresor Fabrica	Se utiliza el aire para drenar el agua que queda en el interior del Flp	Fsv 0401-9 Manual Abierta	El ajuste se debe hacer manualmente
Agua de drenaje	Saliendo	Caja recolectora de drenaje	Drenar el agua para reducir la generación de agua dulce	Fsv 0401-8 Manual Abierta	Debe permanecer abierta hasta que no salga más agua en la válvula toma de toma s2

Todas las demás válvulas deben permanecer cerradas.

Abrir la válvula de Aire FSV 0401-9 para presurizar el filtro, drenar a través de la válvula FSV 0401-8, todo el agua para la caja recolectora hasta que el filtro se quede vacío, esto se determina por la válvula toma de muestra S2. Ver figura 40.

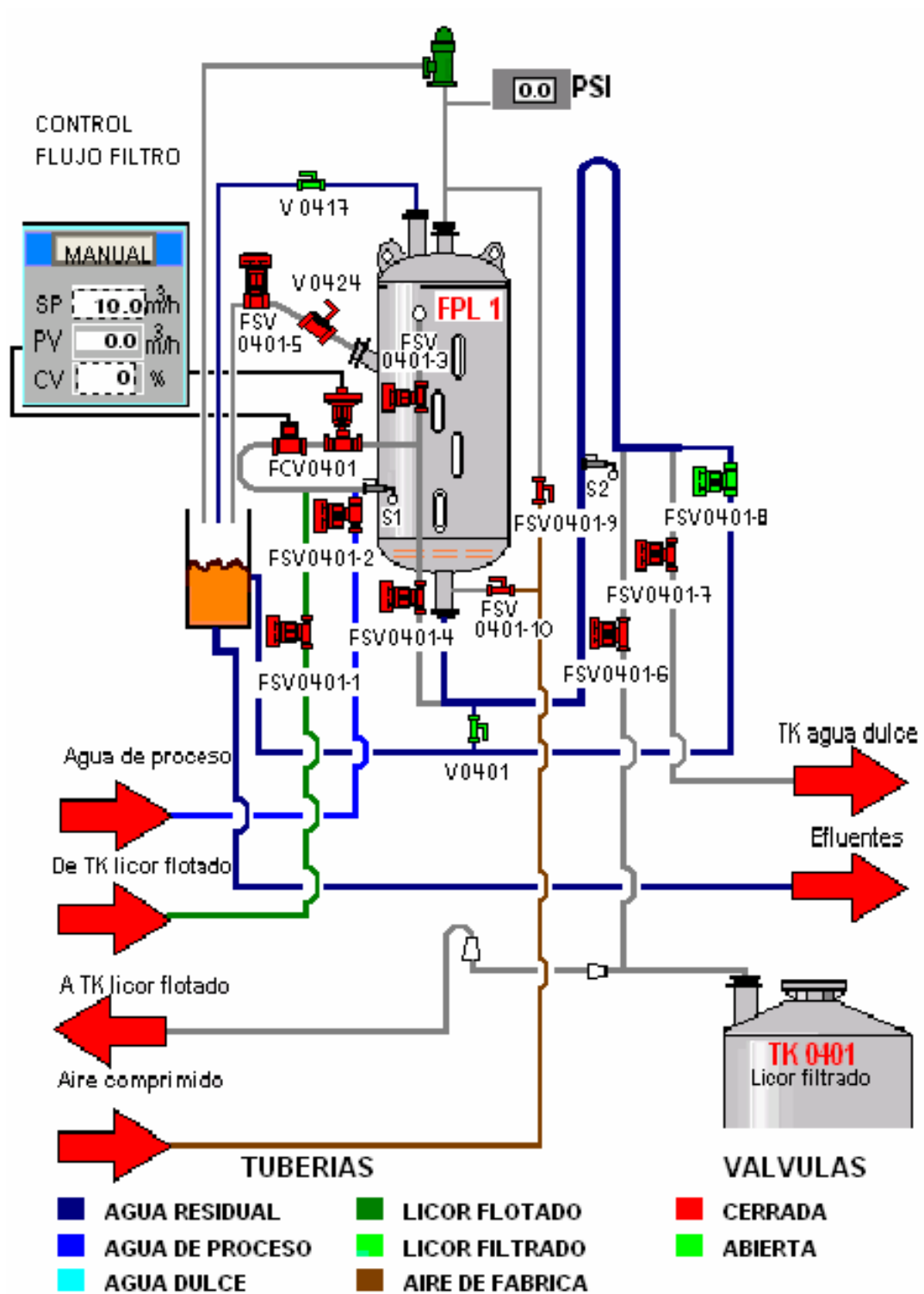
Figura 40. Posición de válvulas



Cuando se verifique que el filtro no tiene más agua de drenaje a través de la válvula toma de muestra S2, inmediatamente se cierra la válvula de entrada de aire FSV 0401-9, y por seguridad se abre la válvula de despresurización o venteo del filtro V 0417.

Para concluir con la operación del FLP se debe abrir la válvula manual V 0401 para drenar el agua que se queda dentro de la tubería, esto se realiza para reducir la generación de agua dulce en el próximo ciclo (etapa de endulzado). Ver figura 41.

Figura 41. Posición de válvulas



9. EVALUACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS Y BENEFICIOS OBTENIDOS

Satisfactoriamente se dio cumplimiento a los objetivos planteados en este proyecto presentado para optar por el título de Ingeniero Electrónico.

Se realizó la automatización de los filtros de lecho profundo ubicados en la refinería del Ingenio Castilla Industrial.

La puesta en marcha de los filtros de lecho profundo no se pudo realizar en el tiempo estipulado en el cronograma debido a retrasos en la construcción.

Los resultados obtenidos con la automatización de los filtros de lecho profundo a pesar de que tuvo retrasos en la construcción de los mismos, fueron exitosos.

10. CONCLUSIONES

Se automatizó con un PLC Controllogix 5000 los filtros de lecho profundo

Se utilizaron adecuadamente las herramientas proporcionadas por la empresa con el fin de optimizarlas.

El análisis de los resultados, beneficios obtenidos permitió hacer recomendaciones a la empresa.

Se identificaron físicamente muchos de los componentes y elementos de los cuales solo se tenía información teórica obtenida en las clases, esto permitió una mayor apreciación de las ventajas y desventajas de cada uno a nivel industrial.

11. RECOMENDACIONES

Cada vez que se realice un cambio en el proceso se debe realizar la actualización del manual.

Se debe de actualizar el firmware del procesador por lo menos cada año.

La fuente del PLC debe de estar conectada a un voltaje regulado.

El aire comprimido para las válvulas neumáticas debe de ser lo mas seco posible, por esta razón se deben de utilizar filtros

BIBLIOGRAFÍA

COBO QUINTERO, José Elmar . Diseño de la Automatización de las Centrifugas Azucareras de Primera y el Sincronismo entre ellas por PLC. Santiago de Cali, 1995. 350 p. Tesis (Ingeniero Electrico). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías.

GONZALES, Tulio Enrique. Automatización de la Operación de una Centrifuga de Utilización en los Ingenios Azucareros. Santiago de Cali, 1991. 380 p. Tesis (Ingenieria Electrica). Universidad Autónoma de Occidente. Faculta de Ingenierías.

MEADE, Jhon. Manual del azúcar de caña: Refino. 3 ed. Brasil: McGraw-Hill, 1999. 250 p.

ANEXOS

Anexo A. 1. MARCO TEORICO

1.1 AUTOMATIZACIÓN

La automatización de un sistema es un procedimiento mediante el cual se transfieren las tareas de producción, realizadas habitualmente por operarios, a un conjunto de elementos tecnológicos teniendo en cuenta las posibles eventualidades que se puedan producir.

En el pasado los sistemas automatizados eran sistemas cerrados que controlaban individualmente cada proceso individual de la instalación pero actualmente se tiende a sistemas abiertos que permitan optimizar el funcionamiento de toda la planta. Un sistema automatizado consta de dos partes principales, la parte Operativa y la parte de Mando

1.2 PARTE OPERATIVA

Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores y preaccionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los detectores o captadores como fotodiodos y finales de carrera.

1.2.1 Detectores y Captadores. Los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de la variación de ciertas magnitudes físicas del sistema y del estado físico de sus componentes.

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores.

Los transductores se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

1.2.1.1 Transductores binarios. Suministran una señal todo o nada claramente diferenciada. Los finales de carrera, termostatos, o contactores son transductores de este tipo (figura 1).



Figura 1: Transductores binarios

1.2.1.2 Transductores numéricos. Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias, Gray, BCD. Los codificadores de posición angulares absolutos (encoders) son transductores de este tipo (figura 2).



Figura 2: Encoder absoluto E6B2

1.2.1.3 Transductores analógicos. Suministran una señal continua proporcional al valor de la magnitud. Los transductores de presión son de este tipo (figura 3).

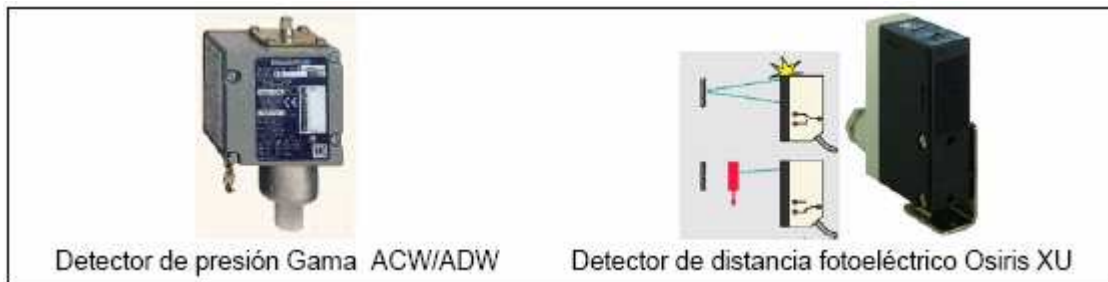


Figura 3: Transductores analógicos

Algunos de los transductores más utilizados son: finales de carrera, fotocélulas, pulsadores, encoders, etc.

1.2.2 Accionadores y Preaccionadores. El accionador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Un accionador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos:

1.2.2.1 Los accionadores eléctricos. Son adecuados para movimientos angulares y en el control de velocidad de ejes. Utilizan como fuente de energía la electricidad (figura 4).



Figura 4: Accionadores eléctricos

1.2.2.2 Los accionadores neumáticos. Son adecuados para aplicaciones en movimientos lineales cortos que se producen, por ejemplo, en operaciones de transferencia, ensamblajes, aprietes. Utilizan el aire comprimido como fuente de energía.

1.2.2.3 Los accionadores hidráulicos. Sólo se utilizan cuando los esfuerzos a desarrollar son muy importantes o cuando las velocidades lentas deben ser controladas con precisión.

Los accionadores más utilizados en la industria son: cilindros, motores de corriente alterna, motores de corriente continua, etc. Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o

bien requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando. Esta preamplificación se traduce en establecer, interrumpir o regular la circulación de energía desde la fuente al accionador. Algunos ejemplos de preaccionadores podrían ser contactores, variadores de velocidad (preaccionadores eléctricos, figura 5) o válvulas distribuidoras (preaccionadores neumáticos).



Figura 5: Preaccionadores eléctricos

1.3. PARTE DE MANDO

Suele ser un autómata programable (tecnología programada). Para que pueda existir una comunicación entre el operador y el sistema de control existen los elementos de salida de información y los elementos de entrada de órdenes.

El mando de los sistemas automatizados ha ido evolucionando con el avance de la tecnología. La creación de los microprocesadores y el desarrollo de su capacidad de cálculo y almacenamiento de datos, ha permitido que la automatización de procesos coseche los buenos resultados obtenidos.

1.3.1 Sistemas de control.

1.3.1.1 Tecnologías cableadas. Consiste en interconectar reles con los elementos de entrada y salida de manera que, basándose en conexiones en serie y en paralelo de elementos, al final se obtenga el automatismo deseado.

Esta fue la primera solución que se utilizó para crear autómatas industriales, pero presenta varios inconvenientes. Estos inconvenientes son básicamente: su poca flexibilidad para aceptar cambios futuros y el gran tamaño de las instalaciones de control.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo son los reles electromagnéticos de conmutación, que son unos dispositivos de estructura muy parecida al contactor, pero en el que todos sus contactos están diseñados para una misma corriente que además, siempre es pequeña.

1.3.1.2 Tecnología neumática. Se basa en el uso de aire comprimido y otros elementos como válvulas distribuidoras, detectores, cilindros, pulsadores y pilotos neumáticos (figura 6). La ventaja principal de este método es que no se ve afectado por las interferencias electromagnéticas, pero en contra, necesita mucho espacio, crea un ruido importante y necesita un mantenimiento importante.



Figura 6 : Elementos básicos de tecnología neumática

En caso que se requiera mayor potencia o precisión puede emplearse la oleohidráulica, debido a que el aire es un fluido compresible y por el contrario el aceite puede considerarse incompresible.

1.3.1.3 Tecnología estática integrada. Se basa en el uso de circuitos integrados de puertas lógicas: TTL y CMOS. Su ventaja principal es el poco volumen ocupado por el circuito, pero los inconvenientes son varios: la existencia de diferentes niveles de tensión, la sensibilidad a las interferencias electromagnéticas y la dificultad de ampliación debido a que es un circuito impreso no modificable.

1.3.1.4 Tecnologías programadas. Los avances de los últimos años en el campo de los microprocesadores, han favorecido la generalización de las tecnologías programadas y por tanto en la realización de automatismos. Los equipos realizados para este fin son: Los ordenadores y los autómatas programables.

* **Ordenadores.** Presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero, al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno

industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción (figura 7).



Figura 7: Ordenadores industriales y accesorios

* **Autómata programable.** Diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador y con la idea que la programación y el mantenimiento de este sean posibles sin una formación informática del personal.

1.3.2 Elementos de entrada de órdenes. Estos elementos son los que permiten al operador la entrada de datos y órdenes al sistema, se podrían clasificar en dos categorías:

1.3.2.1 Binarios. Permiten dar órdenes de todo o nada. Ejemplo: pulsadores, interruptores o conmutadores (figura 8).



Figura 8: Elementos de entrada de órdenes binarios

1.3.2.2 Numéricos o alfanuméricos. Permiten la entrada de números o letras en el caso de los alfanuméricos. Ejemplos: preseletores (rueda numerada), teclados numéricos o alfanuméricos (figura 9).



Figura 9: Elementos de entrada de órdenes numéricos

1.3.3 Elementos de salida de información. Se encargan de la comunicación del sistema de control con el operador, y se pueden clasificar en:

1.3.3.1 Elementos binarios. Dan información del tipo todo o nada. Ejemplos: pilotos visualizadores, timbres o sirenas (figura 10).



Figura 10: Elementos de salida binarios

1.3.3.2 Elementos numéricos y alfanuméricos. Permiten la visualización de números y/o texto. Ejemplos: displays de 7 segmentos, displays alfanuméricos, pantallas de cristal líquido (LCD) o monitores (figura 11).



Figura 11: Elemento de salida numérico

1.4 EL PLC

Un autómata programable industrial (API) o Programmable Logic Controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales (figura 12).



Figura 12: Ejemplo de un PLC: Micrologix 1500

Los procesos secuenciales son aquellos donde una misma combinación de señales o informaciones de entrada pueden dar una salida diferente según el orden en que se hayan sucedido los acontecimientos.

1.4.1 Campos de aplicación. Su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como: espacio reducido, procesos de producción periódicamente cambiantes, procesos secuenciales, maquinaria de procesos variables, instalaciones de procesos complejos y amplios y chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

1.4.2 Funciones básicas de un PLC. El autómata programable debe realizar multitud de funciones y muchas de ellas simultáneamente, las funciones más clásicas son:

1.4.2.1 Detección. Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema automatizado.

1.4.2.2 Mando. Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

1.4.2.3 Diálogo hombre-máquina (Human Machine Interface). Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

1.4.2.4 Programación. Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina (on-line).

1.4.2.5 Redes de comunicación. Permiten establecer comunicaciones con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real.

1.4.2.6 Sistemas de supervisión. Permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por

una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

1.4.2.7 Control de procesos continuos. Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

1.4.2.8 Entradas/salidas distribuidas. Los módulos de entrada/salida no tienen que estar en el armario del autómata, pueden estar distribuidos por la instalación. Se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

1.4.2.9 Buses de campo. Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional.

1.4.3 Estructuras. El autómata está compuesto de diferentes elementos como CPU, fuente de alimentación, memoria, E/S, etc. que están colocados de diferente forma y modo según la estructura externa del autómata.

1.4.3.1 Estructura externa. Cuando se habla de estructura externa se hace referencia al aspecto físico exterior del mismo, es decir, bloques o elementos en que está dividido.

Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado:

* **Estructura compacta.** Presenta en un solo bloque todos sus elementos: fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc.

Son los autómatas de gama baja los que suelen tener una estructura compacta. Su potencia de proceso suele ser muy limitada, dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando (figura 13).



Figura 13: Autómatas compactos

* **Estructura semimodular (Estructura Americana).** Se caracteriza por separar las E/S del resto del autómata, de tal forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación y separadamente las unidades de E/S (figura 14). Son los autómatas de gama media los que suelen tener una estructura semimodular (Americana).



Figura 14: Autómatas semimodulares

* **Estructura modular (Estructura Europea).** Su característica principal es que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el autómata: fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre RACK.

Son los autómatas de gama alta los que suelen tener una estructura modular, que permite una gran flexibilidad en su constitución. También facilita su mantenimiento debido a que si algún elemento falla, puede ser rápidamente sustituido (figura 15).



Figura 15: Autómatas modulares

1.4.3.2 Estructura interna. El autómata está constituido por diferentes elementos, pero los tres básicos son: unidad de control o CPU, elementos de entradas y salidas y unidad de memoria.

El medio físico a través del cual el procesador se comunica con el resto de elementos del sistema son los buses de comunicación. Normalmente existen tres tipos:

- * **Bus de direcciones.** El procesador envía la dirección del elemento al cual quiere enviar o que le envíe información.
- * **Bus de datos.** Es por donde todos los elementos enviarán los datos.
- * **Bus de control.** Es aquel mediante el cual el procesador explica que operación se está efectuando.

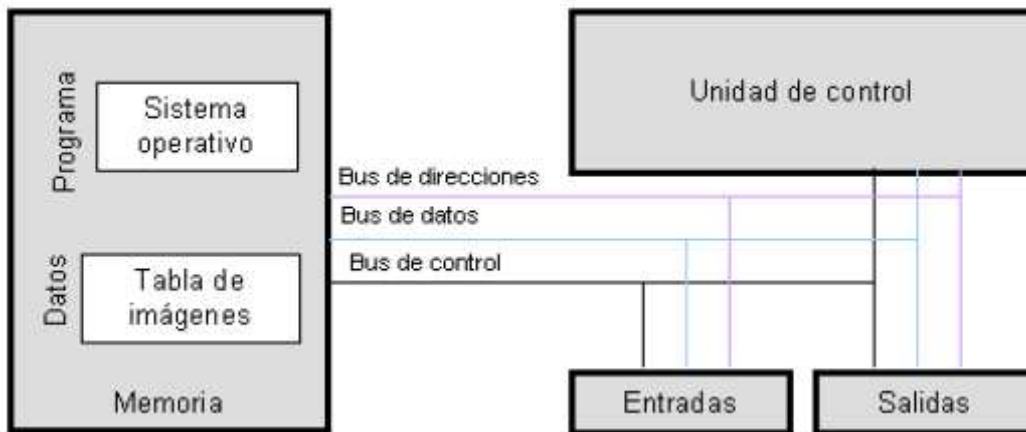


Figura 16: Arquitectura básica de un autómata programable

Con las partes mencionadas podemos decir que tenemos un autómata pero para que sea operativo son necesarios los siguientes elementos: fuente de alimentación, interfaces, unidad o consola de programación, y dispositivos periféricos.

1.4.3.3 CPU (Central Processing Unit). Es la parte inteligente del autómata. Interpreta las instrucciones del programa de usuario de forma secuencial y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas. La capacidad de cálculo y la velocidad de procesamiento dependen del número y tipos de procesadores que tenga.

La CPU está constituida por los siguientes elementos: procesador, memoria monitor del sistema y circuitos auxiliares.

1.4.3.4 Entradas y salidas. Los elementos de entrada y salida son los que permiten comunicar el autómata con el proceso que está controlando y con el operador.

Hay dos tipos de entradas o salidas según el tipo de señal que gestionan: digitales o binarias y analógicas.

Las entradas o salidas pueden clasificarse también según su conexión:

- * **Locales.** Dentro del mismo armario del autómata, sin utilizar el procesador de comunicaciones. Así pueden ser compactas (conexión por bus interno) o modulares (conexión por bus de expansión).

- * **Remotas.** En armarios remotos, utilizando procesadores de comunicaciones. En este caso también pueden ser compactas (conexión a CPU por bus local) o modulares (bus local + bus de expansión).

* **Entradas digitales.** Los módulos de entrada digitales permiten conectar el autómatas a captadores de tipo todo o nada (finales de carrera, pulsadores), en los que se da una información cualitativa y no cuantitativa.

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 V. se interpreta como un "1" y cuando llegan 0 V. se interpreta como un "0". Los niveles de tensión estándar para los autómatas son: 24 V.CC (el más común), 110 V.CA o 220 V. CA. El hecho que las tensiones sean tan elevadas se debe a la gran longitud que suelen tener los cables hasta el captador en las instalaciones industriales, que puede provocar ruido. Con este voltaje se asegura que la señal llegue al módulo de entrada. De esta manera los captadores tampoco necesitan una fuente de alimentación extra.

El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas:

- Protección contra sobretensiones, si la corriente es alterna se rectifica.
- Filtrado de posibles ruidos que entran por el cable del captador. El tiempo de filtrado se puede programar en algunos módulos. Esto puede llevar problemas a la hora de utilizar captadores de alta frecuencia, para contajes más rápidos existen entradas especiales que pueden contar pulsos a altas frecuencias.
- Puesta en forma de la onda.

- Aislamiento galvánico o por optoacoplador.

Una vez terminado este proceso la señal se deposita como un "0" o "1" en la memoria del módulo.

* **Entradas analógicas.** Los módulos de entrada analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de este tipo como pueden ser la (temperatura, la presión o el caudal), es decir, admiten una tensión (o una corriente) variable y que este valor se convierta en una variable numérica del autómata.

Lo que realiza es una conversión A/D (analógico/digital), puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits: 8 -10 bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo). Es decir, la magnitud analógica se convierte en un número que se deposita en una variable interna del tipo palabra del autómata.

Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad en unos rangos de 0 a 10 V, -10 a 10 V, -20 a 20 mA, 0 a 20 mA o 4 a 20 mA.

El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

- Filtrado.

- Conversión A/D.

- Memoria interna.

Conviene utilizar cable trenzado y apantallado (con la pantalla conectada a tierra en uno de los extremos) para las entradas analógicas y cortocircuitar o unir a masa aquellas entradas por tensión que no se hayan de utilizar ya que si se dejan sin conectar pueden entrar perturbaciones electromagnéticas que pueden afectar a las otras entradas.

1.4.3.5 Salidas digitales. Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan órdenes del tipo todo o nada.

Existen dos tipos de salidas digitales:

- **Módulos electromecánicos.** Los elementos que conmutan son contactos de reles internos al módulo. Pueden usarse tanto para corriente alterna como continua. Las salidas a rele son libres de tensión y ésta debe provenir de una fuente de alimentación (interna o externa al autómata) conectada al común del contacto. Es el tipo de salidas que se utilizarán en las prácticas.

- **Módulos de salida estáticos (bornero).** Los elementos que conmutan son componentes electrónicos como transistores (corriente continua, 24 V.CC) o triacs (corriente alterna, 110V.CA).

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos (reles), al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. Tienen el inconveniente de que la velocidad de respuesta es pequeña y, por tanto, no pueden emplearse en aplicaciones que requieran cambios rápidos en las salidas.

Los módulos de salida estáticos a 24 V.CC son menos costosos que los electromecánicos, pero muchas veces hay que efectuar una activación en cascada mediante un rele para poder actuar sobre el accionador.

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma.
- Aislamiento.
- Circuito de mando (rele interno).
- Protección electrónica.

- Tratamiento cortocircuitos.

* **Salidas analógicas.** Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómeta se convierta en tensión o intensidad. Los rangos típicos de esta salida 0 a 10 V., -10 a 10 V., 0 a 20 mA., -20 a 20 mA. Y 4 a 20 mA. Conviene usar cable trenzado y apantallado.

Lo que realiza es una conversión D/A (digital/analógica), puesto que el autómeta solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo). La precisión suele ir desde los 12 a los 14 bits.

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura, permitiendo al autómeta realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

- Aislamiento galvánico.

- Conversión D/A.

- Circuitos de amplificación y adaptación.

- Protección electrónica de la salida

Como hemos visto las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales. Por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran módulos de E/S especiales.

Comentarios sobre las señales de entrada y salida analógicas:

- Las entradas con signo (-10 a 10 V., -20 a 20 mA.) permiten la conexión de sensores de magnitudes de signo.
- Las entradas y salidas por tensión (0 a 10V., -10 a 10V.) tienen el inconveniente de que, si el cable es un poco largo, la caída de tensión hace que la tensión al final de los hilos sea diferente a la de origen con el correspondiente error de medida o de actuación.
- Las entradas y salidas 4 a 10 mA. Presentan la ventaja de que el rango normal de medida no comienza en cero sino en 4 mA.; de esta manera se puede detectar una rotura de hilos (u otras averías).

1.4.3.6 Memoria. Es el almacén donde el autómata guarda todo cuanto necesita para ejecutar la tarea de control, tiene dos partes diferenciadas: la correspondiente a los datos del proceso y la que corresponde al programa. En la mayoría de los casos existe una configuración base de memoria a la que se puede añadir, hasta ciertos límites, capacidad en función de las necesidades.

* **Datos del proceso.**

- **Parte fija.** Corresponde a señales de planta, tabla de imágenes de entradas y salidas.

- **Parte variable o memoria interna.** Esta va en función de las necesidades de cada programa. En un autómata programable, la memoria interna es aquella que almacena el estado de las variables que maneja el autómata: entradas, salidas, contadores, reles internos, señales de estado, etc.

La clasificación de la memoria interna no se realiza atendiendo a sus características de lectura y escritura, sino por el tipo de variables que almacena y el número de bits que ocupa la variable.

Las variables contenidas en la memoria interna, pueden ser consultadas y modificadas continuamente por el programa, cualquier número de veces. Esta actualización continua de los datos obliga a construir la memoria con dispositivos RAM. Y son:

- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.

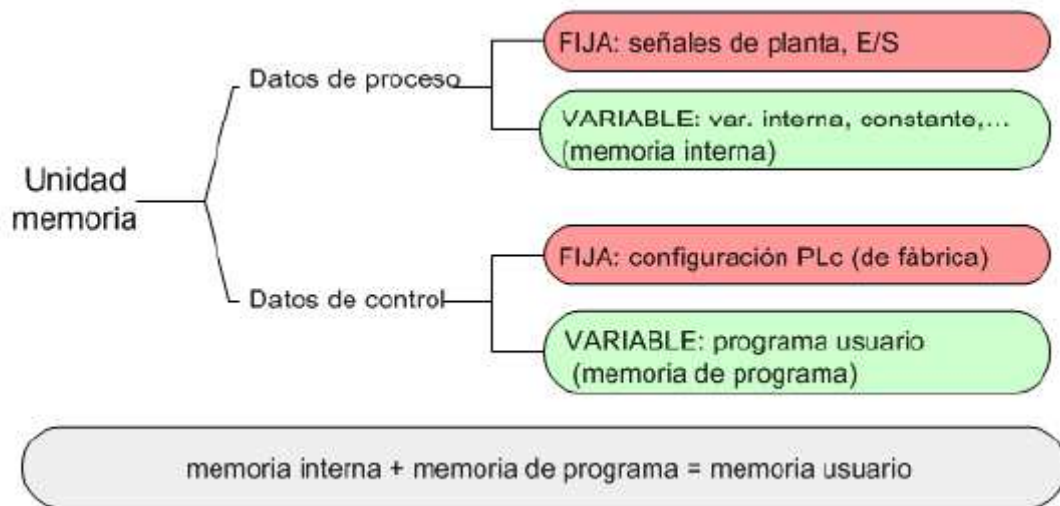


Figura 17: Distribución de la memoria en el autómata

* **Datos de control.**

- **Parte fija.** Configuración del autómata (modo de funcionamiento, número de e/s conectadas). Esta parte viene programada de fábrica y es la que se encarga de la lectura de entradas /salidas.

- **Parte variable o memoria de programa.** Instrucciones de usuario (programa).

Figura 17.

1.4.3.7 Fuente de alimentación. La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 V.CC (nuestro caso), tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 V.CA.

En cualquier caso es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La fuente de alimentación del autómeta puede incorporar una batería tampón, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, cuando falla la alimentación o se apaga el autómeta.

1.4.3.8 Interfaces. En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un diálogo entre operador-máquina junto con una comunicación entre la máquina y el autómeta, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.

De entre todos los tipos de interfaces que existen, las interfaces específicas permiten la conexión con elementos muy concretos del proceso de automatización.

1.4.3.9 Unidad de programación. Es el conjunto de medios hardware y software mediante los cuales el programador introduce y depura las secuencias de instrucciones (en uno u otro lenguaje) que constituyen el programa a ejecutar.

Normalmente se usan los ordenadores personales con el software adecuado en cada caso.

1.4.4 Funcionamiento. Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación). Al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómata se puede dividir en tres fases:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

1.4.4.1 Modo de funcionamiento. Existen dos modos básicos de trabajo del autómata:

* **On-line.** El terminal sólo puede trabajar cuando está conectado al autómata, visualizando y modificando el programa directamente en su memoria.

* **Off-line.** El terminal trabaja sobre el programa de la memoria del terminal y, si se desea, al acabar se copia sobre la memoria del autómata.

Es razonable pensar que tanto la programación on-line como la transferencia de un programa preparado off-line se han de hacer con el procesador en modo STOP (o PROG). Hay algunos autómatas que permiten hacerlo en modo RUN; en este caso la modificación entra en funcionamiento al comenzar el siguiente scan de programa. Aunque sea posible modificar el programa en modo RUN, es aconsejable no hacerlo ya que cualquier error en la pulsación de una tecla puede tener consecuencias graves, al estar funcionando el autómata.

1.4.4.2 Ciclo de funcionamiento. El funcionamiento del autómata es, salvo el proceso inicial que sigue a un Reset, de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómata esté alimentado.

El ciclo de funcionamiento se divide en dos partes llamadas Inicialización y Ciclo de Operación.

* **Inicialización.** Antes de entrar en el ciclo de operación el autómata realiza una serie de acciones comunes, que tratan fundamentalmente de inicializar los estados del mismo y chequear el hardware. Estas rutinas de chequeo, incluidas en el programa monitor ROM, comprueban:

- El bus de conexiones de las unidades de E/S.
- El nivel de la batería, si esta existe.
- La conexión de las memorias internas del sistema.
- El módulo de memoria exterior conectado, si existe.

Si se encontrara algún error en el chequeo, se activaría el LED de error y quedaría registrado el código del mismo.

Comprobadas las conexiones, se inicializan las variables internas:

- Se ponen a OFF (0) las posiciones de memoria interna (excepto las mantenidas o protegidas contra pérdidas de tensión).
- Se borran todas las posiciones de memoria de imagen de E/S.
- Se borran todos los contadores y temporizadores (excepto los mantenidos o protegidos contra pérdidas de tensión).

Transcurrida la inicialización y si no han aparecido errores el autómata entra en el Ciclo de Operación.

* **Ciclo de operación.** Este ciclo puede considerarse dividido en tres bloques que corresponden a:

• **Proceso común.** En este primer bloque se realizan los chequeos cíclicos de conexiones y de memoria de programa, protegiendo el sistema contra:

- Errores de hardware (conexiones E/S, ausencia de memoria de programa, etc.).
- Errores de sintaxis (programa imposible de ejecutar).

El chequeo cíclico de conexiones comprueba los siguientes puntos:

- Niveles de tensión de alimentación.
- Estado de la batería si existe.
- Buses de conexión con las interfaces.

El chequeo de la memoria de programa comprueba la integridad de la misma y los posibles errores de sintaxis y gramática:

- Mantenimiento de los datos, comprobados en el "checksum".
- Existencia de la instrucción END de fin de programa.

- Estructura de saltos y anidamiento de bloque correctas.

- Códigos de instrucciones correctas.

• **Ejecución del programa.** En este segundo bloque se consultan los estados de las entradas y de las salidas y se elaboran las órdenes de mando o de salida a partir de ellos.

• **Servicio a periféricos.** Este tercer y último bloque es únicamente atendido si hay pendiente algún intercambio con el exterior. En caso de haberlo, la CPU dedica un tiempo limitado, de 1 a 2 milésimas de segundo, a atender el intercambio de datos. Si ese tiempo no fuera suficiente, el servicio queda interrumpido hasta el siguiente ciclo.

1.4.5 Tiempo de ejecución y control en tiempo real. El tiempo total que el autómatas emplea para realizar un ciclo de operación se llama tiempo de ejecución de ciclo de operación o más sencillamente tiempo de ciclo Scan time.

Dicho tiempo depende de:

* El número de E/S involucradas y tiempo de acceso a interfaces a las mismas.

* La longitud del programa usuario (tiempo de escrutación).

- * El número y tipo de periféricos conectados al autómata.

- * Tipo de CPU que procesa.

Los tiempos totales de ciclos son entonces la suma de tiempos empleados en realizar las distintas operaciones del ciclo:

- * Autodiagnóstico.

- * Actualización de E/S.

- * Ejecución de programa.

- * Servicio a periféricos.

(Los tiempos de ejecución de instrucciones se miden en unidades de microsegundos, resultando un tiempo de escrutación del programa variable en función del número e instrucciones contenidas. Precisamente el tiempo de escrutación es uno de los parámetros que caracterizan a un autómata expresado normalmente en milisegundos por cada mil instrucciones ms/k).

Tiempo total SCAN = T1 + T2 + T3 + T4

El tiempo de respuesta real del PLC incluye otros factores que provocan retardos y no son constantes. Este está controlado permanentemente por el Watchdog. Son retardos introducidos por:

- El tiempo de respuesta de los sensores.
- La tasa de muestreo de las entradas.
- El tiempo requerido por el cómputo de las respuestas.
- La tasa de muestreo de las salidas.
- El tiempo de respuesta de los actuadores.

1.4.6 Lenguajes de programación. Cuando hablamos de los lenguajes de programación nos referimos a las diferentes formas en que se puede escribir el programa usuario:

- GRAFCET ó Mapa de Funciones Secuenciales (SFC).
- Mnemónico ó Lista de instrucciones (IL).
- Esquema funcional ó Bloques de funciones (FBD).

- Texto estructurado (ST).

Los lenguajes de programación más empleados en la actualidad son, el mnemónico y el esquema de contactos.

1.4.6.1 Esquema de contactos Ladder o lógica escalera (LD). Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés, que mediante símbolos (figura 18) representa contactos, solenoides. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y son empleados por todos los fabricantes.

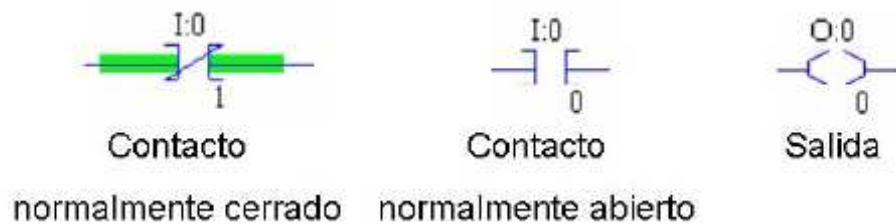


Figura 18: Símbolos básicos

Los elementos básicos que configuran la función se representan entre dos líneas verticales que simbolizan las líneas de alimentación.

Para las líneas de función más complejas como temporizadores, registros de desplazamiento, etc., se emplea el formato de bloques. Estos no están formalizados, aunque guardan una gran similitud entre sí para distintos fabricantes, y resultan

mucho más expresivos que si se utiliza para el mismo fin el lenguaje en lista de instrucciones o mnemónico.

El lenguaje en mnemónico es similar al lenguaje ensamblador del micro.

1.5. Comunicaciones industriales

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores y otros controladores. Los procesos a automatizar acostumbra a tener un tamaño importante y este hecho provoca que exista una gran cantidad de cables entre el autómatas, los sensores y los actuadores.

Existen diferentes maneras de comunicar los diferentes dispositivos dependiendo de la complejidad de la red creada y/o el presupuesto destinado a su creación. A continuación se muestran los métodos de cableado más usuales.

1.5.1 Sistemas de cableado. Los primeros autómatas se cableaban hilo a hilo directamente a los borneros de los módulos de entrada y salida (cableado clásico). Este método presentaba numerosos inconvenientes que se expondrán a continuación. Actualmente existen diferentes alternativas, debidas principalmente a los avances tecnológicos conseguidos:

- Cableado mediante bases de precableado
- Entradas y salidas distribuidas

- Buses de campo

1.5.1.1 Cableado clásico. Los captadores se cablean hilo a hilo a las entradas del autómata por borneros de tornillos y las salidas se cablean a los preactuadores, normalmente en el propio armario del autómata. De este armario saldrá también el cableado de potencia para los diversos actuadores.

Este método presenta diferentes problemas debido a: la longitud excesiva del cableado (con las consiguientes caídas de tensión que provoca) y el ruido producido entre los cables de potencia y de señal.

Los cables de sensores y captadores se llevan a cajas de campo donde se cablean en borneros, de donde salen mangueras de cables hacia el armario.

1.5.1.2 Sistemas de precableado. Existen autómatas de pequeño tamaño que admiten módulos de entrada y salida de alta densidad. Estos módulos tienen una serie de conectores (diferentes a los borneros) donde se enchufan unos cables de conexión que en el otro extremo se conectan a unas bases de precableado a tornillo, donde se pueden conectar los cables de captadores y preaccionadores. Los cables que unen las bases de precableado con los módulos del autómata son realmente una manguera de cables.

De todas maneras se sigue teniendo el problema de la existencia de las mangueras de cables que van conectadas a las bases de precableado.



Figura 19: Base de precableado

1.5.1.3 Entradas y salidas distribuidas. Las distancias que existen en una planta industrial entre detectores, actuadores y controladores pueden llegar a ser muy importantes. Por ese motivo se colocan cajas de entradas y salidas distribuidas a lo largo de la instalación, con las que el autómata se comunica mediante un módulo de comunicaciones. Estas cajas se sitúan cerca del proceso a controlar y si es posible en la propia máquina.

De esta manera se consigue que los cables de los sensores sean más cortos y que los preaccionadores estén más cerca de los accionadores. Esto también provoca que los cables de potencia sean más cortos, disminuyendo las posibles perturbaciones en los cables de señal y evitando las caídas de tensión.



Figura 20: Entradas y salidas distribuidas

De todas maneras el cableado de captadores y accionadores a nivel local sigue siendo igual de complicado que en el cableado clásico.

1.5.2 Buses de campo. Estos buses permiten conectar los captadores y accionadores al autómeta con un solo cable de comunicación. Las modificaciones y ampliaciones de las instalaciones se pueden realizar fácilmente sólo con ampliar el cable del bus y conectar los nuevos componentes.

Este tipo de comunicación permite ir más allá que la simple conexión con actuadores o captadores de tipo "todo o nada" o de tipo analógico, además permite conectar los dispositivos llamados inteligentes. Estos dispositivos pueden ser variadores de velocidad, controladores de robot, arrancadores, reguladores PID, terminales de visualización, ordenadores industriales. El intercambio de información requerido es del orden de Kbytes o Mbytes. Un envío de información de este tipo se realiza en

pequeños paquetes por medio de las funciones suministradas por el protocolo de comunicación usado.

Los buses de campo han favorecido las comunicaciones industriales como las conocemos hoy en día. Gracias a estos avances es posible la fabricación flexible y los sistemas de producción integrados como los llamados CIM (Computer Integrated Manufacturing), mediante la cual todo el proceso de fabricación está controlado por sistemas informáticos.

1.5.2.1 Tipos de buses de campo. A continuación se expondrán algunos de los tipos de buses de campo más utilizados actualmente en el mercado. Para unir redes con otras de un nivel superior se usan las llamadas pasarelas.

* **AS-i (Actuator-Sensor Interface).** Es un bus muy simple para conectar sensores y actuadores binarios con un PLC de manera económica. Usa un sistema de comunicación maestro/esclavo y la configuración de los nodos esclavos se realiza desde el maestro, usando el mismo bus, que es de topología libre.

• **Características principales.**

- Longitud máxima 100 m (300 m. con repetidores).
- Comunicaciones maestro-esclavo, con un máximo de 31 esclavos y un solo maestro.

- La velocidad de transferencia (Baudrate) es de 167 Kbit/s.
- Tiempo de ciclo máximo (con 31 esclavos): 5 ms.
- Mensajes. 8 bits (4 de entrada y 4 de salida) por nodo y mensaje, con un formato tipo Strobining. Este consiste en que el maestro vaya preguntando uno por uno a los esclavos si quieren enviar un mensaje y esperando la respuesta.
- Admite cualquier topología de red (anillo, bus, estrella, rama, árbol).
- **Ventajas.** Extrema simplicidad, coste bajo, mundialmente aceptado, alta velocidad, alimentación disponible en la red.
- **Inconvenientes.** Pobrementemente equipado para conectar entradas/salidas analógicas, tamaño de la red limitado.
- * **Can (control area network).** Se usa como bus multi-maestro para conectar dispositivos inteligentes de todo tipo (robots, ascensores, equipamiento médico).

Sobre CAN se han desarrollado otros protocolos como: DeviceNet y CANOpen. Es decir, podríamos comparar el protocolo CAN con una máquina de escribir, en la que tenemos los caracteres definidos pero aún queda definir la gramática, el idioma, las palabras y el vocabulario para comunicar (que son los otros protocolos).

Para la transmisión de datos no se direccionan los nodos, sino que el contenido del mensaje incorpora un identificador que es único en la red. Los mensajes tienen un formato broadcast (productor/consumidor).

* **Devicenet.** Impulsado por Allen Bradley en 1994 se implementa un protocolo de la capa 7 (aplicación) orientada a la conexión, sobre un protocolo CAN. Se trata de un link de comunicaciones de bajo coste que conecta dispositivos industriales a la red y elimina los caros cableados a mano.

- **Características principales.**

Permite escoger velocidades de transmisión: 125 Kbit/s. (500 m.), 250 Kbit/s. (250 m.) y 500 Kbit/s. (100m.).

Puede tener hasta 64 nodos.

Tamaño máximo del mensaje: 8 bytes de información por nodo y por mensaje.

Formato de mensaje: polling, strobing, change-of-state, cyclic, productor/consumidor.

Topología lineal, con datos y alimentación proporcionada para el mismo bus.

- **Ventajas.** Bajo costo, gran aceptación, alta fiabilidad y uso eficiente del ancho de banda, alimentación disponible en la red.

- **Inconvenientes.** Ancho de banda limitado, así como el tamaño de los mensajes y la longitud de la red.

- * **Canopen.** Es un concepto de red basado en un sistema de bus serie CAN (Controller Area Network) y la capa de aplicación CAL (CAN Application Layer). Sus ventajas principales son su simplicidad, alta fiabilidad de transmisión y tiempos de reacción extremadamente cortos.

- **Características principales.**

Distancia: 100 a 500 m.

Puede tener hasta 64 nodos.

Velocidades de transmisión: 125, 250, 500 y 1000 Kbit/s.

Puede enviar mensajes de 8 bytes como máximo por nodo y por mensaje.

Formato de los mensajes: polling, strobing, change-of-state, cyclic y otros.

- **Ventajas.**

Mejor caracterizado para control de movimiento de alta velocidad así como para lazos de realimentación cerrados que otros buses CAN.

Alta fiabilidad, uso eficiente del ancho de banda de la red y alimentación disponible en la misma.

- **Inconvenientes.**

Aceptación limitada fuera de Europa.

Limitación de ancho de banda, tamaño de los mensajes y longitud máxima de la red.

- * **Profibus (Process Field Bus).** Es un estándar abierto, independiente de un vendedor en concreto. Consta de tres formatos compatibles:

- * **Profibus Dp (Distributed Peripherals).** Alta velocidad, precio económico y transferencia de pequeñas cantidades de datos. Estructura maestro-esclavo clásica. Es el más difundido y se usa a nivel de campo o célula. Actúa a nivel de campo.



Figura 21: Aplicación de profibus DP

* **Profibus Pa (Process Automation).** Como DP pero adaptado a zonas intrínsecamente seguras, es decir, para ambientes peligrosos y con riesgo de explosión. También actúa a nivel de campo.

* **Profibus Fms (Fieldbus Messages Specifications).** De propósito general, supervisión y configuración. Es multi-maestro (paso de testimonio entre maestros, maestro-esclavo con los demás dispositivos). Se usa a nivel de planta o célula.

• **Características principales.**

Longitud máxima: 9 Km. con medio eléctrico, 150 Km. con fibra óptica de vidrio, 150 m. con infrarrojo.

Puede tener hasta 126 nodos.

Velocidad de transmisión entre 9.6 Kbit/s. y 12 Mbit/s.

Puede transferir un máximo de 244 bytes de información por nodo y ciclo.

Topología: estrella, árbol, anillo y anillo redundante.

Formato de los mensajes: polling, peer-to-peer.

- **Ventajas.** Es el estándar más aceptado a nivel mundial, sobretodo en Europa pero también utilizado en Norteamérica, Sudamérica, partes de África y Asia. Con las tres versiones DP, FMS y PA quedan cubiertas la casi totalidad de las aplicaciones de la automática.

- **Inconvenientes.** Para mensajes cortos es poco efectivo ya que el mensaje lleva una parte muy importante de direccionamiento, no lleva la alimentación incorporada, ligeramente más caro que otros buses.

- * **Interbus.** Usa una estructura maestro-esclavo para acceder al medio, más un sistema de "suma de tramas" (summation-frame) que envía todas las respuestas en un solo telegrama. El medio más usado es un anillo sobre cableado RS-485 utilizado para hacer conexiones punto a punto. Interbus tiene el estándar DIN 19258.

- **Características principales.**

Distancia: 400 m. por segmento y 128 Km. en total.

Número máximo de nodos: 256.

Velocidad de transmisión: 500 Kbit/s.

Tamaño del mensaje: 512 bytes de información por nodo.

- **Ventajas.** La capacidad de autodireccionarse hace que las puestas en marcha sean muy fáciles, capacidad de diagnóstico extensivo, aceptación amplia en todo el mundo (especialmente en Europa), respuesta rápida y uso eficiente del ancho de banda, junto con alimentación para dispositivos de entrada.

- **Inconvenientes.** Una conexión fallida incapacita todo la red, capacidad limitada para transferir grandes cantidades de información.

- * **Ethernet.** La red Ethernet se originó por Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox en 1976. Se basa en el estándar IEEE 802.3.

- **Características principales.**

Distancia: de 100 (para 10Base-T) a 50 Km (usando fibra óptica).

Número máximo de nodos: 1024, extensible con routers.

Velocidad de transmisión: 10 Mbit/s. a 100 Mbit/s.

Tamaño del mensaje: 46 a 1500 bytes.

Formato del mensaje: peer-to-peer.

- **Ventajas.** Es el estándar de red más reconocido internacionalmente. Puede tratar con grandes cantidades de información a una velocidad muy rápida sirviendo para instalaciones muy grandes.

- **Inconvenientes.** Para mensajes con poca información no es eficiente, no lleva la alimentación incorporada, los conectores (RJ45) son vulnerables físicamente. No tiene la propiedad de determinismo por el que los buses de campo pueden asegurar la respuesta de la red para cada carga.



Figura 22: Conector RJ45

- * **Ethernet y TCP/IP (Transmisión Control Protocol/Internet Protocol).** Son dos conceptos distintos pero que se suelen utilizar conjuntamente, Internet es una aplicación de TCP/IP, pero es solo un caso y existen muchas otras muy diferentes.

Ethernet tiene como aplicación básica la gestión e información global de un sistema automatizado. Sirve de lazo de comunicación entre los dispositivos de gestión central ("sala de control") con los autómatas principales, que a su vez se conectarán con otros autómatas de más bajo nivel, con lo que se puede obtener datos de la planta.

Ethernet industrial es la aplicación de la tecnología LANs al campo de la automatización. El objetivo es sustituir los existentes buses de campo por

dispositivos de comunicaciones compatibles con Ethernet. De esta manera la misma LAN de la oficina se puede aplicar en otros niveles de la jerarquía de control.

1.5.3 Las comunicaciones industriales en el futuro. Las tendencias para el futuro en el campo de las comunicaciones industriales son las tecnologías inalámbricas (wireless), es decir aquellas tecnologías que no utilizan el cableado físico y se comunican por ondas a través del aire. Algunos ejemplos de esta tecnología son:

- Bluetooth
- Wi-fi
- UWB



Figura 23: Aplicaciones de tecnología inalámbrica

Anexo B. 1. PRINCIPALES PRODUCTOS DEL INGENIO CASTILLA INDUSTRIAL

1.1. ELABORACIÓN DEL AZUCAR BLANCO

La fabricación del azúcar es un proceso extractivo. En Castilla Industrial la materia prima básica es la caña de azúcar, que se cosecha en los campos a una edad entre los 12 y 14 meses. Es cortada en su totalidad manualmente y su alce es el 90% mecánica y el resto manual.

El transporte hacia la fábrica se hace utilizando tracto mulas y tractores de alta velocidad tipo Dumper. Existen en el campo patios de trasbordo en donde se pasa parte de la caña de los carros a la tracto mulas. El excedente de caña se almacena durante el día en estos patios para ser transportados a la fábrica. Se tiene así un suministro continuo de caña que sostiene la molienda durante las 24 horas del día.

Ya en la Fábrica, parte de la caña alimenta directamente a la molienda mientras la otra espera en los equipos de transporte, para ser utilizada cuando la molienda la requiera.

1.1.1 Muestreo y pesaje de la caña. Toda la caña en la Fábrica es muestreada representativamente según su procedencia. Lo hace una sonda mecánica automática con el fin de evitar tendencias en el muestreo. La caña de las muestras es analizada continuamente por el laboratorio para determinar sus características, particularmente el rendimiento, que es la base para el pago a los proveedores de la caña.

Para efectos de control y contabilidad toda la caña es pesada. Se utilizan 4 básculas de plataforma: dos electrónicas con capacidades de 30 y 80 toneladas y dos electromecánicas con similares capacidades. Se cuenta con la asesoría del Instituto Colombiano de Metrología, de la Superintendencia de Industria y Comercio, para la calibración y control de las básculas. El análisis y pesaje de la caña¹ están sistematizados, así como la atención que se les da a los proveedores de la caña.

1.1.2 Descargue. La caña que llega en tracto mulas es descargada con una grúa hilo a la mesa de alimentación. Las 25 toneladas de carga son transvasadas en una sola operación. Los carros cañeros en espera están disponibles para alimentar la mesa de caña. Dos grúas puente de 10 toneladas cada una, pasan una mínima cantidad de caña de los patios de almacenamiento a la mesa de alimentación.

1.1.3 Lavado. La caña que llega a los patios del ingenio, proveniente del campo, trae consigo numerosas impurezas: hojas, barro, piedras, trozos de metal u otros elementos extraños, puesto que la caña se corta a mano y mecánicamente y se

levanta con equipos mecánicos, alzadoras de caña, que la recogen del suelo por lo cual todos los elementos extraños se encuentran en contacto con ella.

En la mesa de alimentación la caña es lavada para retirarle la mayor cantidad posible de materia extraña. Se utilizan tres líneas de aspersion, las cuales entregan un caudal de agua de 4,3 lit/min/t caña-día.

1.1.4 Preparación de la caña. La mesa de alimentación descarga la caña a un conductor que la transporta a una primera picadora, con separación de 100 mm sobre el conductor. El propósito es realizar una preparación inicial y nivelar el colchón de caña. Después, otros conductores la pasan a través de la segunda picadora, con separación de 25 mm sobre el conductor, que deja la caña lista para entrar a los molinos. La picadora No. 2 es accionada por dos motores eléctricos a 900 HP - 900 rpm.

1.1.5 Molienda y extracción del jugo. La molienda de la caña se efectúa en un tándem de seis molinos con capacidad de 8000 ton/día. Pasa a través de los molinos y cada uno realiza una extracción de jugo. El jugo de los dos primeros molinos es enviado directamente al proceso. El jugo del tercer molino se bombea al segundo molino, el del cuarto al tercero y el del quinto al cuarto, este proceso se conoce como imbibición. En el último molino se utiliza agua para mojar bien el colchón de bagazo, macerar y ayudar a extraer la sacarosa, en una proporción del 28% del peso de la caña.

Cada uno de los molinos F & S 84" x 46" está compuesto por cuatro mazas cilíndricas, labradas en superficie y dispuestas piramidalmente, que giran a 6 rpm y una potencia de 1000 HP. Cada maza tiene 1.170 mm de diámetro, 2.130 mm de largo y pesa 28 toneladas. Las mazas se denominan: maza cañera, maza superior y maza bagacera, una cuarta maza se llama de alimentación. Están soportadas y sujetas en un sitio por una estructura muy robusta, que pesa 50 toneladas y permite ajustes de precisión. Los molinos son movidos, a través de un sistema reductor, por turbinas de vapor de 745 KW, cuya velocidad alcanza hasta los 4.500 rpm. La caña pasa entre la maza superior y las dos inferiores. Entre ellas, ejercen sobre la caña una presión de 17.240 kPa para extraerle el jugo.

1.1.6 Pesaje del jugo. El jugo posee una cantidad de compuestos: ácidos orgánicos, sales, fenoles, proteínas, etcétera, que a 103° C reducen su solubilidad drásticamente y pueden ser retirados por medios mecánicos. El jugo diluido de los molinos es pesado para efectos de control y contabilidad de Fábrica en dos básculas de 80 toneladas cada una. La primera báscula es mecánica y la segunda electrónica.

1.1.7 Sulfitación. El jugo diluido pasa por mallas DSM donde se retiran sólidos insolubles, bagacillo, arena, etcétera, va de la báscula celda de carga al tanque de jugo pesado. Luego se lleva, mediante el uso de bombas, a dos columnas de absorción en paralelo o torres de sulfitación, torres para sulfitar el jugo. Ellas ponen en contacto el jugo con los gases producidos en la combustión de azufre el jugo entra por la parte superior de la torre y cae por gravedad, mientras en sentido

contrario ascienden gases de azufre, que son capturados por el jugo en su descenso por la torre. Los gases de azufre se producen por la combustión de azufre sólido, granulado, quemado en estufa e introducido a la torre mediante un tiro inducido, efectuado por unos ventiladores ubicados en el piso superior, forzando los gases a entrar por la parte inferior de la torre.

El SO₂ tiene una acción blanqueadora, decolora el jugo, reduce los óxidos férricos y reacciona con cierto tipo de compuestos, obteniéndose productos insolubles, que tienen la propiedad de acarrear otros. La acción de mezclar los gases de azufre con el jugo, sulfitación del jugo, es con una doble finalidad: los gases de azufre son fuertemente bactericidas, destruyen bacterias, hongos y microorganismos que entran con la caña y ejercen una acción perjudicial sobre la sacarosa pues la desdoblan, inversión, destruyendo las moléculas y convirtiéndolas en glucosa y fructosa, sustancias que no cristalizan como la sacarosa y son causantes de pérdidas en la fabricación comercial de azúcar; además la sulfitación da claridad y brillantez al jugo, características principales del azúcar sulfitado, que aunque blanco no es azúcar refinado.

1.1.8 Encalado del jugo. Como la operación de sulfitación conlleva una disminución del pH del jugo, se favorece la inversión de la sacarosa, por lo cual se hace necesario neutralizarlo. El jugo tiene ahora pH 4.3 y se llama jugo sulfitado. La acidez del jugo sulfitado se neutraliza adicionándole lechada de cal (CaO), cal disuelta en agua a una concentración de 6 a 8° beaumé, con la cuál se eleva el pH a valores de 7.4 a 7.8., proceso que se denomina alcalinización del jugo; la cal

también ayuda a precipitar las impurezas orgánicas e inorgánicas que vienen en el jugo, mediante reacciones de precipitación o formación de sulfitos y sulfatos de calcio.

1.1.9 Calentamiento del jugo. El jugo sulfitado y encalado pasa a unos calentadores tubulares horizontales donde se eleva la temperatura a 105 °C y de allí a un tanque flash donde se reduce su presión y velocidad, se le adiciona un floculante (floculante aniónico) para hacer los sólidos más grandes y poderlos sedimentar. Es de anotar que el calentamiento también pasteuriza el jugo, eliminando los microorganismos presentes. La elevación de temperatura se realiza en seis calentadores de tubos con una superficie de calentamiento total de 1.022 m².

1.1.10 Clarificación del jugo. El jugo encalado caliente pasa por un tanque de expansión súbita, en el cual se evapora alguna parte del agua que contiene el jugo. Sigue luego a tres clarificadores de sedimentación instalados en paralelo. Cada uno tiene 250 m³ de capacidad y posee cinco niveles. En los clarificadores el jugo precipita por gravedad impurezas, esencialmente barro y coloides, que dan color indeseable al jugo. Un proceso continuo de decantación ayudado con un producto floculante separa al jugo limpio, clarificado, en los niveles superiores. De ellos es retirado a 92° C y pH 7,0. En el fondo, se precipita un jugo espeso y sucio similar al lodo.

1.1.11 Filtración y clarificación de jugo filtrado. El lodo de los niveles inferiores llamado cachaza, posee un contenido considerable de sacarosa por lo que se debe recuperar la mayor cantidad de ella, por su fluidez necesita la ayuda filtrante del bagacillo, para adquirir consistencia y poder ser lavado con agua caliente; se lleva a cinco filtros rotatorios al vacío con un área filtrante total de 335 m² el jugo presente en él pasa a través de una malla fina y se envía a un clarificador de flotación y el residuo sólido es la cachaza. El lodo residual forma una torta que se envía a la tolva de almacenamiento. De aquí, se lleva en volquetas al campo para utilizarlo en el acondicionamiento de suelos. El jugo recogido por los filtros es clarificado por flotación (Talofiltrado) en un clarificador de 20 m³.

La adición de ácido fosfórico, cal y un floculante coagulan las impurezas. Esta se hace subir a la superficie con burbujas muy pequeñas de aire micronizado. Las impurezas son retiradas y retornadas al tanque de jugo filtrado no tratado. El jugo filtrado no del todo limpio se extrae del fondo y se mezcla con el jugo alcalizado va a los calentadores y continúa el proceso.

1.1.12 Evaporación. El jugo claro posee un contenido alto de agua (agua de la misma caña y agua que se introdujo en el proceso, en el molino para la extracción final). Es indispensable retirar el agua y se consigue por evaporación de la misma. El fin es retirar la mayor cantidad de agua posible para obtener un material rico en sacarosa pero que no contenga granos, para poder realizar una cristalización por semillamiento. La temperatura de ebullición se controla para cada cuerpo dependiendo de lo concentrado del material, ya que por encima de 80° C la

sacarosa se descompone, en material cerca al punto de saturación. El jugo claro va a un tandem de 5 evaporadores que funcionan en serie, de forma que el vapor que alimenta cada cuerpo proviene del anterior, produciendo un jugo claro y vapor de escape de las turbinas de molinos y plantas eléctricas, siendo el vapor inicial del primer cuerpo el escape que sale de turbinas de molinos y del turbogenerador. El sistema de evaporación consta de un área total de 11,430 m².

El Kestner y los evaporadores 1 y 2 trabajan con vapor de escape, estos tres generan los gases 1, los cuales van a alimentar los tachos del 4 al 7, para la elaboración de masa A ó primera y los calentadores secundarios. Los gases 1 son inyectados a los evaporadores 3 al 5 y generan los gases 2 los cuales van a alimentar los tachos del 1 al 3, para la elaboración de masas B y C ó segunda y tercera y los calentadores primarios. Con los gases 2 trabajan el evaporador 6, éste a su vez alimenta el 7 y éste último genera gases para el evaporador concentrador 8 ó 9 según sea el caso.

Por medio del vapor y el vacío los evaporadores concentran el jugo de 15,5 a 62 ° Brix. Al jugo concentrado se le llama ahora meladura y tiene una temperatura de 58° C.

Un evaporador está constituido por tres cámaras. La primera se denomina calandria y consiste en dos placas circulares y horizontales entre las cuales están dispuestos entre 4.300 y 5.000 tubos. Son tubos de acero inoxidable o cobre de 38 mm de diámetro y 1.870 mm de longitud. El vapor calienta el exterior de los tubos y el calor se transmite al jugo que corre por el lado interno. En la cámara siguiente, situado

sobre la calandria y llamada cuerpo, el jugo caliente pierde agua por evaporación y se concentra. El cuerpo tiene entre 3.0 y 4.3 m de diámetro y 4.9 m de altura. El agua evaporada arrastra partículas de jugo que son separadas en la tercera cámara ó domo, con separadores centrífugos. Así, este vapor libre de azúcar sirve para calentar el siguiente evaporador.

1.1.13 Clarificación de meladura. Es una etapa adicional de depuración, con el fin de eliminar coloides, compuestos de tamaño muy pequeño que no sedimentan y que poseen carga negativa, generadores de turbiedad en la meladura. Para esto se aplica lechada de cal y ácido fosfórico, combinados con un floculante aniónico. La meladura que sale del evaporador es bombeada y enviada al clarificador de meladura (talodura) de 24 m³. La operación es similar a la descrita para clarificar el jugo filtrado. Se diferencian porque la meladura debe calentarse previamente a 90° C para disminuir su viscosidad. El calentamiento se hace en un calentador de tubos horizontales con una superficie de transferencia de calor de 73 m². Los compuestos formados son retirados por flotación, para lo cual se adiciona aire micronizado consiguiendo que cada una de las burbujas empuje hasta la superficie la materia impura. Los sólidos retirados por medio de un raspador, son enviados al tanque de jugo filtrado no tratado para reproceso.

1.1.14 Cocimiento y cristalización. Para la producción de azúcar a partir de la meladura se utiliza un sistema de tres templeas o etapas. El fin de la operación es separar de una solución su sacarosa formando cristales de tamaño y forma controlada. Para esto se utiliza el semillamiento, que consiste en introducir a una

solución otra rica en sacarosa, con cristales de tamaño y forma definidos, que hacen crecer otros hasta el tamaño especificado, todo esto se logra a condiciones de presión, vacío y temperatura fijos ya que de cambiarse pueden formar nuevos granos o disolver los formados. Se hace el cristal inyectando azúcar micronizada a una miel concentrada rica en sacarosa. Toda la sacarosa recuperable no se puede retirar en una sola cristalización, por lo que se necesitan tres cristalizaciones sucesivas, dependiendo de la pureza y tamaño de los granos, igual ocurre con los licores madre, soluciones que contienen sacarosa, meladura, mieles, etc, que por su pureza se utilizan para futuras cristalizaciones hasta salir como miel de purga.

Los núcleos cristalinos formados se harán crecer posteriormente en las otras etapas. A partir del cristal se producen las templeas B y C alimentándolo con mieles de mayor o menor pureza. Las templeas B y C sirven para producir las templeas A, que dan el azúcar comercial por el crecimiento de sus granos alimentados con meladura.

Las templeas se elaboran en los Tachos, equipos similares a los evaporadores. Se diferencian porque los tachos trabajan en forma independiente uno del otro y están diseñados para manejar materiales más densos y viscosos. Los tubos son de mayor diámetro y menor longitud. Tienen entre 75 y 100 mm de diámetro y de 760 a 1.070 mm de longitud. Existe un tacho de 50 m³ para procesar templeas C y dos tachos de 50 m³ cada uno para las templeas B y Cristal. Las templeas A se elaboran en un tacho de 35 m³ y tres tachos de 50 m³ cada uno.

1.1.15 Centrifugación y secado. De los tachos se descargan a los cristalizadores las templeas C y las templeas A y B a los recibidores. Las templeas C se dejan 16

horas en los cristalizadores, enfriándolas, para aumentar la transferencia de sacarosa hacia los cristales o agotamiento. Las B y A permanecen pocas horas en los recibidores.

Se bajan luego las templeas a los mezcladores y desde estos a las centrífugas se separa el grano (azúcar) del líquido (miel) de las templeas. Se producen así azúcares y mieles A, B y C. Los azúcares B y C se mezclan con agua y sirven de semilla en las templeas A. las mieles A y B se emplean en la elaboración de templeas B, C y Cristal. La miel C llamada miel fina, se envía a un tanque de depósito de 1.980 m³. Esta miel es un subproducto utilizado para la destilación de alcohol o como materia prima en la industria sucroquímica. El azúcar A o azúcar comercial se pasa a través de tres secadoras instaladas en paralelo, para disminuir su humedad hasta el 0.031 %; en estos equipos se introducen en contracorriente el azúcar y aire calentado por vapor, que lleva el azúcar hasta los 55° C.

1.1.16 Envasado y despacho a granel. El azúcar seco se transporta por medio del equipo sanitario adecuado hasta dos tolvas con capacidad total de 250 toneladas. Cada tolva alimenta una báscula electrónica que pesa y envasa el azúcar en presentación de 50 kg netos. Las básculas poseen un sistema computarizado el cual permanentemente están monitoreando el peso del azúcar. Se emplean sacos de papel kraft o polietileno reforzado con polipropileno para el envasado. El azúcar para consumo doméstico es empacado en bolsas de 2,5 kg y 0.5 kg. Los sacos y bolsas son cerrados y llevados a la bodega para su despacho al comercio local y el de exportación.

Se cuenta con una bodega con capacidad de 1.250 toneladas para almacenamiento a granel de azúcar crudo. También es posible despachar directamente azúcar crudo a granel en camiones volco de 30 toneladas de capacidad.

1.2 ELABORACIÓN DEL AZUCAR REFINO

El proceso de refinación tiene como objetivo aumentar la pureza de la sacarosa, y mejorar otras características tales como el color, la turbiedad y el contenido de cenizas.

Los procesos de refinación pueden ser tan variados como uno se quiera imaginar. Para cada producto el hombre ha desarrollado infinidad de métodos que le permiten obtener al final un producto mejor; y es ahí donde nace la importancia de la refinación, pues es independiente del mecanismo o proceso que se haya elegido, lo importante es lograr la separación de aquellas partes que lo hacen menos puro.

Lo que determina finalmente el proceso a seguir, son las condiciones propias de cada industria y las características sociales, económicas y hasta culturales de cada planta en particular.

El azúcar refinado es la forma comercial más pura en que se consigue la sacarosa. Es un producto de altísima pureza, con un 99.9% de sacarosa.

La sacarosa es un carbohidrato formado por la fructuosa, dos monosacáridos y la glucosa, unidos por un Puente de oxígeno.

La molécula de sacarosa, como azúcar, se forma por dos vías:

En la primera y más generalizada se obtiene por un proceso natural de algunos vegetales como la caña de azúcar y la remolacha, donde la sacarosa se sintetiza por el proceso vegetativo de fotosíntesis, de donde debe ser extraída por procesos fisicoquímicos.

Y en la segunda se obtiene por un proceso de síntesis artificial a partir de algunos carbohidratos menores, utilizando microorganismos o sus sistemas enzimáticos, proceso que no ha tenido buena acogida debido a que el costo de fabricación es muy elevado y por lo tanto no es rentable.

La sacarosa comercial se obtiene entonces a partir de la caña de azúcar y de la remolacha, por lo que la calidad del producto primario esta definida en primera instancia por la calidad de la materia prima, razón por la cual todos los ingenios azucareros producen azúcar crudo como producto elemental.

A partir del azúcar crudo, obtenido por el procedimiento descrito en el modulo de producción de azúcar crudo, se pueden obtener productos mas puros en contenido de sacarosa y muchos otros productos que tienen como materia prima la sacarosa en cualquiera de sus presentaciones.

A continuación se describen las etapas del proceso de obtención del azúcar refinado.

1.2.1 Etapa de Refundición. Esta etapa se inicia utilizando la azúcar ya procesada. Esto resulta ser una ventaja, pues se evita repetir el proceso del azúcar blanco.

El azúcar se disuelve con agua de proceso y algunas veces con agua dulce, en un tanque dotado de agitadores mecánicos y de un medio de calentamiento para ayudar a la disolución rápida de los cristales. Este tanque es conocido con el nombre de derretidor, disolutor o fundidor.

Al momento de determinar la concentración del licor se debe tener en cuenta que toda el agua de dilución debe ser evaporada posteriormente, también se debe considerar que las mejores condiciones de filtración se obtiene a bajas concentraciones. En términos generales se considera que un nivel apropiado de concentración se encuentra entre los 50 y los 70 grados Brix.

Para calcular la cantidad de agua de dilución necesaria se debe tener en cuenta el volumen efectivo del tanque de dilución y el brix deseado del licor. El brix del licor esta relacionado con su densidad por lo cual es fácil calcular el peso neto del licor, teniendo el peso total y conociendo el brix se procede a calcular la cantidad de agua necesaria.

Los derretidores continuos tienen la propiedad de que miden permanentemente el brix del licor resultante, adicionando automáticamente la cantidad de agua necesaria para mantener la concentración deseada.

La temperatura de dilución tiene gran importancia para el proceso. El coeficiente de dilución de las soluciones azucaradas es mas alto a temperaturas mayores, de esta forma los tiempos de dilución son mas cortos a temperatura altas, pero por otro lado las altas temperaturas favorecen el rompimiento del puente de hidrogeno y por lo tanto la descomposición de la molécula de sacarosa. Se puede decir que los mejores resultados se obtienen a temperaturas menores a 80 °C y mayores de 70 °C.

Es necesario que esta operación tenga un control adecuado y en lo posible automático, pero aun mas es aconsejable tener un registro grafico permanente de esta variable para tomar las correcciones necesarias en caso de falla del sistema automático.

Como norma general los tiempos de retención en los tanques de dilución deben ser lo mas corto posible para evitar la descomposición térmica de la sacarosa, se considera que un tiempo prudencial de residencia en los tanques de dilución esta entra 10 y 15 minutos.

El licor es tamizado para retirar algunas partículas sólidas que vienen en el azúcar blanco o con el agua dulce. Esta separación se hace con un tamiz muy fino de un

material resistente y preferiblemente vibratorio para facilitar la evacuación permanente de los sólidos. Con esta práctica se logra además una disminución apreciable de los insumos químicos utilizados en las etapas siguientes.

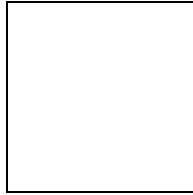


Figura 1: Tanque refundidor de azúcar blanco.

1.2.2 Etapa de Clarificación o flotación. El licor proveniente del azúcar blanco es sometido al proceso de clarificación para retirar algún material insoluble tal como bagacillo muy fino que no ha sido retenido en los procesos previos, además arcilla, y una cantidad apreciable de suspensiones finas, gomas, pectinas y otros coloides verdaderos que no fueron extraídos por la clarificación del jugo ni de la meladura, o que se formaron en el procesamiento.

La flotación se puede definir como el tratamiento del licor con ciertas sustancias y con calor, para lograr una adecuada clarificación y posterior filtración.

La clarificación puede ser de dos formas, una de carácter químico y la otra de carácter físico o mecánico. En la primera se emplean algunos insumos químicos que actúan formando precipitados en el licor. En el segundo caso se hace uso de ayudas filtrantes que permiten la filtración a presión. Los productos químicos usados más corrientemente son fosfatos (P_2O_5), y el CO_2 en ambos casos complementados con cal. Con el uso de las ayudas filtrantes se disminuye mucho el uso de la cal, puesto

que solo se usa la cantidad suficiente para neutralizar ácidos orgánicos existentes en el azúcar.

Las tareas que se realizan en esta etapa tienen como objetivos:

La remoción de partículas insolubles al proceso. Cuando se habla de partículas insolubles nos referimos a los sólidos suspendidos en el licor que no fueron removidos en el proceso de blanco.

Disminuir el color. La disminución del color, este es un parámetro de calidad del producto final y se puede medir en cada etapa del proceso. Su unidad de medida es el UI que significa unidades ICUMSA.

La turbiedad. Es otro parámetro y depende del grado de refracción del licor.

Durante el recorrido que realiza el azúcar diluido en dirección al clarificador, se le adicionan los siguientes compuestos químicos.

Tetraflor. Es el nombre industrial que se le da a un tipo específico de decolorante, el cual es utilizado para disminuir el color del licor.

Acido fosfórico. Es la forma más común y económica de aplicar fosfatos a los licores con el fin de permitir la formación del fosfato tricálcico fuerza generatriz del proceso de clarificación.

Sacarato. Es la mezcla en determinadas proporciones de lechada de cal y licor clarificado que cumplen dos funciones principales:

1- Reaccionar con los fosfatos adicionados previamente y formar el fosfato tricálcico.

2- Neutralizar el pH del licor, parámetro importante en los procesos siguientes.

Floculante. Es un polímero de alto peso molecular encargado de aglomerar los sólidos de tipo coloidal que no fueron agrupados por el fosfato tricálcico.

Posteriormente se realiza un proceso de calentamiento del licor con el fin de aumentar la reactividad de los compuestos químicos adicionados y también disminuir la viscosidad del licor para facilitar el proceso de clarificación.

La clarificación se lleva acabo en un equipo especial en la que el licor entra de la parte inferior a la superior por un tubo central y desborda, y en el que las impurezas que vienen con el licor experimentan un proceso físico químico de ascenso siendo removidas en la parte superior por unas paletas giratorias llamadas raspadores o rompe olas.

Teoría de flotación. La flotación es el mecanismo físico químico, por le cual los compuestos sólidos experimentan una velocidad de ascenso, estando sumergidos en un liquido, aumentan su volumen especifico arrastrando las sustancias a su paso

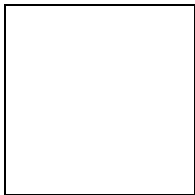
y acumulándose en forma precisa en la capa superior de la celda de flotación y dejando el líquido purificado en su interior libre de impurezas.

Si comparamos la teoría de clarificación sedimentación por caída libre, el desarrollo de las principales leyes de la flotación pueden ser establecidas.

El término clarificación sedimentación libre implica el asentamiento por gravedad solamente de las partículas sólidas suspendidas en el líquido. Por lo general el resultado de la operación define la obtención de licor claro y un lodo como desecho sedimentario.

El asentamiento de la partícula depende sobre todo de su tamaño, de su forma y características físicas, así como de la densidad y viscosidad del licor.

Como las partículas son siempre de formas irregulares, la velocidad de caída libre sería (ley de Stokes):



Donde:

V = Velocidad de la partícula (cm/seg)

D = Diámetro promedio de las partículas

d_1 = Densidad de la partícula sólida

d_2 = Densidad del líquido

U = Viscosidad del licor

K = Incluye la gravedad que es constante y la forma de la partícula

Entre mayor sea la diferencia ($d_1 - d_2$), mayor será la velocidad de sedimentación.

De igual forma en la medida en que esta diferencia sea más pequeña, la sedimentación será más lenta. Si la diferencia es nula, las partículas permanecerán en equilibrio, esto nos hace pensar entonces que si la diferencia es negativa, es decir, que la densidad del líquido es mayor que la de las partículas en suspensión entonces, la velocidad será negativa, o dicho en otras palabras se presentara un ascenso de las partículas, lo que constituye el fenómeno de flotación de las partículas en suspensión.

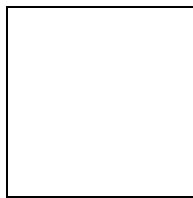


Figura 2: Clarificador o flotador.

1.2.3 Etapa de filtrado

1.2.3.1 Filtros de lecho profundo. La función de los filtros de lecho profundo es la de remover las partículas que alcanzaron a pasar de la etapa de clarificación. Esto

se logra por medio de un proceso un poco complejo el cual será explicado mas adelante en el manual de operación de los filtros de lecho profundo.

Los flóculos transfieren carga decolorante al licor, además aumenta la viscosidad. Esto tiene como consecuencia el aumento de la turbidez y color del azúcar refinado y de la humedad final.

La eficiencia de remoción debe alcanzar un valor alrededor del 80%.

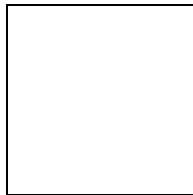


Figura 3: Filtros de lecho profundo

1.2.4 Etapa de decoloración. En esta etapa se busca remover en forma masiva los compuestos colorantes presentes a un en el licor. Existen varias formas o equipos para esta función, castilla industrial opto por el uso de columnas de resina de intercambio iónico que es un método de última tecnología aplicado en las refinerías modernas.

Las resinas de intercambio iónico se pueden clasificar de diferentes formas: por su constitución en naturales y sintéticas y por su reacción específica de intercambio en aniónicas y cationicas, entre otras clasificaciones.

En el proceso descrito se utiliza una columna con resina de tipo sintética y aniónica teniendo en cuenta que la gran mayoría de compuestos que generan color son de tipo aniónico.

El licor llega a la columna de resina entrando por la parte superior y reaccionando con la resina que se encuentra en su interior, se produce el proceso de intercambio y el licor que sale por la parte inferior de la columna es llamado licor resinado que tiene unas características de color y turbiedad deseables.

Este licor es la materia prima para el proceso de cristalización.

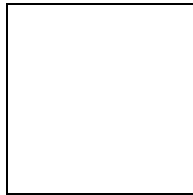


Figura 4: Tanque de resina.

1.2.5 Etapa de cristalización. Dado que el tema de la cristalización es muy similar al de la azúcar blanco, aquí solo se hablara de las particularidades, ya que se presume que el tema esta suficientemente claro.

Características de los tachos. Los tachos al vacío corresponden al mismo principio del azúcar blanco, se debe de tener como características deseables:

- 1- La presión de vapor en la calandria debería estar entre 12 y 15 psi.
- 2- Cada tacho debe poseer agitación mecánica.

3- Cada tacho debe estar provisto de la instrumentación necesaria para su operación automática.

4- El semillamiento debe hacerse mediante semillamiento completo, a partir de pasta de azúcar molida, pero cuidando el desarrollo uniforme y suficiente de los cristales.

5- Las válvulas de descarga deben tener al menos la tercera parte del área transversal del tacho para favorecer su descarga.

Sistema de templeas. La mayoría de refinerías utilizan el sistema de cuatro templeas, que consiste básicamente en hacer agotamientos sucesivos de los siropes resultantes de la templea anterior. Lo cual da como resultado cuatro calidades de azúcar, el sirope resultante de la cuarta templea es retornado a la casa de crudo, para ser mezclado con la meladura.

Desde hace algunos años se comenzó a trabajar refinerías de una sola templea. Este sistema consiste en hacer un retorno de la totalidad del jarabe hacia el licor final y una parte apreciable de la miel verde también.

El sistema, como es de esperar, solo produce azúcar de una calidad más o menos constante y estable. La única condición consiste en tener un adecuado control de retorno de miel verde para evitar los incrementos de color en el azúcar o en el otro

sentido aumentar el retorno hacia la casa de crudo en detrimento de la capacidad de molienda

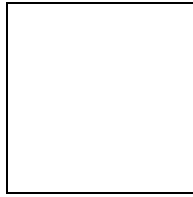


Figura 5: Tachos de refino.

1.2.6 Etapa de Centrifugado. El trabajo de centrifugas esta comandado por los mismos patrones que se siguieron durante la purga de las masa primeras de crudo.

Se debe tener especial cuidado con los tiempos del ciclo de las centrifugas, especialmente lo relativo a los lavados.

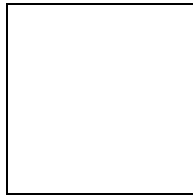


Figura 6: Centrifugas.

1.2.7. Etapa de Secado. El azúcar húmedo proveniente de las centrifugas contiene en el orden de 1% de humedad, se transporta a tolvas de almacenamiento. Y desde ahí se dosifica a las secadoras de azúcar.

Las secadoras son generalmente tambores rotatorios donde se produce una transferencia de masa (la humedad), que fluye desde el azúcar hacia el aire de secado.

El aire es calentado al atravesar sendos intercambiadores de calor, que utilizan como medio de calentamiento vapor.

El azúcar entra en contacto dentro del tambor rotatorio con aire caliente, cediendo parte de su contenido de humedad. El azúcar al salir de esta unidad lleva todavía una película de agua en forma de vapor circundando los cristales, y que mantiene su equilibrio dada la alta temperatura a la que salen del tambor.

Para remover la humedad remanente el azúcar se pone en contacto con aire frío, el cual absorbe la humedad residual de la superficie y baja la temperatura de los cristales hasta un punto adecuado para el envase.

Algunos equipos cuentan con una unidad de deshumectación del aire de enfriado, para aumentar la eficiencia del secado, el sistema es similar a un aire acondicionado, donde inicialmente se reduce la temperatura hasta valores muy bajos, a los cuales la humedad relativa llega hasta su punto de saturación, comenzando el proceso de deshumectación, posteriormente la temperatura es incrementada nuevamente hasta cerca de la temperatura ambiente, con lo cual se logra una disminución muy grande de la humedad relativa.

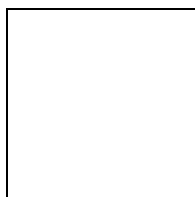


Figura 7: Secadora giratoria.

El azúcar seco es pasado por un tamiz donde se separan los terrones formados durante los procesos de centrifugación y secado.

El paso siguiente es la separación de las partículas finas, las cuales se separan por medio de un tamiz muy fino. El azúcar en estas condiciones queda listo para ser envasado.

Características técnicas del azúcar. El envase del azúcar en sus diferentes líneas de comercialización, debe estar sujeto a unas características mínimas de calidad.

En Colombia las características mínimas de calidad están establecidas mediante Normas Icontec.

Se espera obtener azúcar refinada con las siguientes características:

Pol. Mayor o igual al 99.9

Color. Menor a 40, y puede llegar hasta 5 U.I.

Humedad. Menor a 0.04%.

Ceniza. 0.025%.

Azúcar reductor. Menor 0.040%.

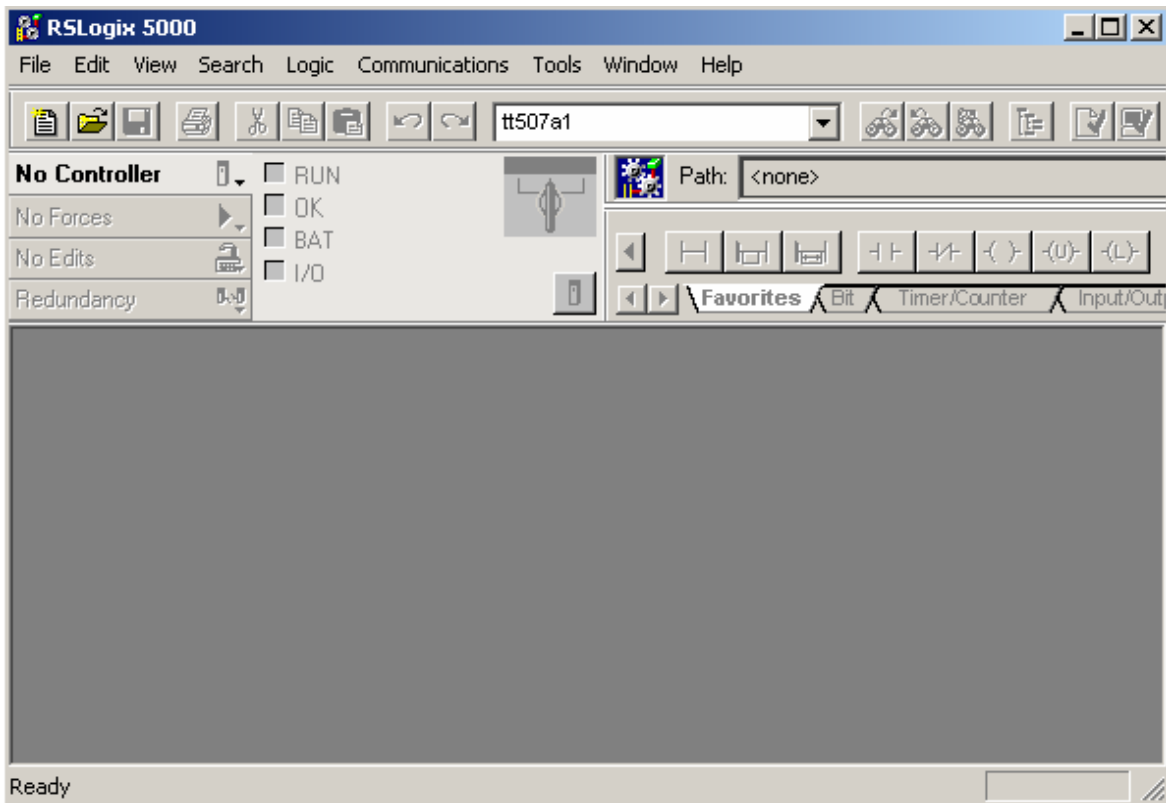
Turbiedad. Menor a 20

Anexo C. 1. PROGRAMACIÓN

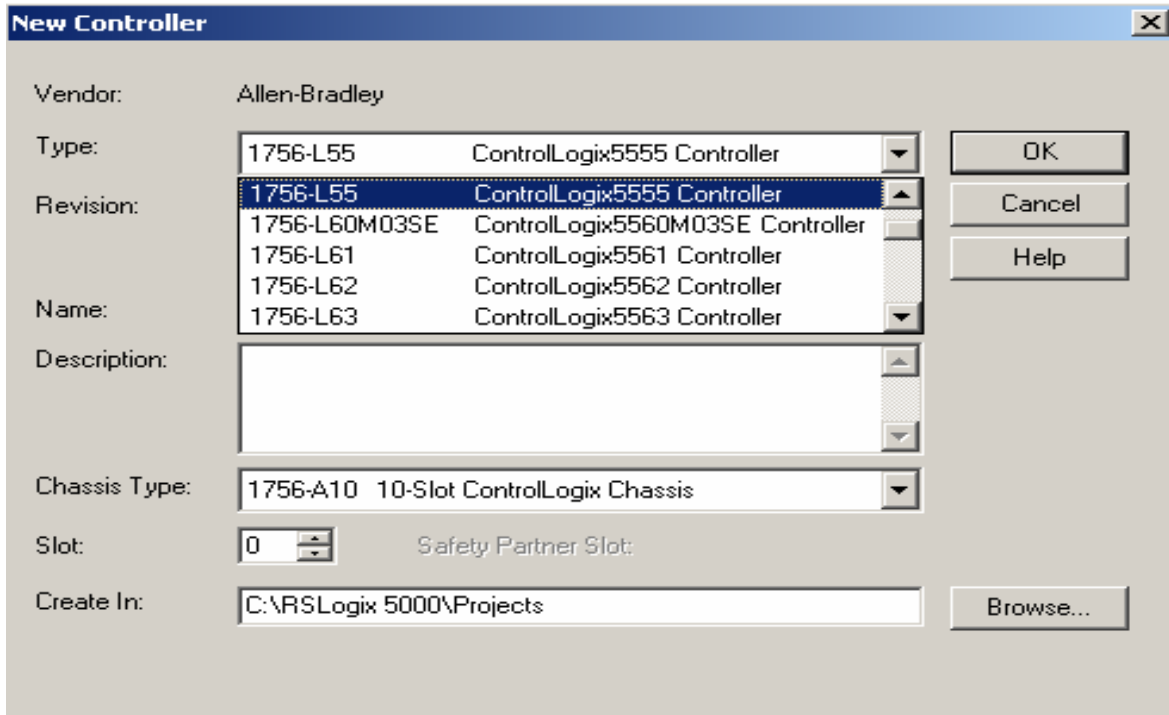
1.1 CONFIGURACIÓN DEL PLC A TRAVÉS DEL SOFTWARE RSLOGIX 5000

Se crea un nuevo proyecto

- **Paso 1.** Se abre el software RSLogix 5000 Enterprise.

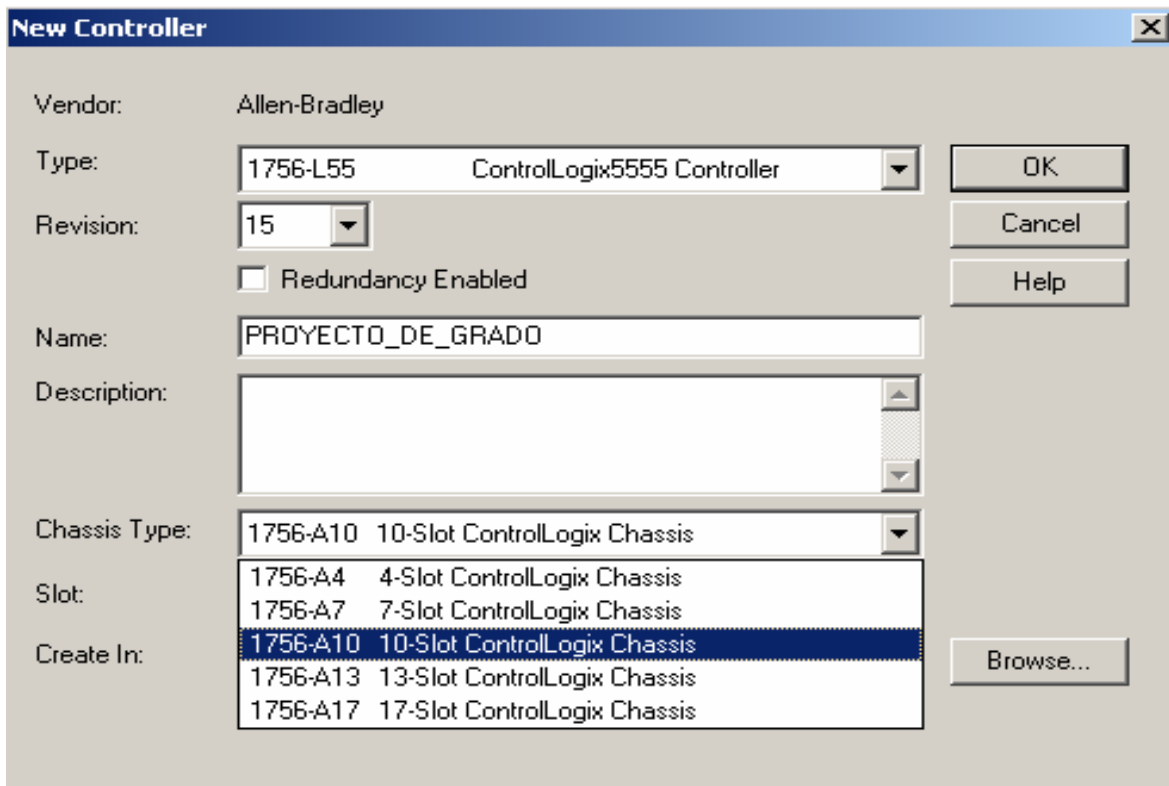


- **Paso 2.** Se ingresa a file-new para crear un nuevo proyecto. En esta parte se selecciona el procesador que se va a utilizar 1756-L55 ControlLogix 5555 Controlle.



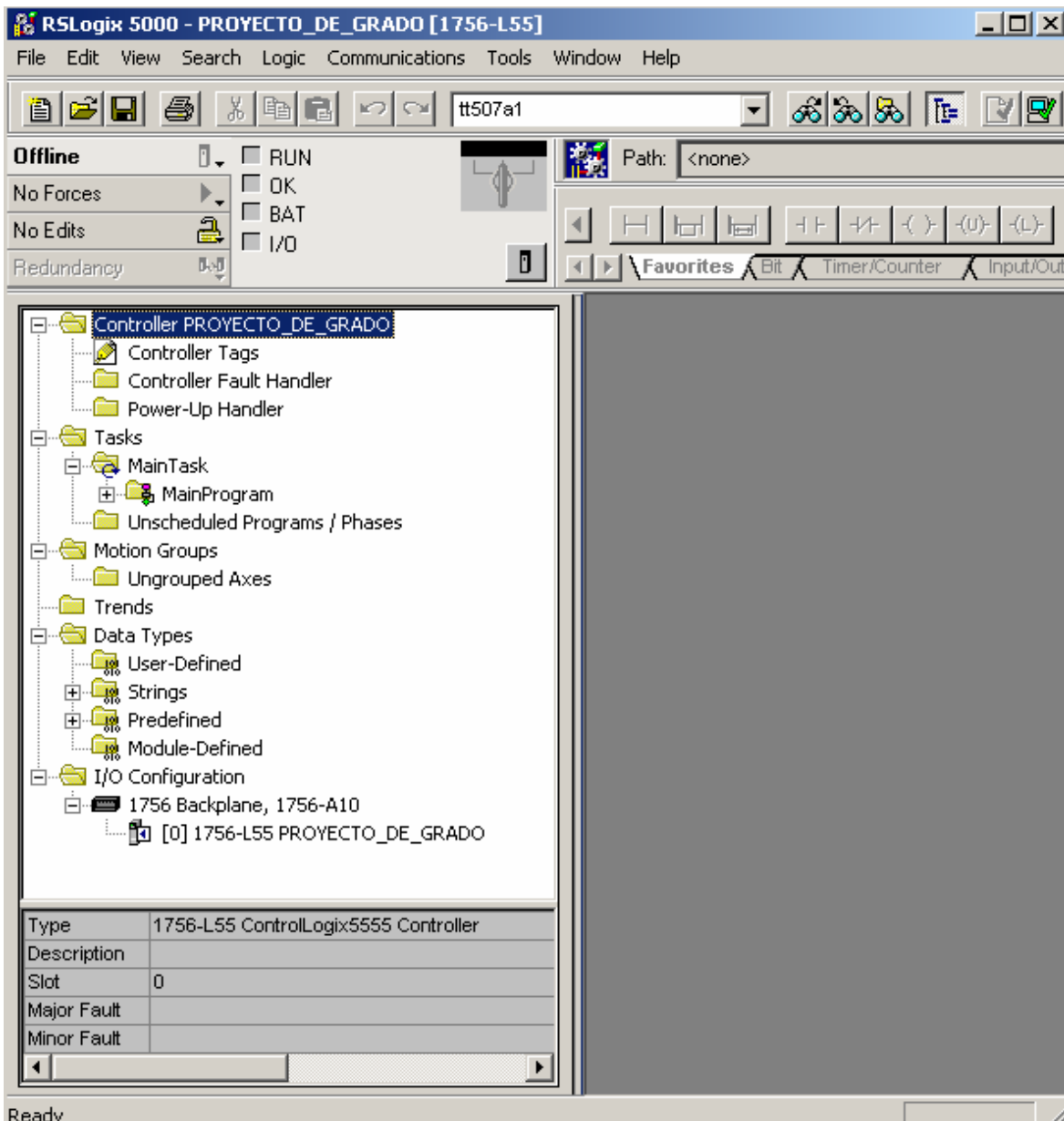
- **Paso 3.** Se escoge la revisión y el nombre del proyecto. Se utiliza la ultima revisión que es la numero 15.

Se utiliza PROYECTO_DE_GRADO como nombre del proyecto.



- **Paso 4.** Se escoge el tipo de chasis. Según los cálculos se debe utilizar un chasis de 10 slots.

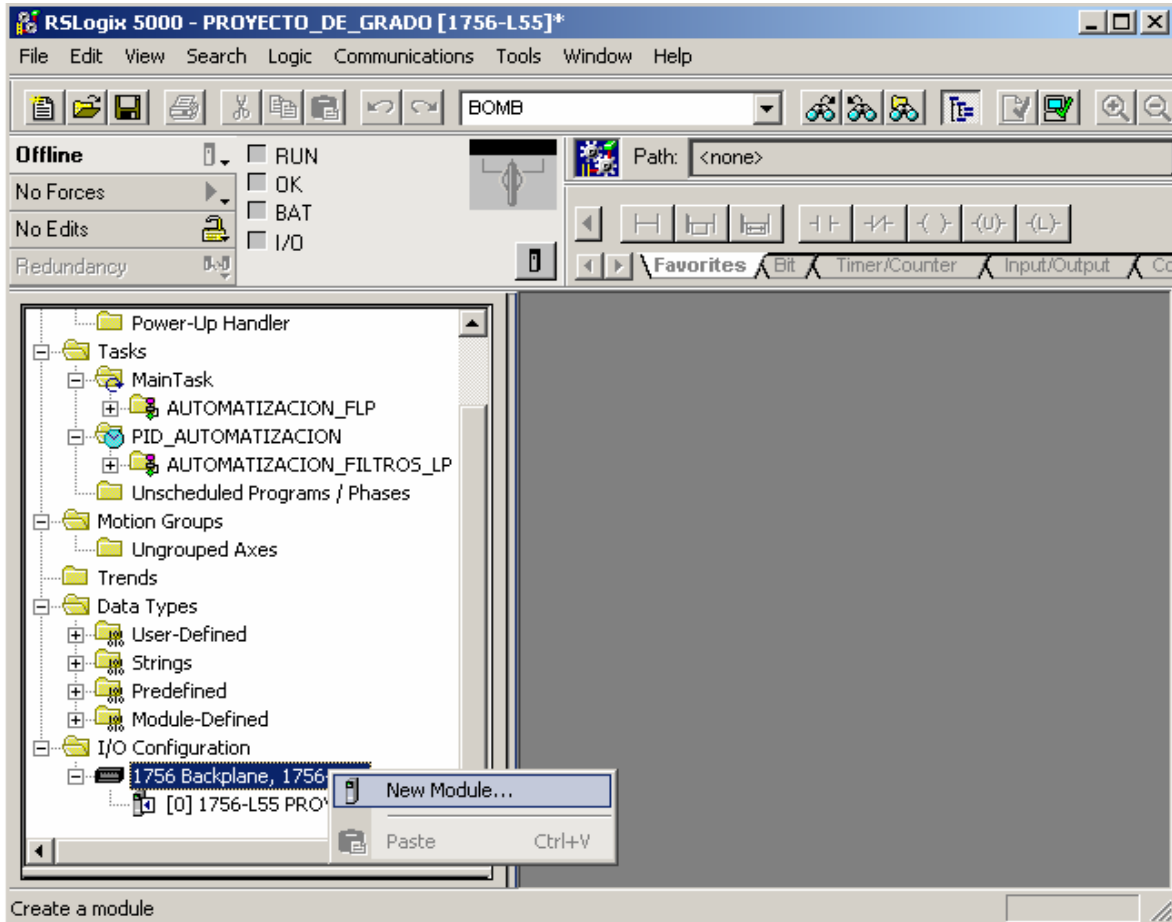
Después de creado el nuevo proyecto, se observa la siguiente ventana en la que se realiza la configuración del RSLogix 5000 (figura x).



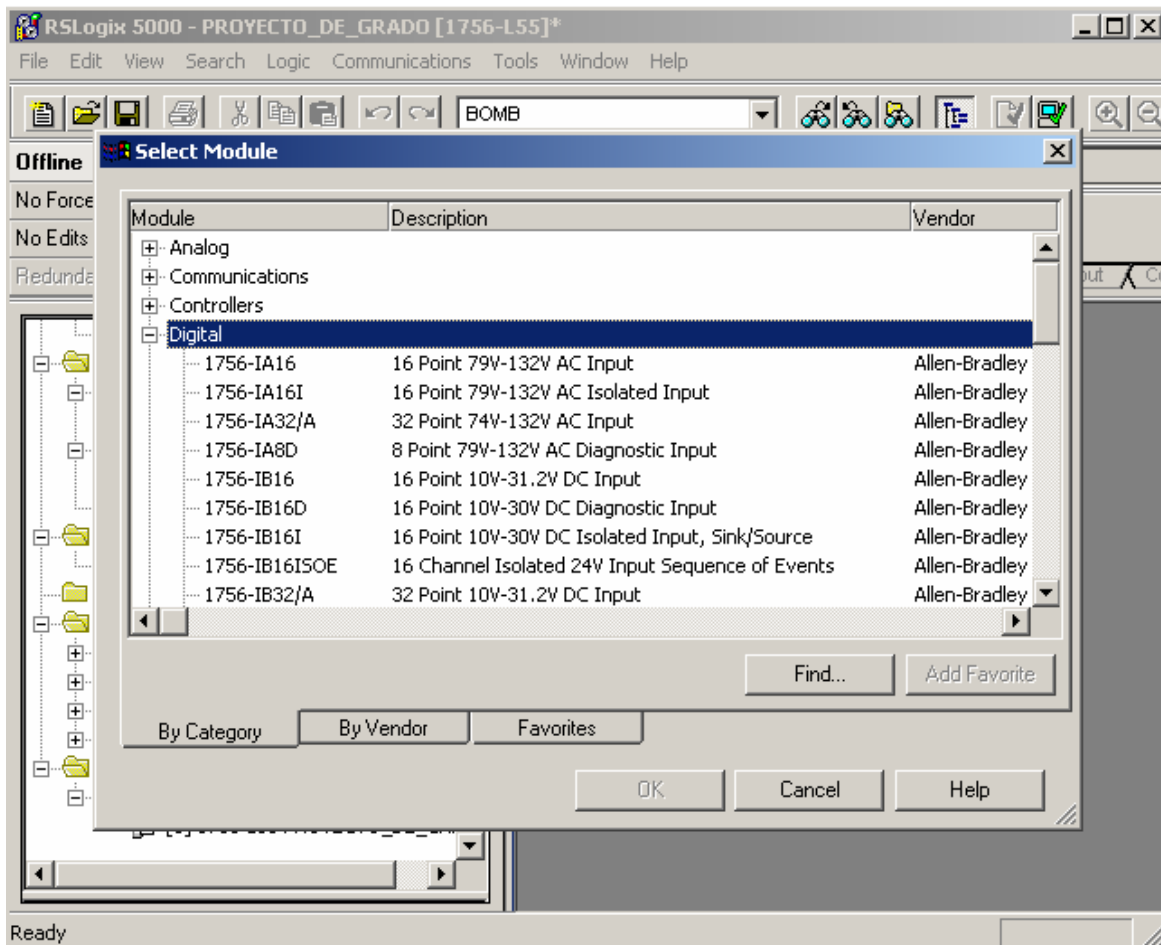
1.1.1 Configuración de módulos. En la parte inferior izquierda de la pantalla anterior en I/O configuration se puede observar el modulo cero que corresponde al procesador que se utilizara en el PLC, este se creo y configuro cuando se estaba creando el nuevo proyecto.

1.1.2 Entradas digitales. Se tienen 56 entradas digitales, por lo tanto se necesitan de dos módulos de 32 entradas.

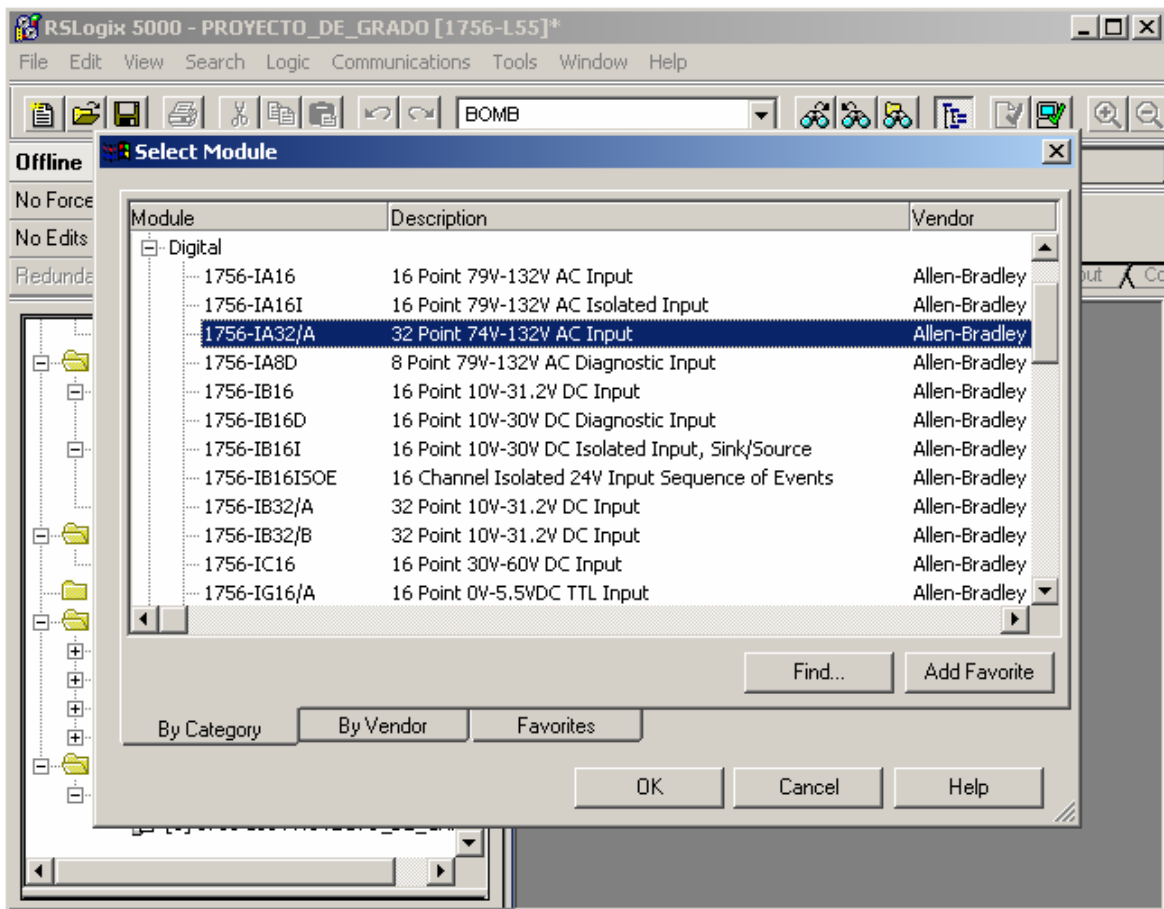
- **Paso 1.** Se da clip derecho sobre backplane 1756-A10, ahí se despliega una ventana la cual muestra la opción new module que sirve para crear un nuevo modulo.



- **Paso 2.** Se escoge el tipo de modulo. En este caso se configurara un modulo digital.



- **Paso 3.** Se escoge la referencia del modulo. La 1756-IA32/A cumple con los requerimientos del diseño, este modulo tiene 32 entradas digitales.



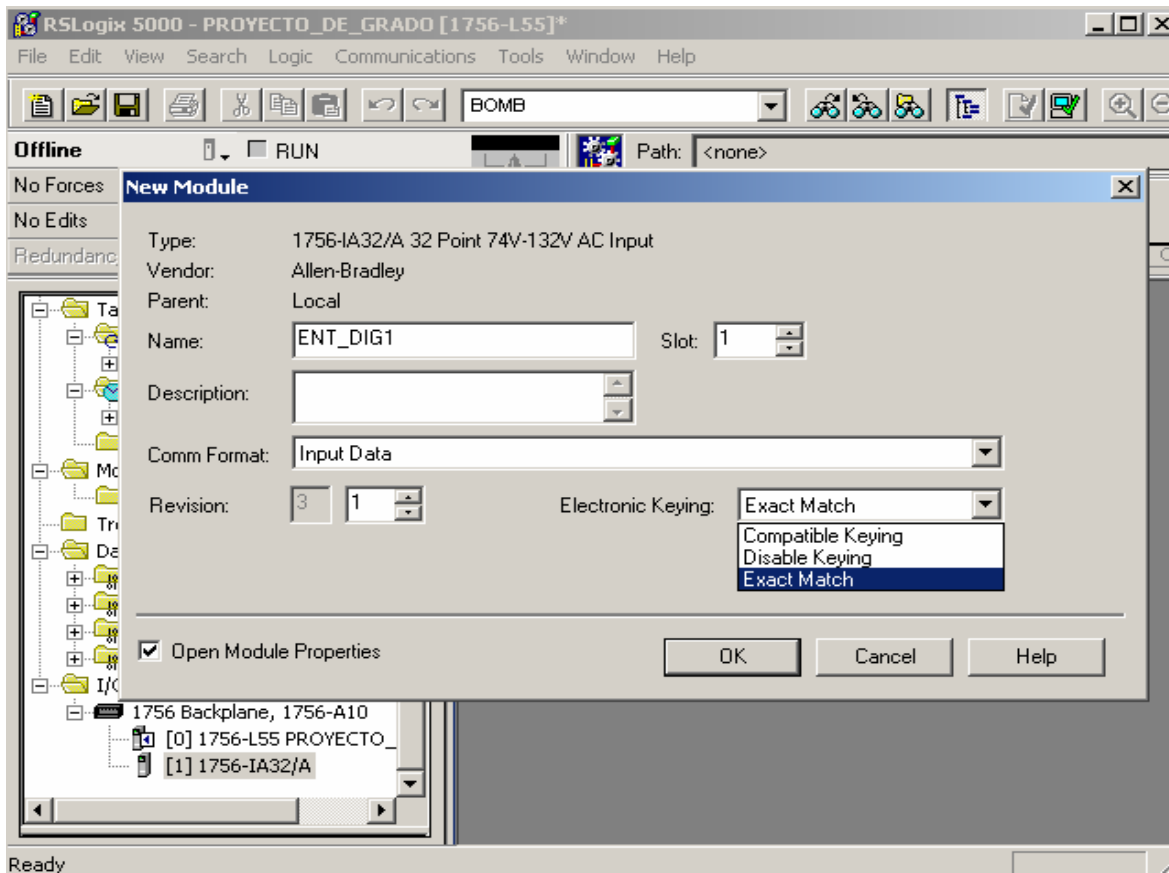
- **Paso 4.** Se le asigna un nombre con el cual se identificara el modulo. La ubicación del modulo en el chasis aparece por defecto. Ejemplo: slot 1.

La opción Comm Format también se deja por defecto en Input Data.

Para colocar el número de revisión del módulo primero se observa los datos del fabricante y luego se ingresa el dato en esta casilla.

La opción Electronic Keying sirve como una llave electrónica la cual restringe el uso de módulos que no corresponda al configurado, ayudando a evitar daños. Esta opción es recomendable dejarla por defecto en Compatible Keying.

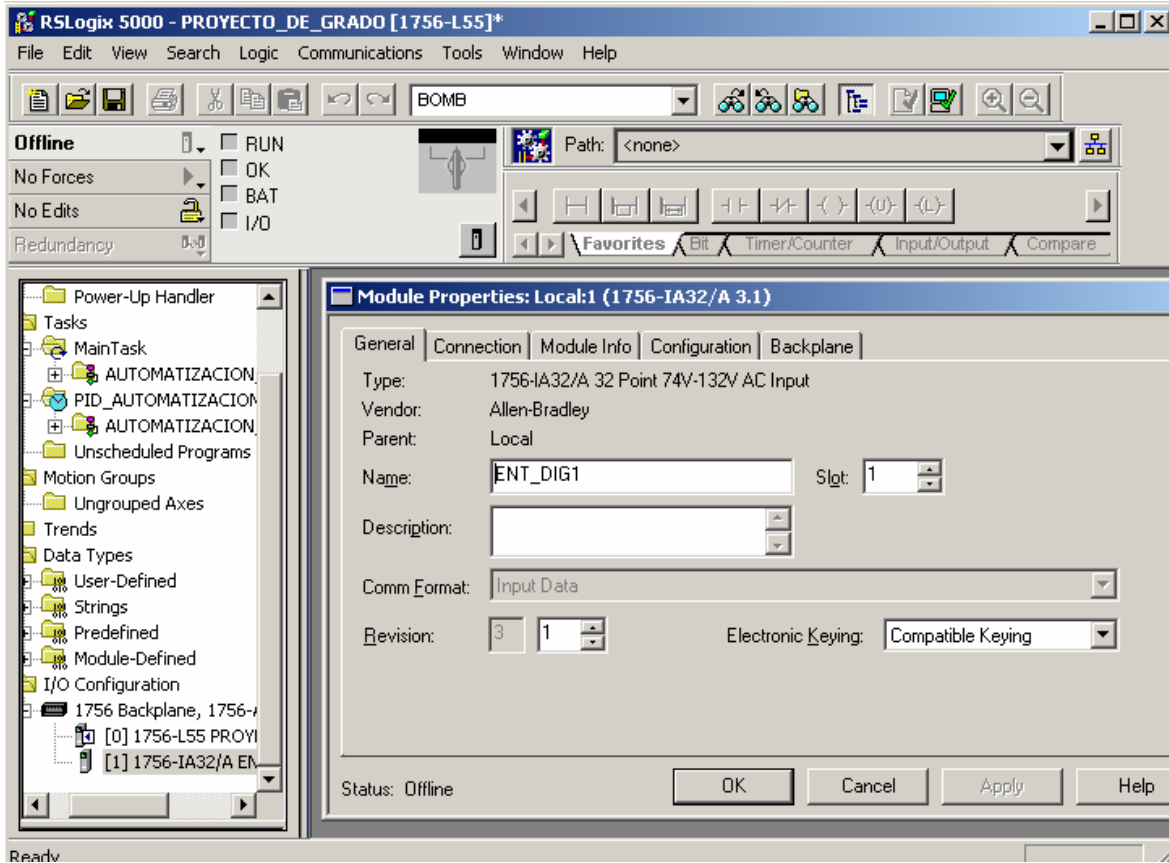
Cuando se utiliza Compatible Keying se compara el tipo de módulo y el tipo de revisión. Cuando se escoge Disable keying se puede ingresar cualquier tipo de módulo al slot los cuales pueden ocasionar daños. Cuando se escoge Exact Match solo se puede introducir al slot un módulo que coincida con el número de revisión, tipo, serial, etc. Debe de ser prácticamente igual al módulo original.

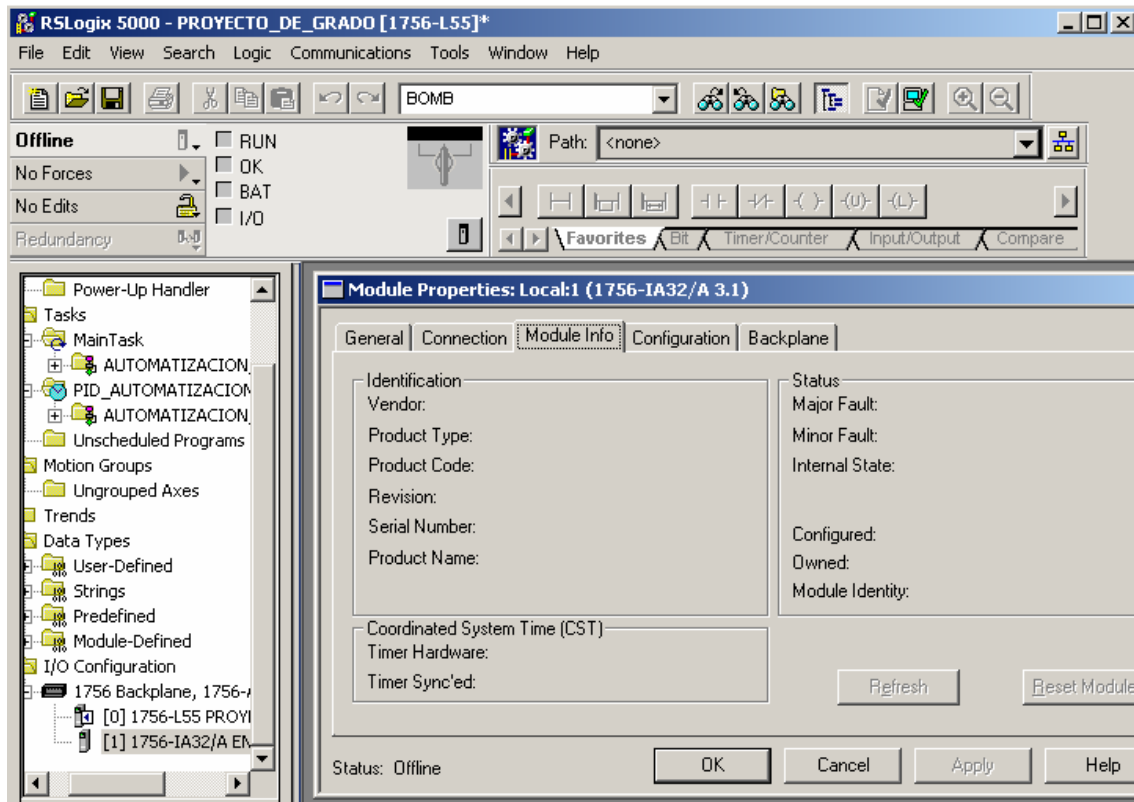
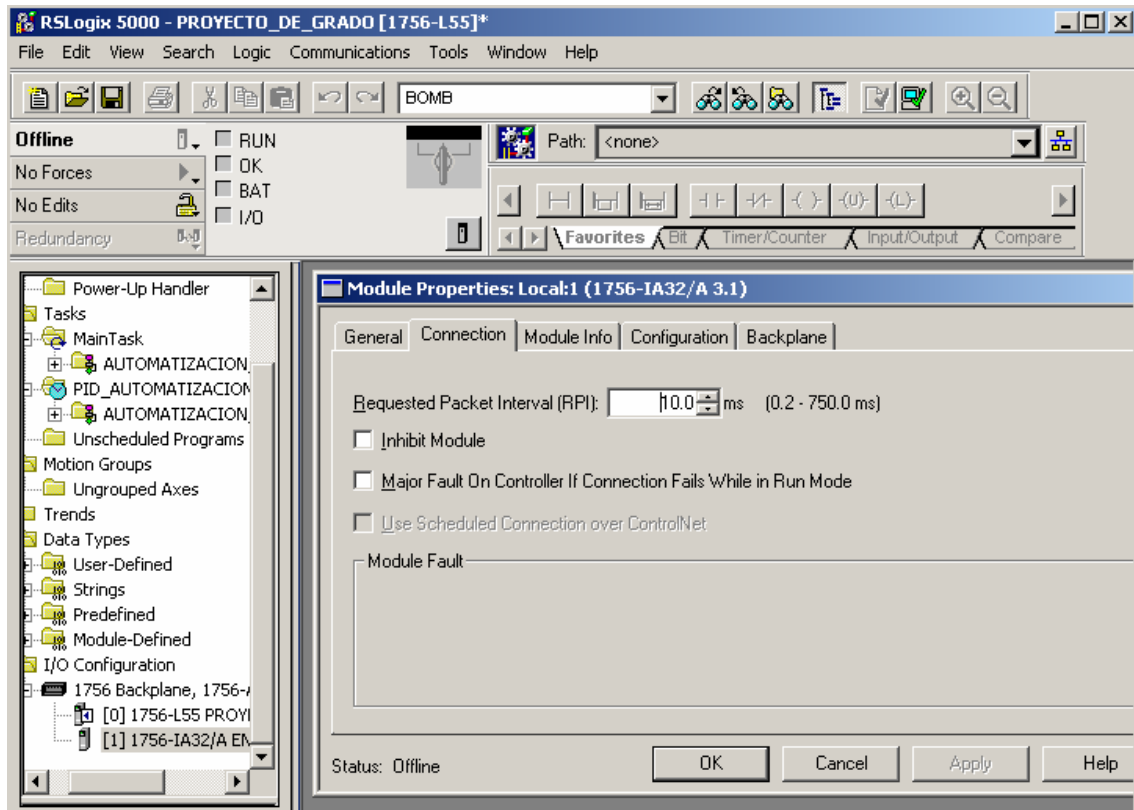


Después de creado el modulo, se configuran sus propiedades.

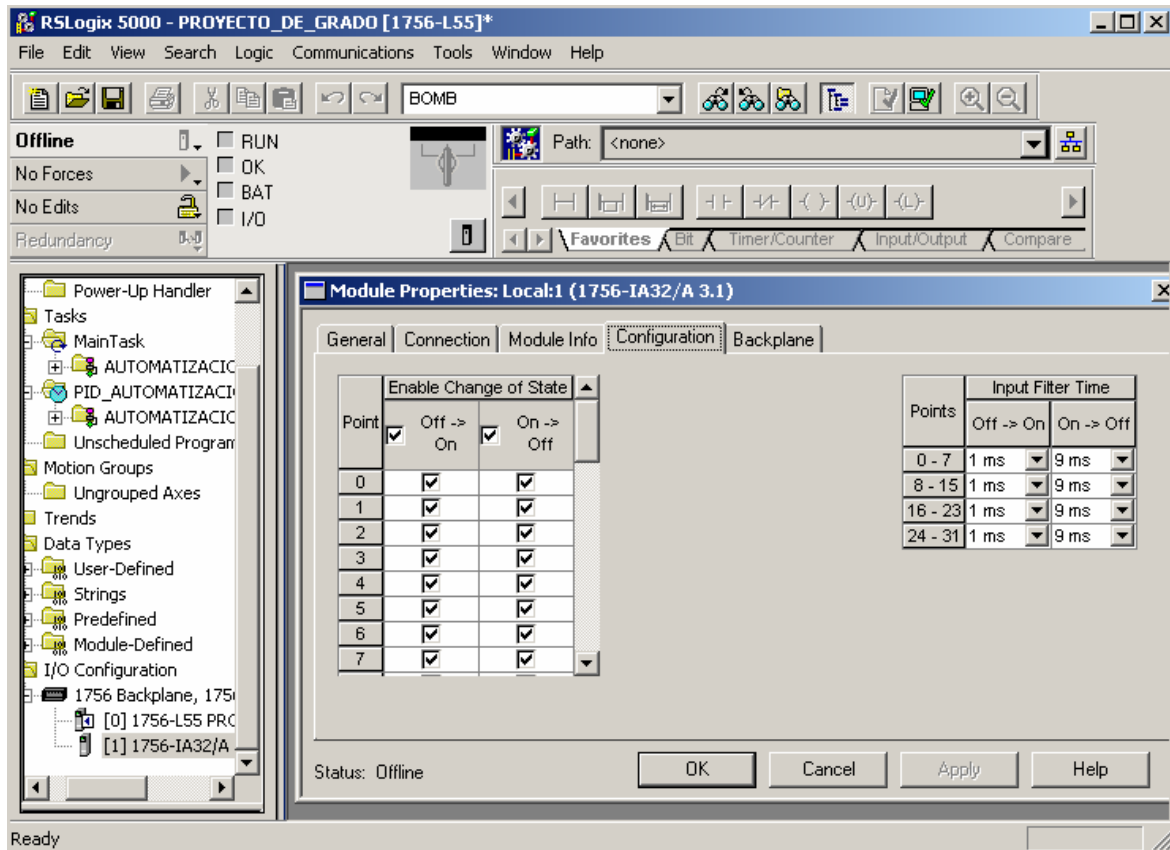
- **Paso 5.** Las siguientes opciones de las propiedades del modulo, se dejan por defecto, no es necesario hacerles cambios.

- * General.
- * Connection.
- * Module Info.

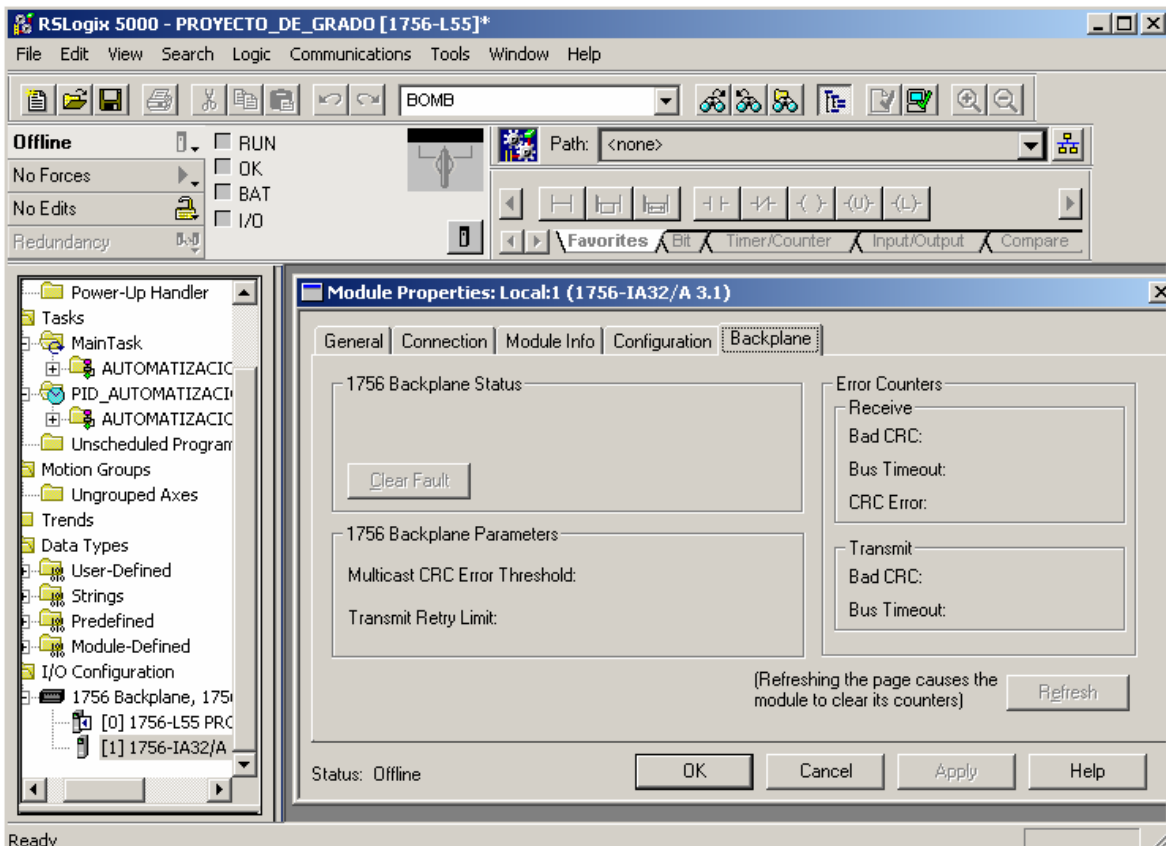




- **Paso 6.** La opción Configuration es utilizada solo para tareas de eventos, por lo tanto no se necesita hacerle cambios, se deja todo lo que aparece por defecto.



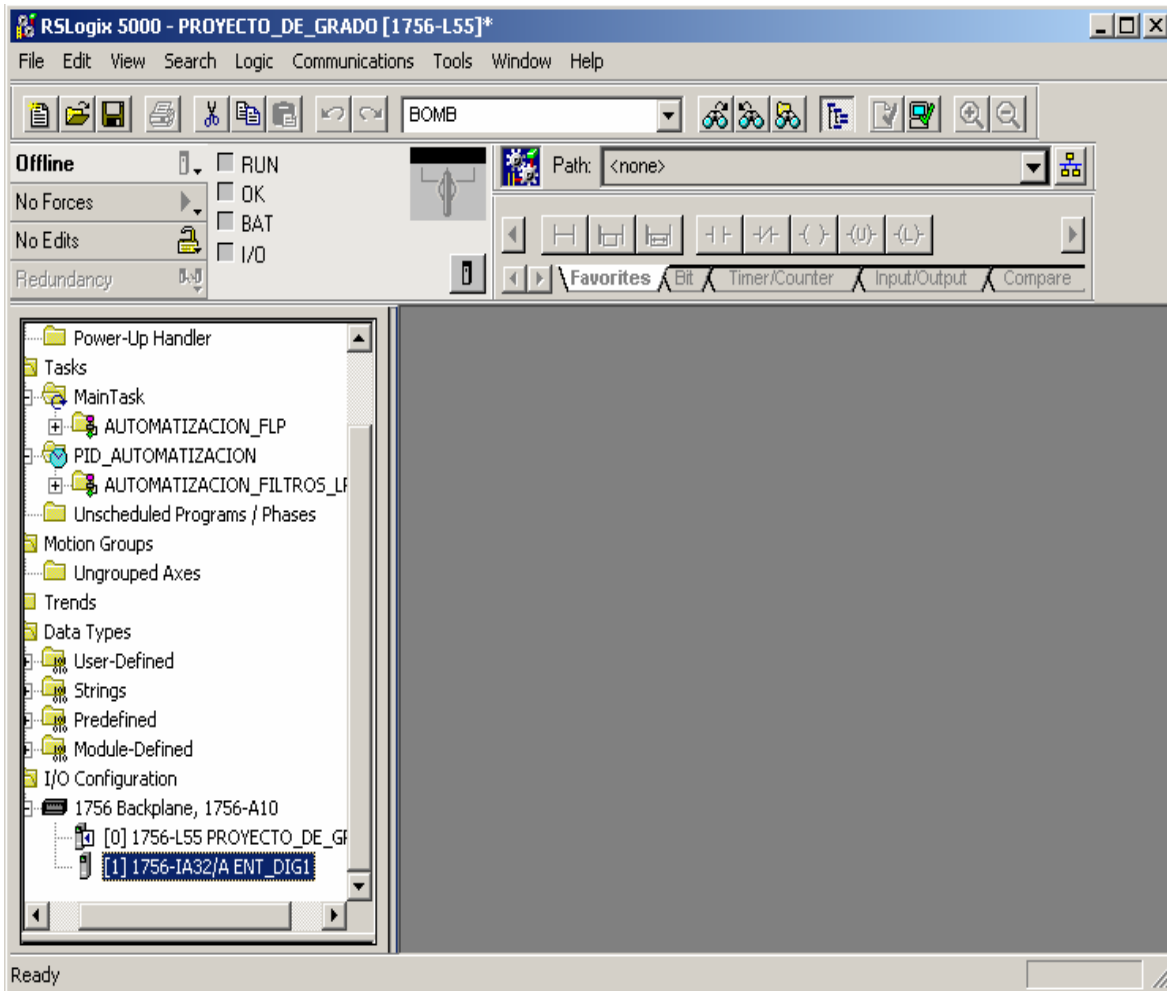
- **Paso 7.** Se ingresa a Backplane para observar las propiedades del bus de comunicación.



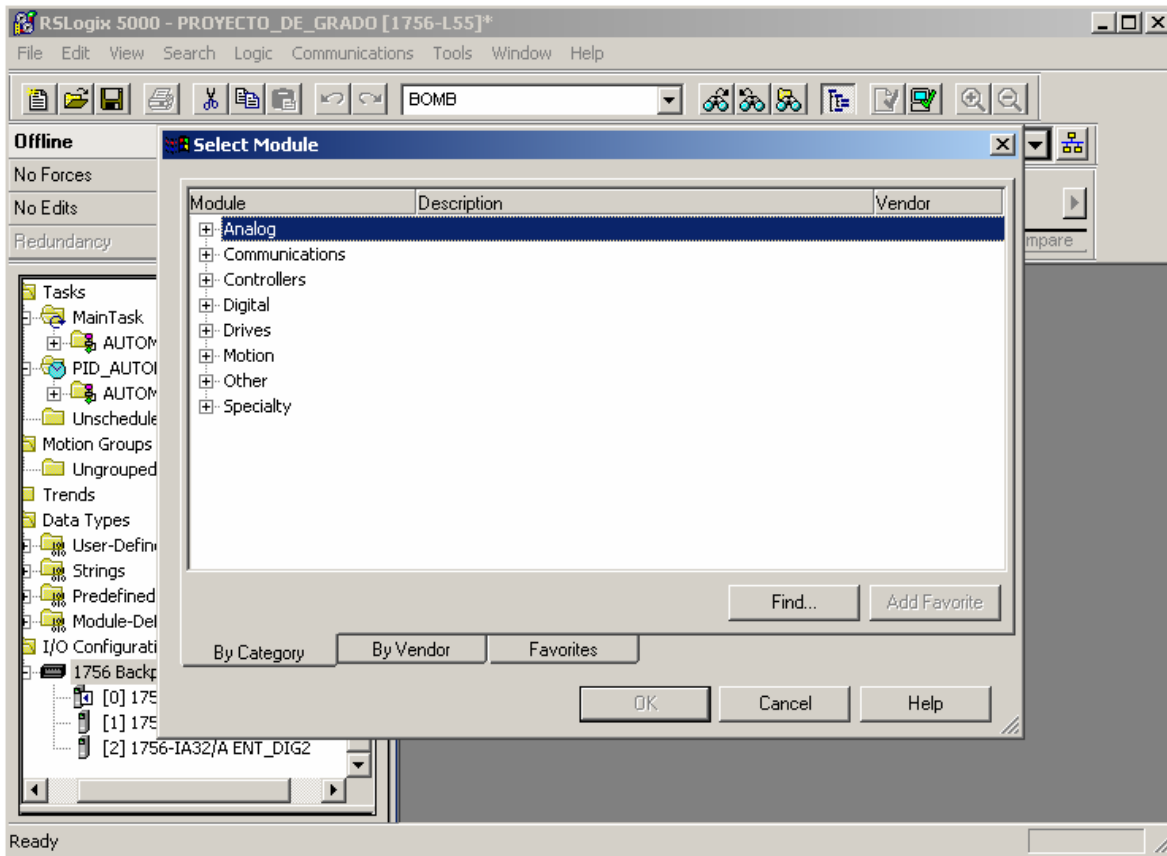
Por ultimo se da clip en OK para finalizar la configuración.

En la pantalla siguiente dentro del Backplane se puede observar el nuevo modulo.

El primero corresponde al modulo del procesador y el segundo corresponde al modulo digital.



Para crear el otro modulo digital se realizan los mismos pasos. Lo único que cambia es el nombre.

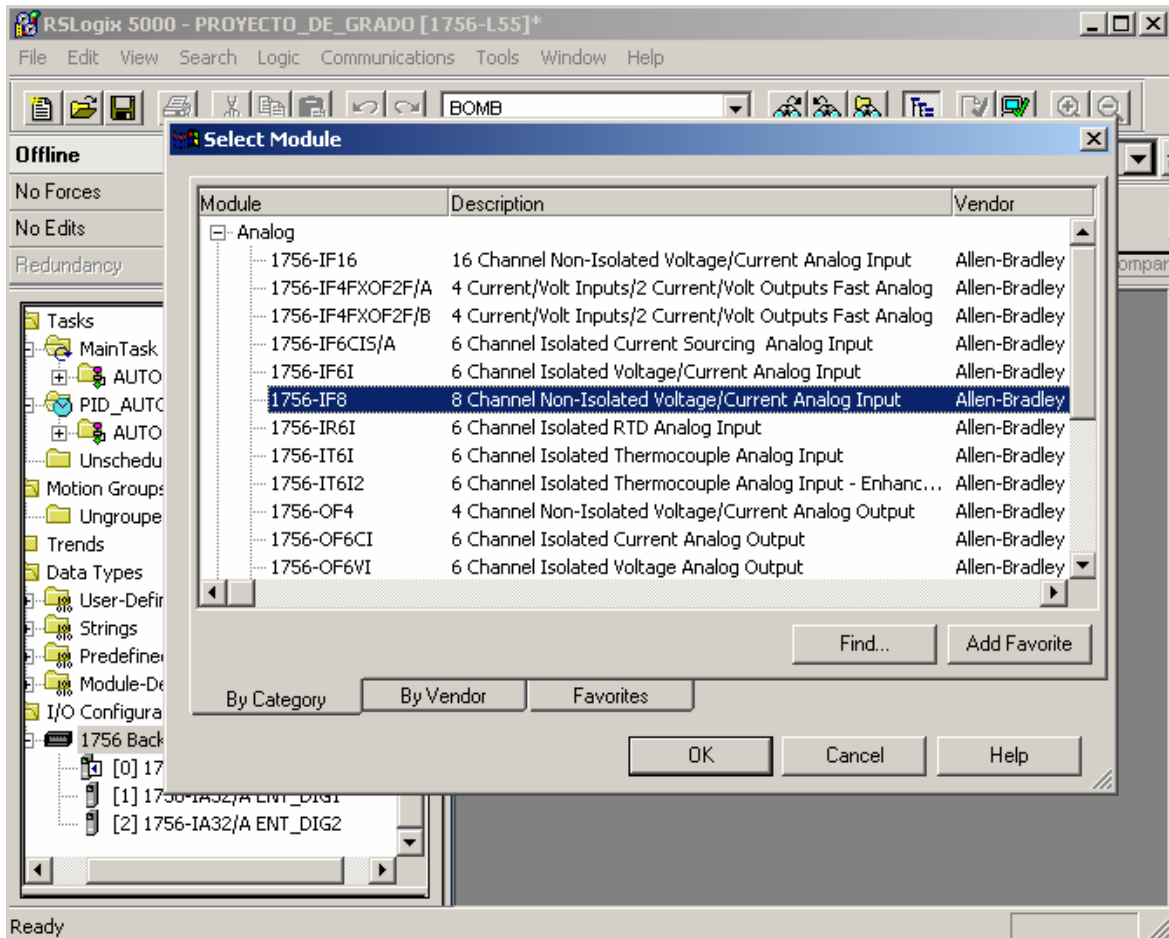


1.1.3 Entradas análogas. Se tienen 8 entradas análogas, 5 de transmisores pasivos y 3 de transmisores activos. Se utilizan dos módulos de 8 entradas para cada caso.

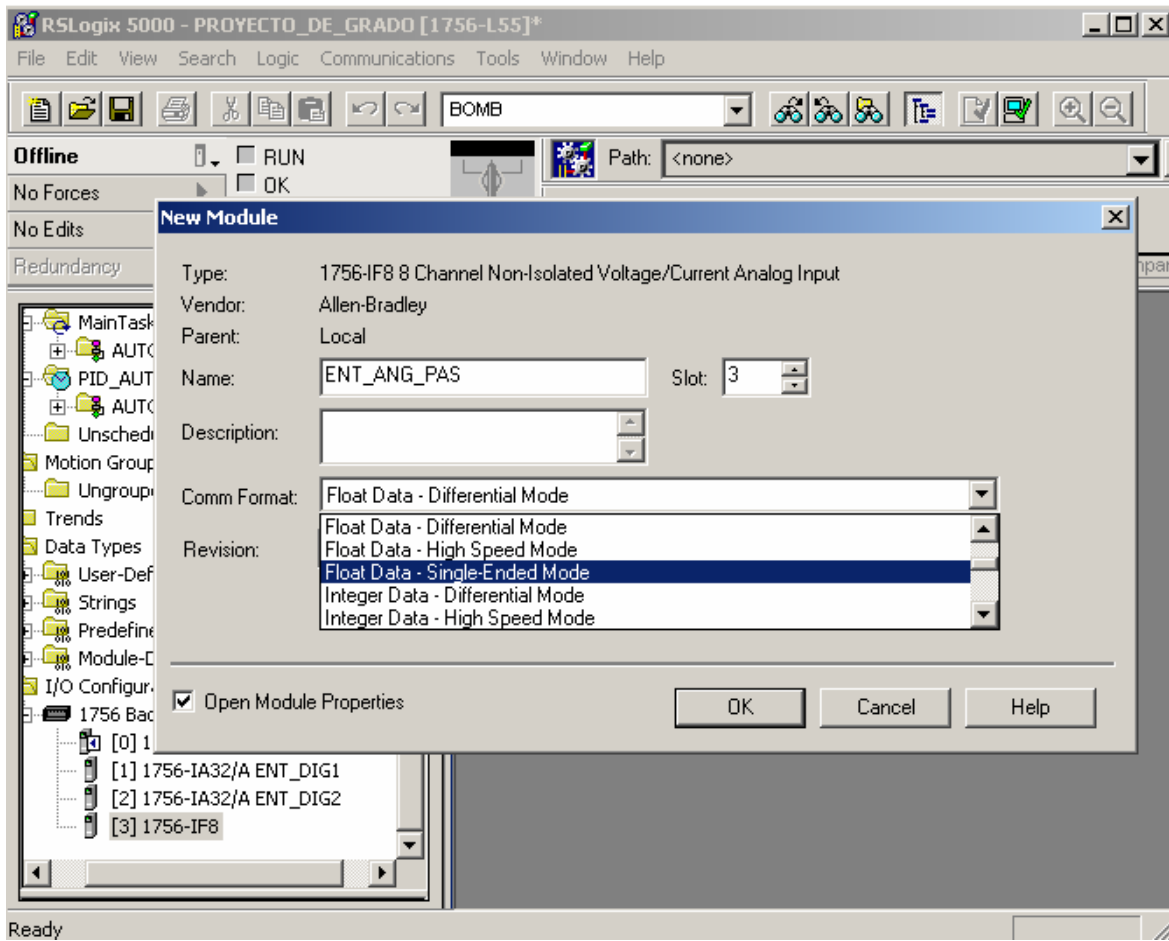
La referencia de los módulos es la misma, solo difieren en la configuración.

1.1.4 Configuración del módulo para los transmisores pasivos

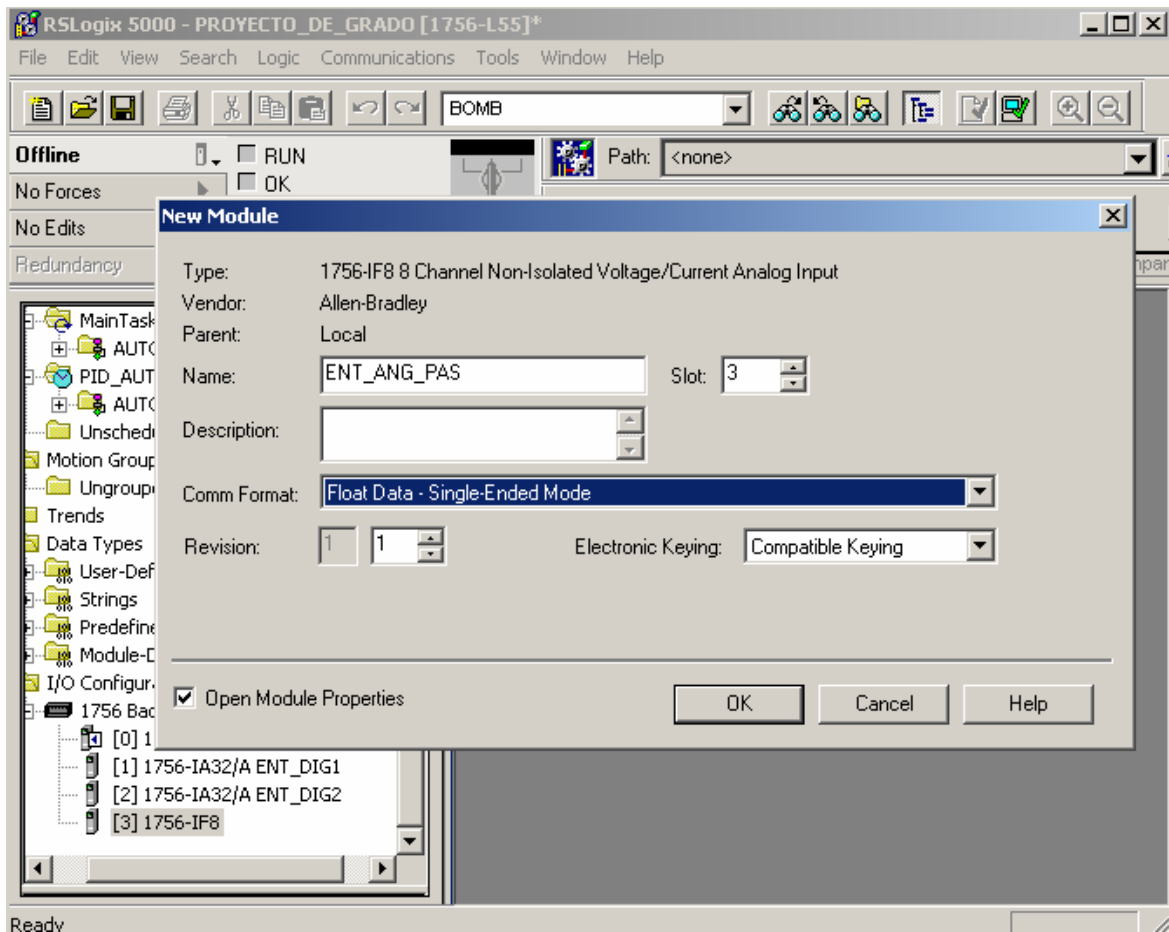
- **Paso 1.** Se crea un nuevo modulo, se escoge el tipo de modulo y se selecciona la referencia, la cual es 1756-IF8 que corresponde a un modulo de 8 entradas análogas.



- **Paso 2.** Se le da un nombre al modulo y se escoge para que tipo de señal será utilizado, en este caso se utilizara para transmisores pasivos los cuales se configuran como singlen-ended dato flotante.

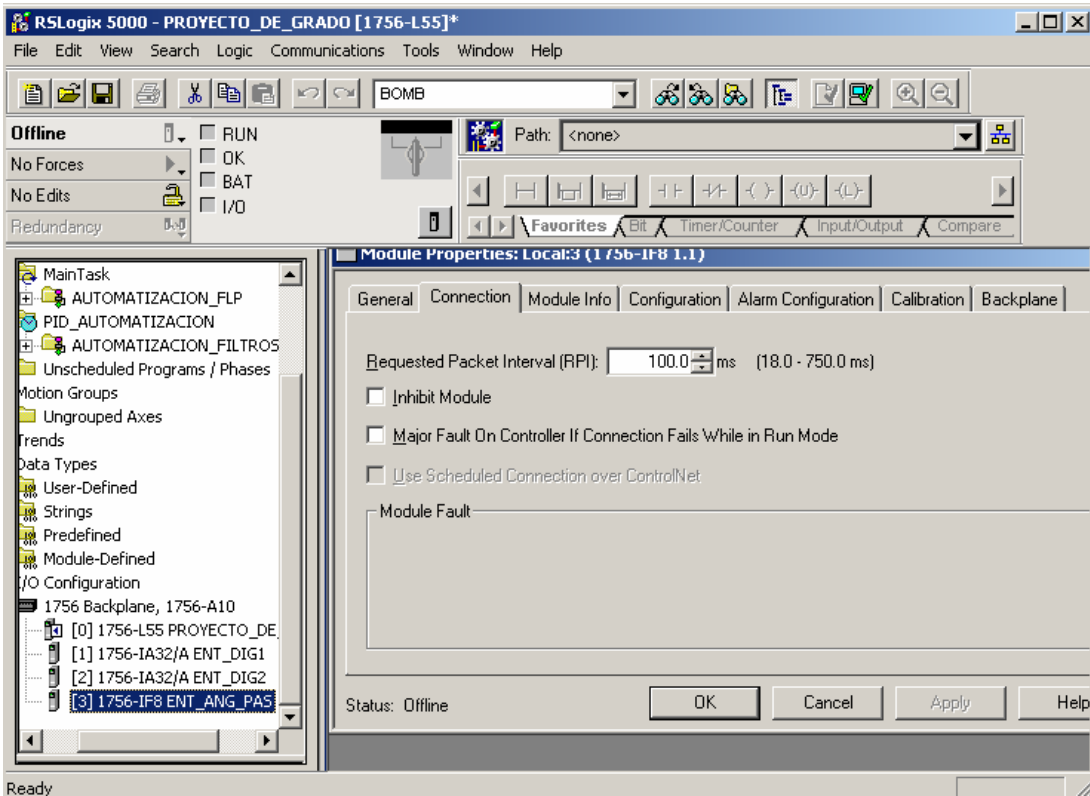
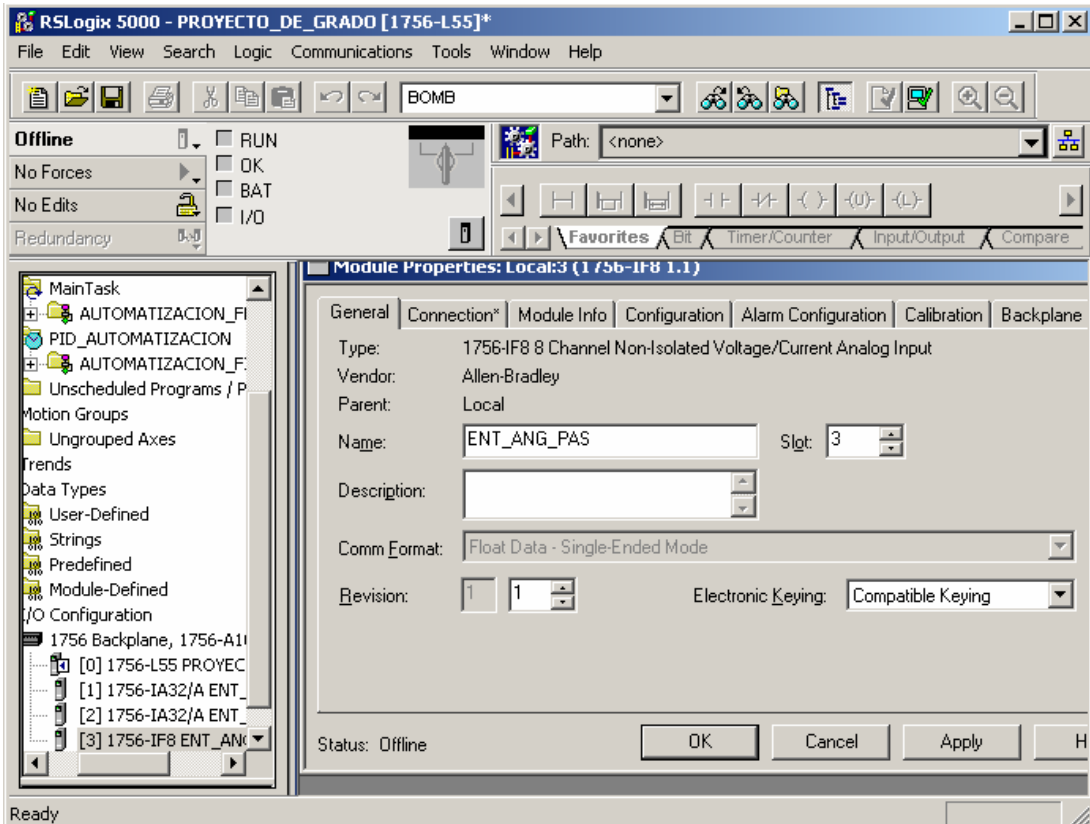


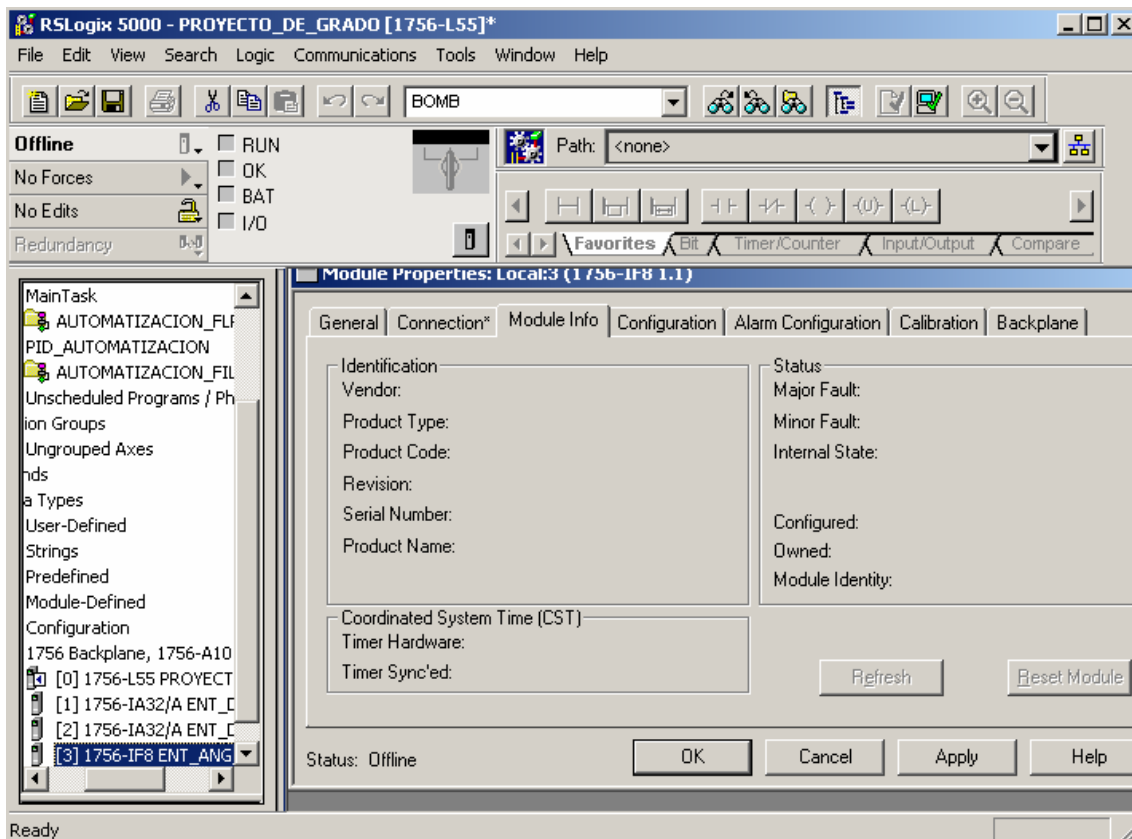
Las demás opciones de configuración del nuevo modulo se dejan igual, o sea por defecto.



- **Paso 3.** Después de configurar los datos del nuevo modulo, se configuran las propiedades.

Las propiedades General, Connection y Module Info no se modifican, se dejan por defecto.





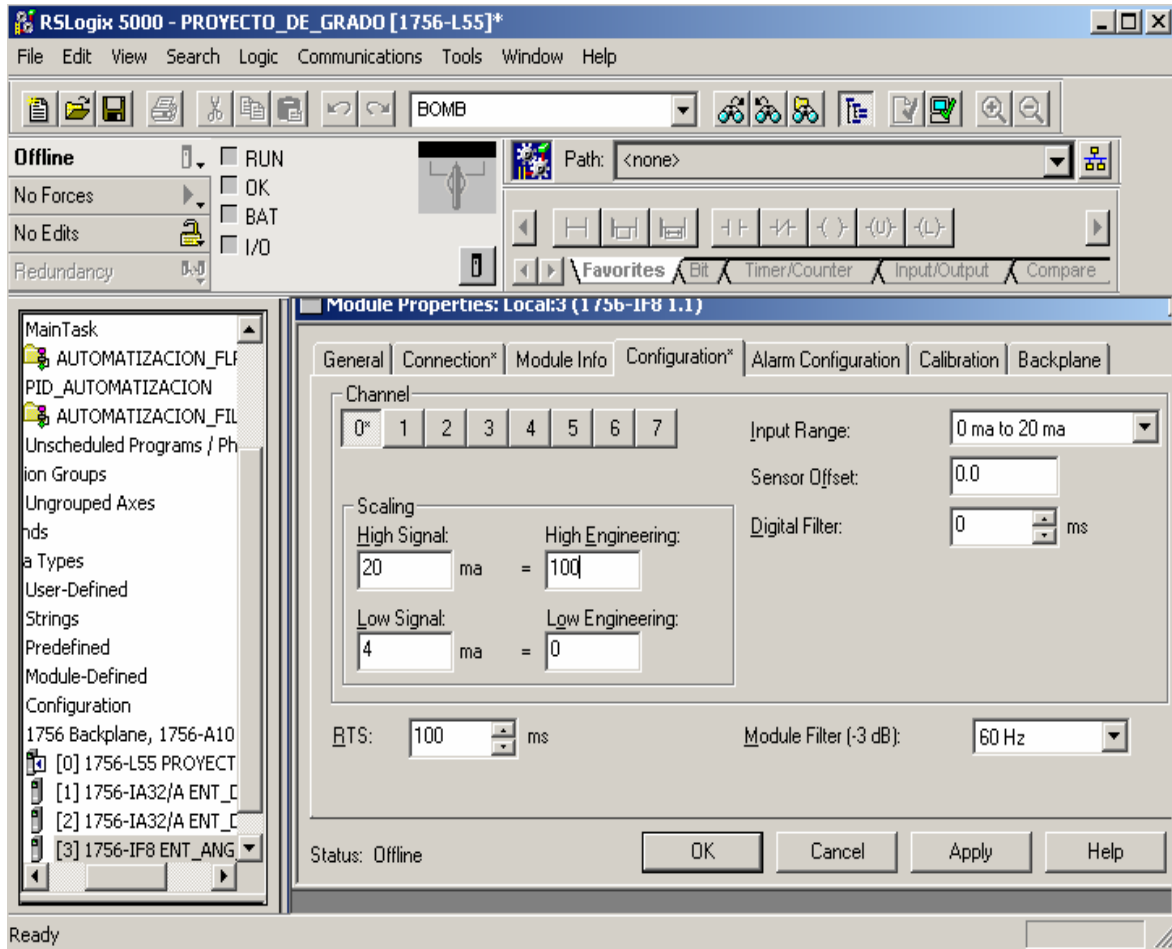
- **Paso 4.** En la opción Configuration de las propiedades se escalizan las diferentes variable que se desean censar.

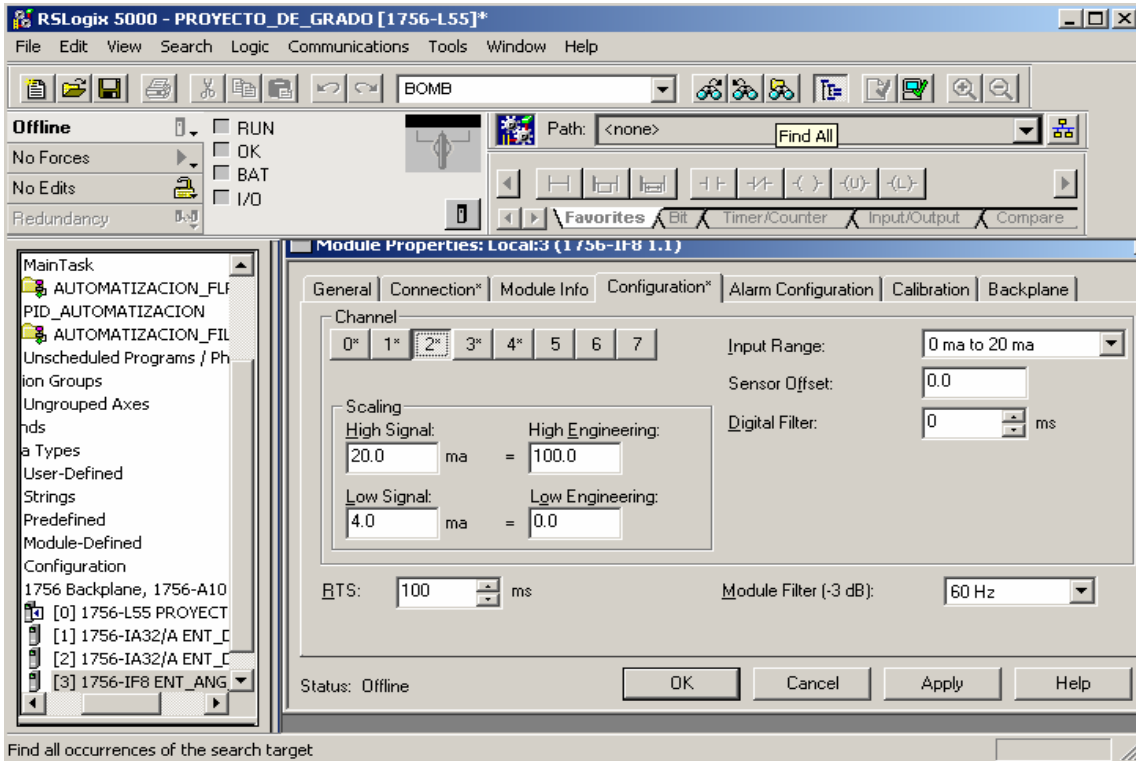
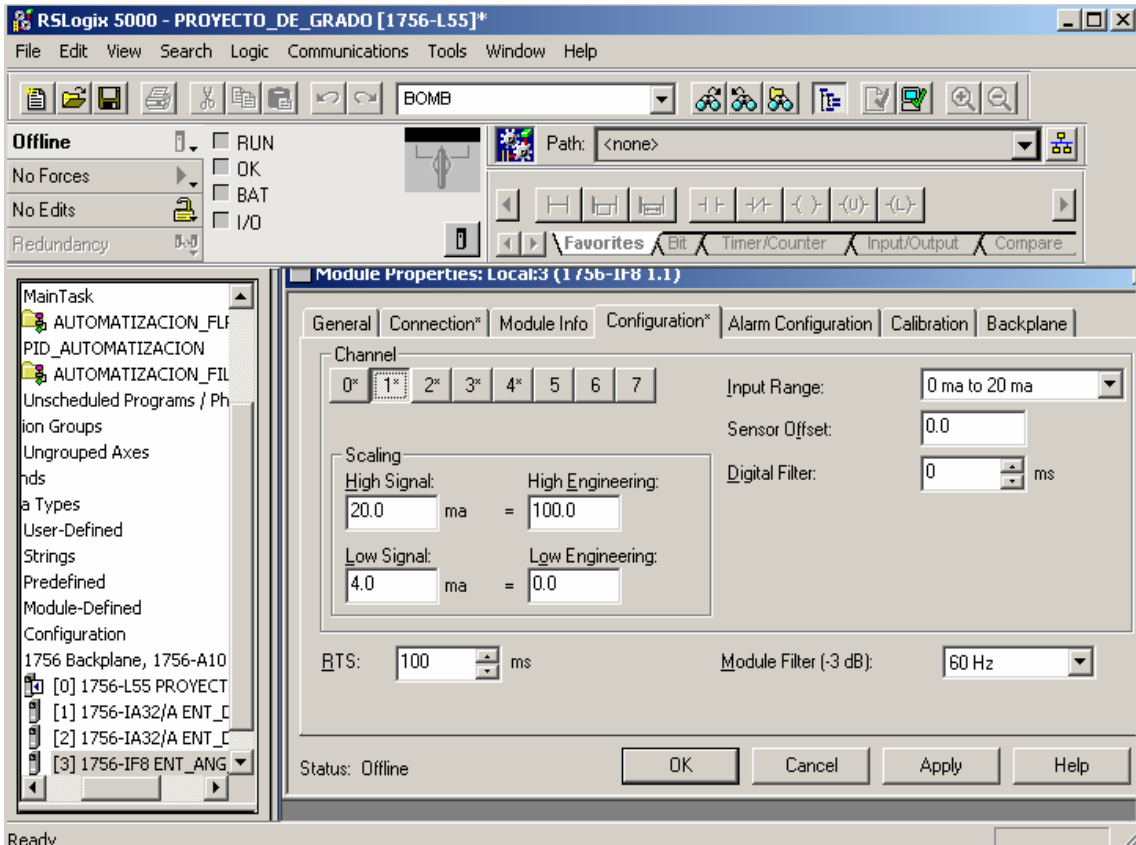
En la automatización de los filtros de lecho profundo se utilizan tres variables: presión, flujo y nivel.

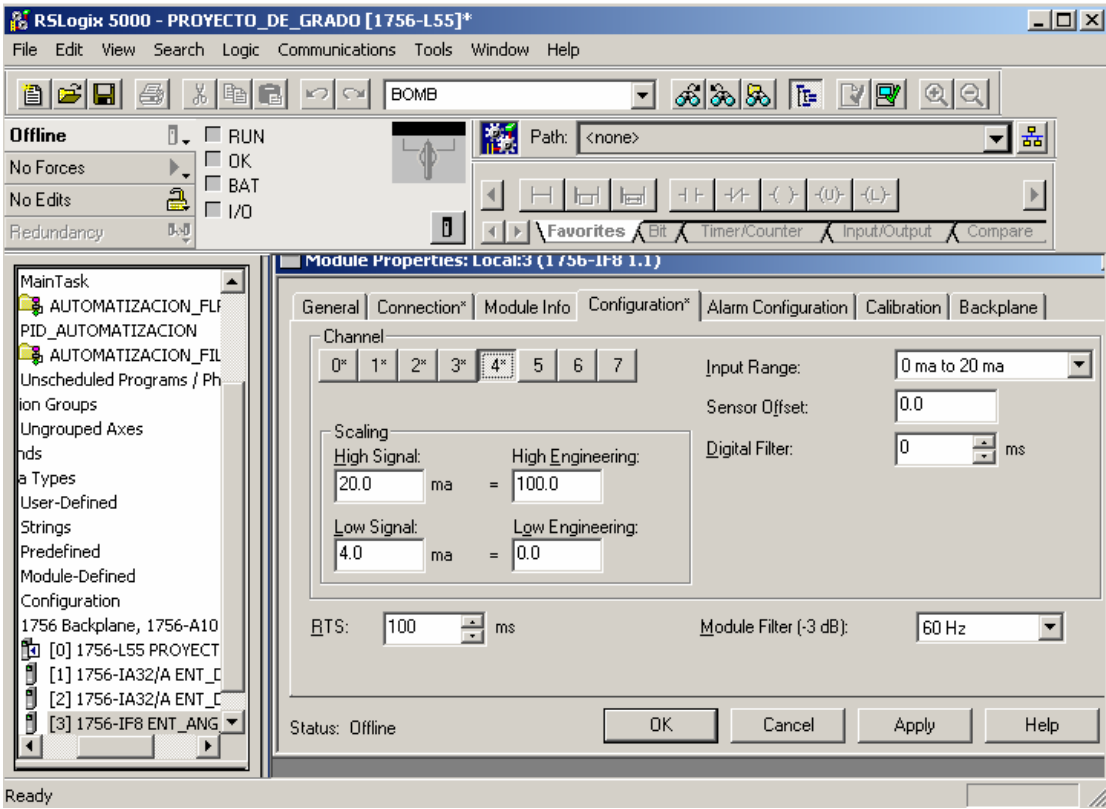
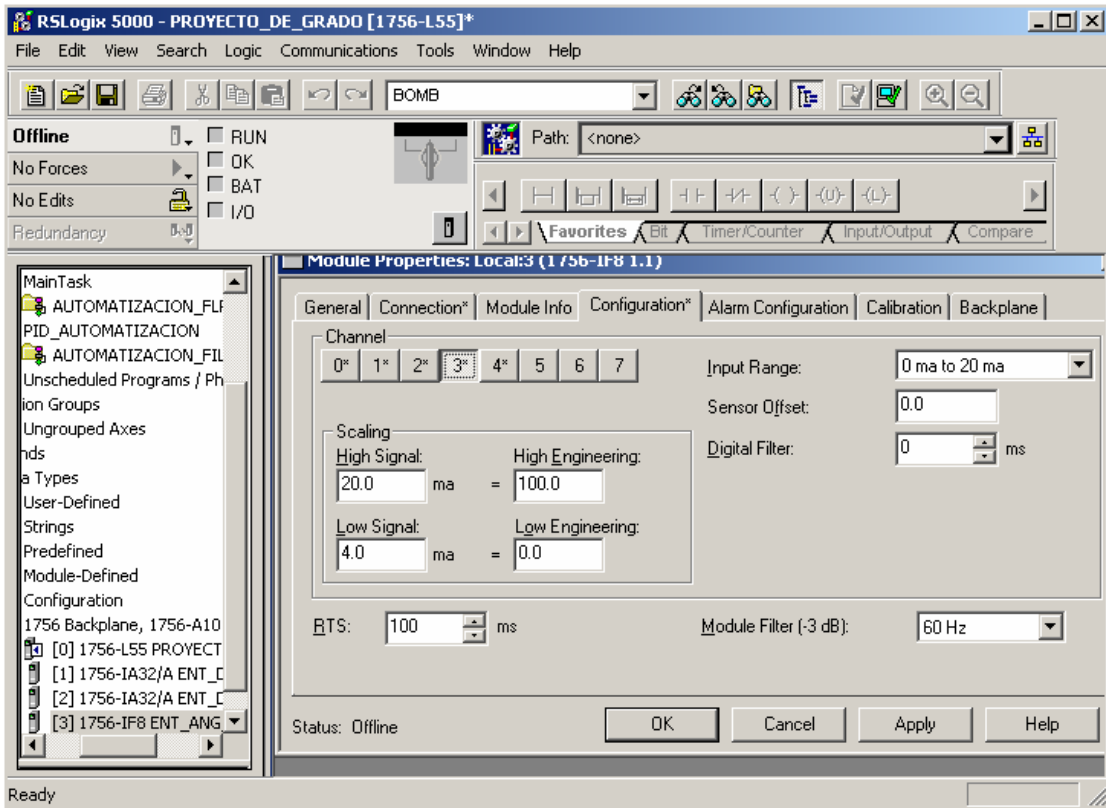
Por lo tanto se pueden escalizar de la misma manera 0 a 100 y de 4 a 20 mA, en el rango de 0 mA a 20 mA.

Esta configuración será la misma para los cinco transmisores pasivos, se utilizaran los canales del cero al cuatro y se le asignaran los mismos valores.

Las demás opciones se dejan por defecto.







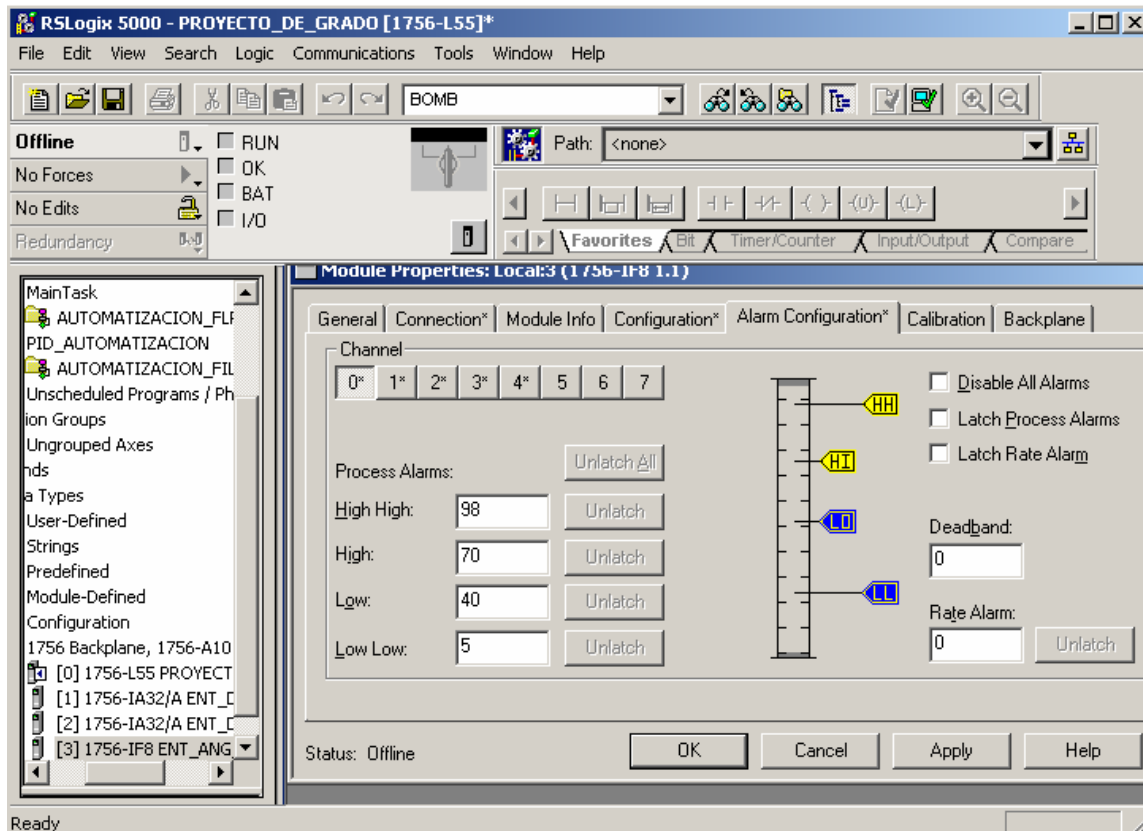
- **Paso 5.** La opción Alarm Configuration se utiliza para aplicaciones un poco mas avanzadas, sin embargo a modo de prueba se hizo una pequeña aplicación que mas adelante se muestra en una rutina del programa. En la ventana que se muestra a continuación se observa la configuración que se debe hacer para utilizar las alarmas del modulo. Esta configuración es a modo de ejemplo, pues en el proyecto no se utilizo. Se colocan cuatro valores que corresponden a los diferentes niveles del tanque. Ejemplo:

Low Low: significa nivel bajo-bajo y corresponde al 5 %

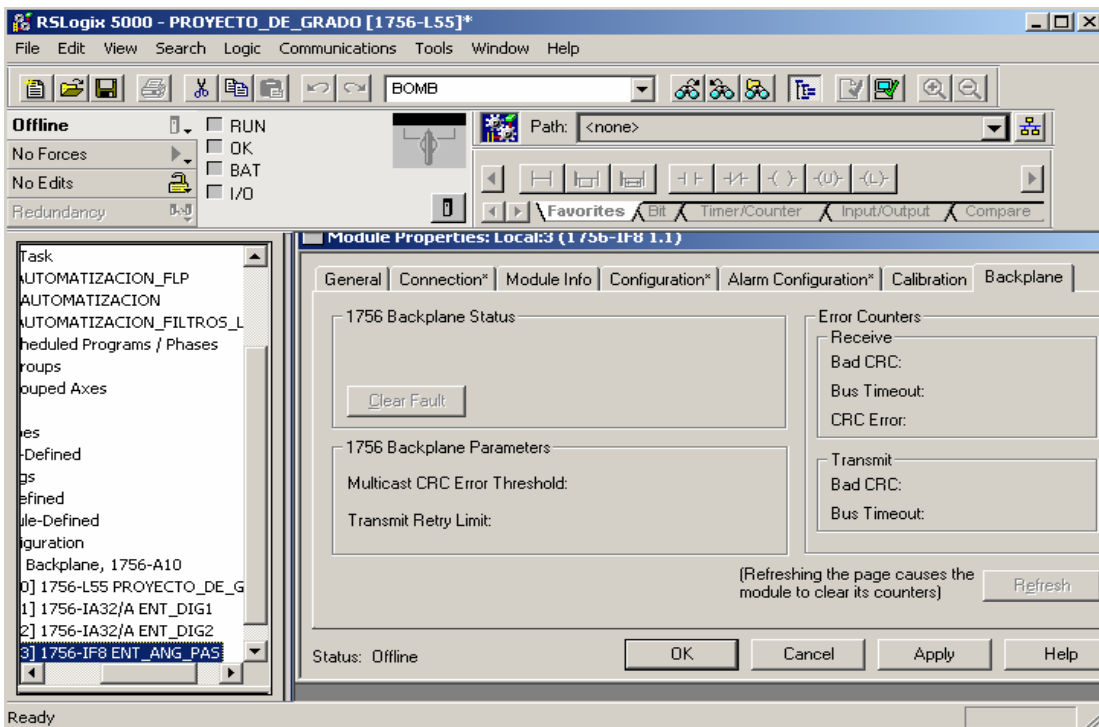
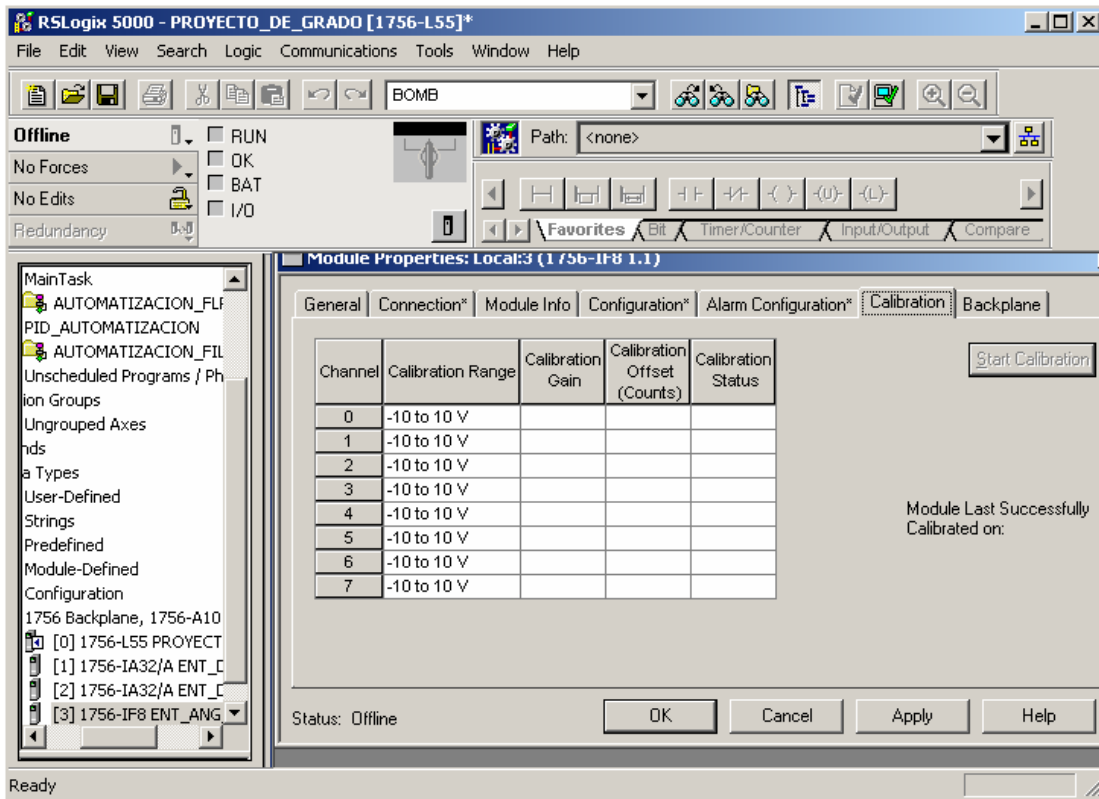
Low: significa nivel bajo y corresponde al 40 %

High: significa nivel alto y corresponde al 70 %

Higt Higt: significa nivel alto-alto y corresponde al 90 %



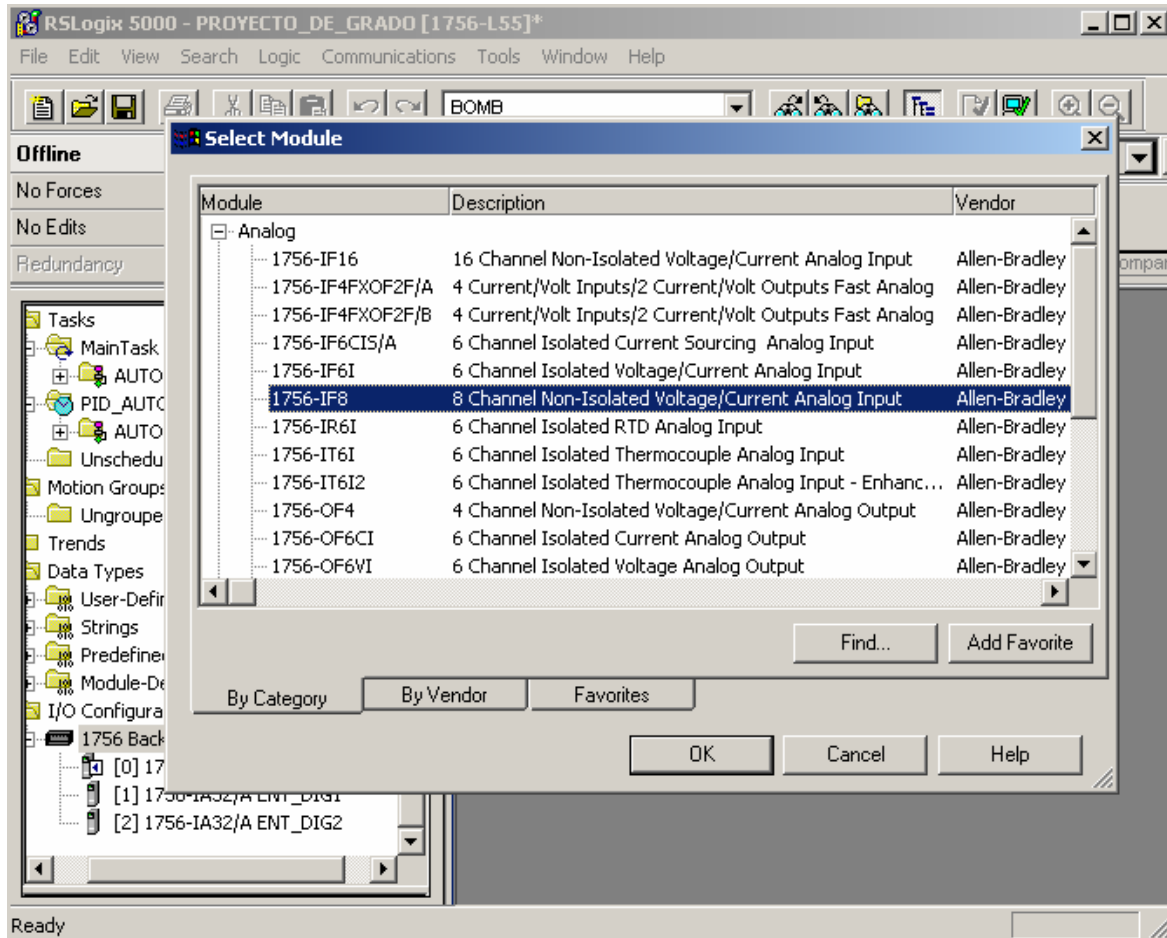
- **Paso 6.** Las opciones de Calibration y Backplane se dejan por defecto.



1.1.4 Configuración del módulo para los transmisores activos. Se realizan los mismo pasos del módulo anterior.

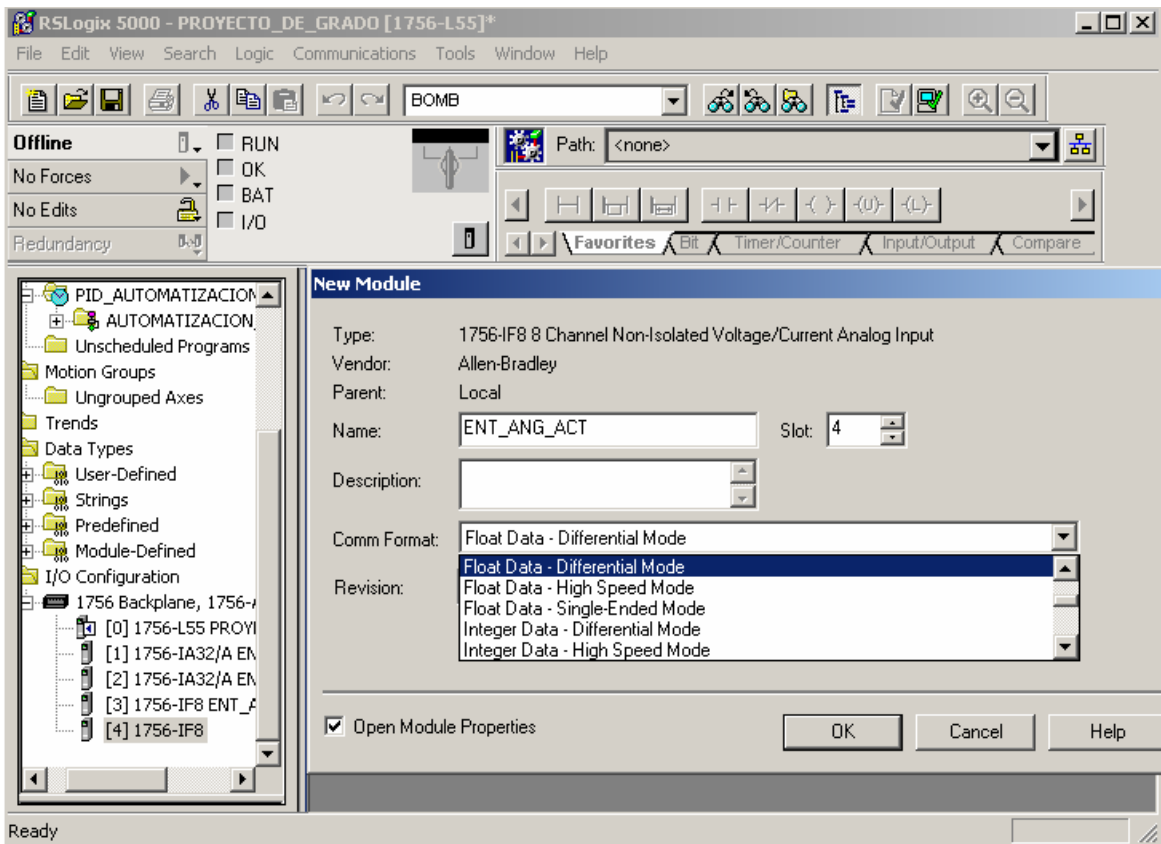
Se escoge el tipo de modulo análogo.

Se escoge la misma referencia 1756-IF8.

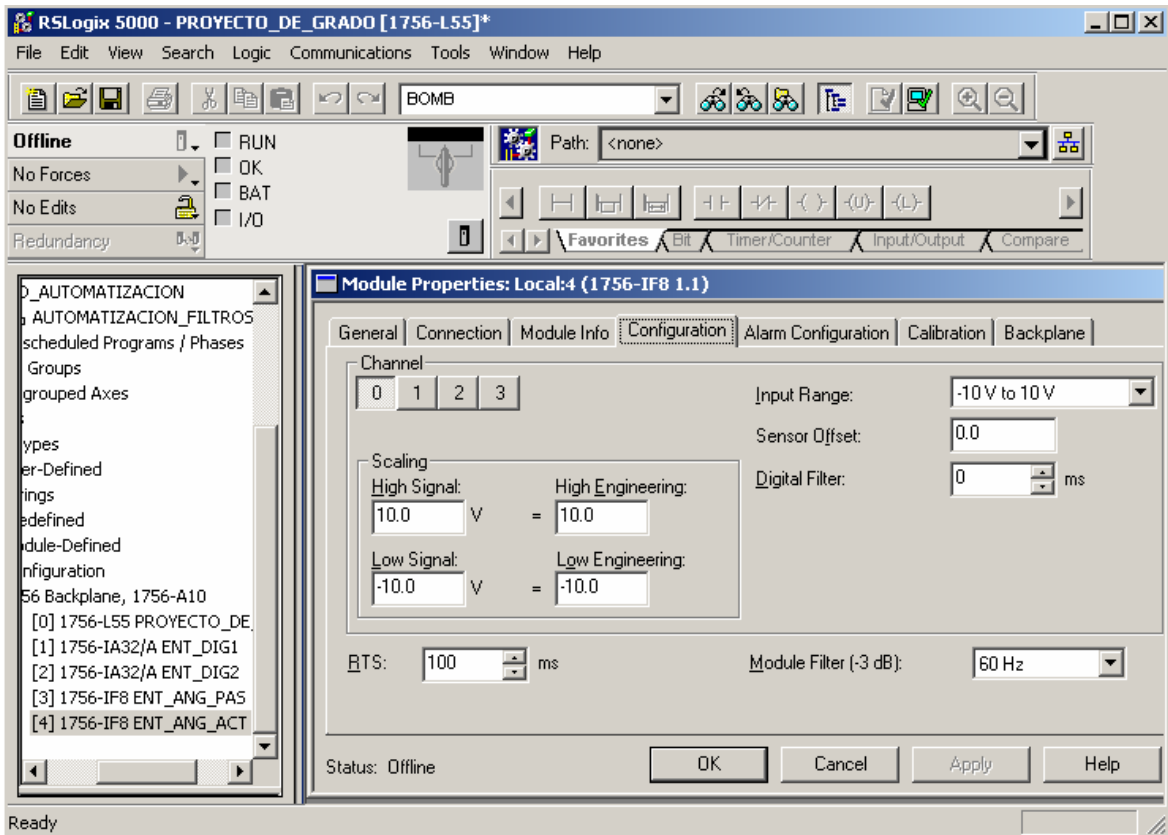


Se le da un nombre al modulo, y se escoge la opción que corresponde al tipo de señal que se desea controlar.

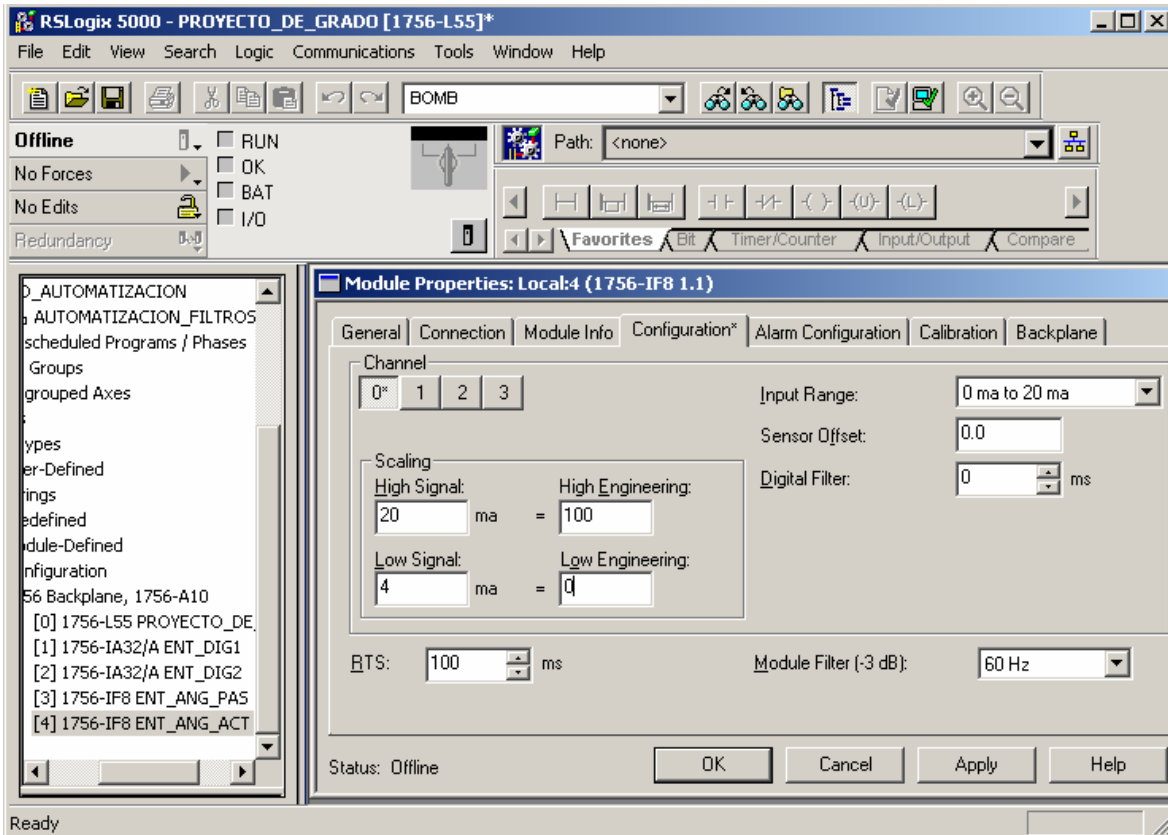
Para los transmisores activos se utiliza la opción diferencial.

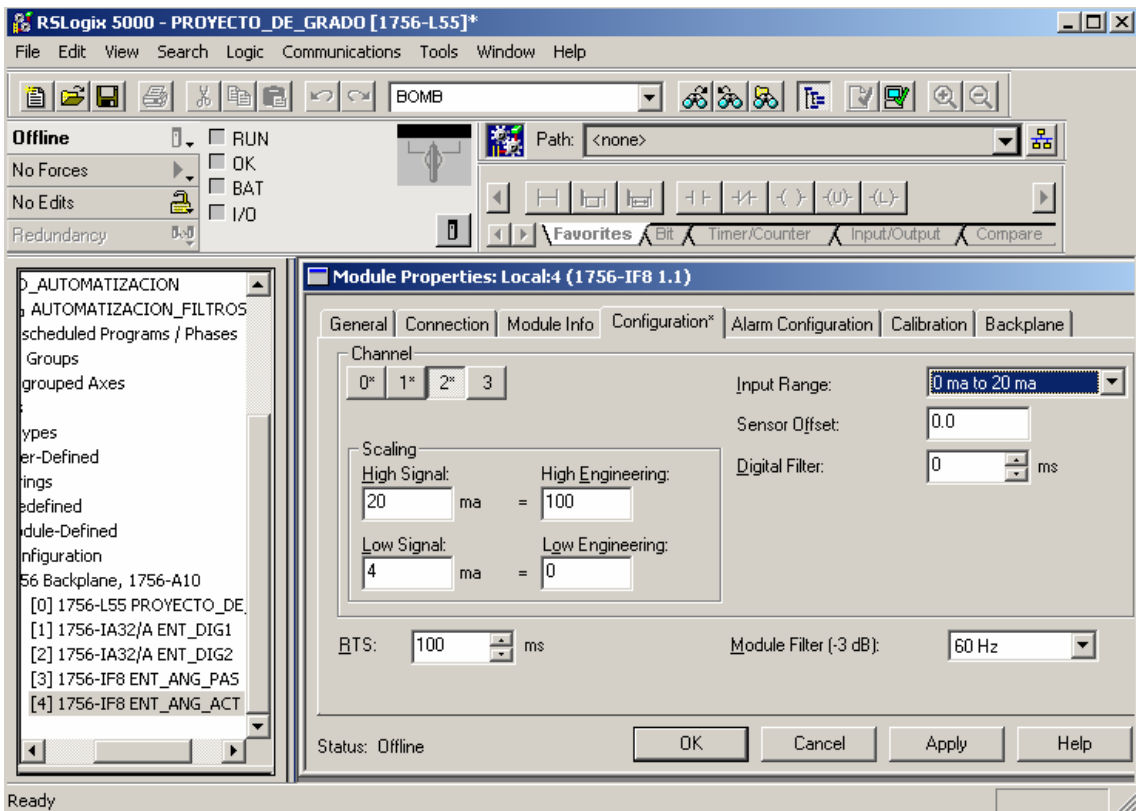
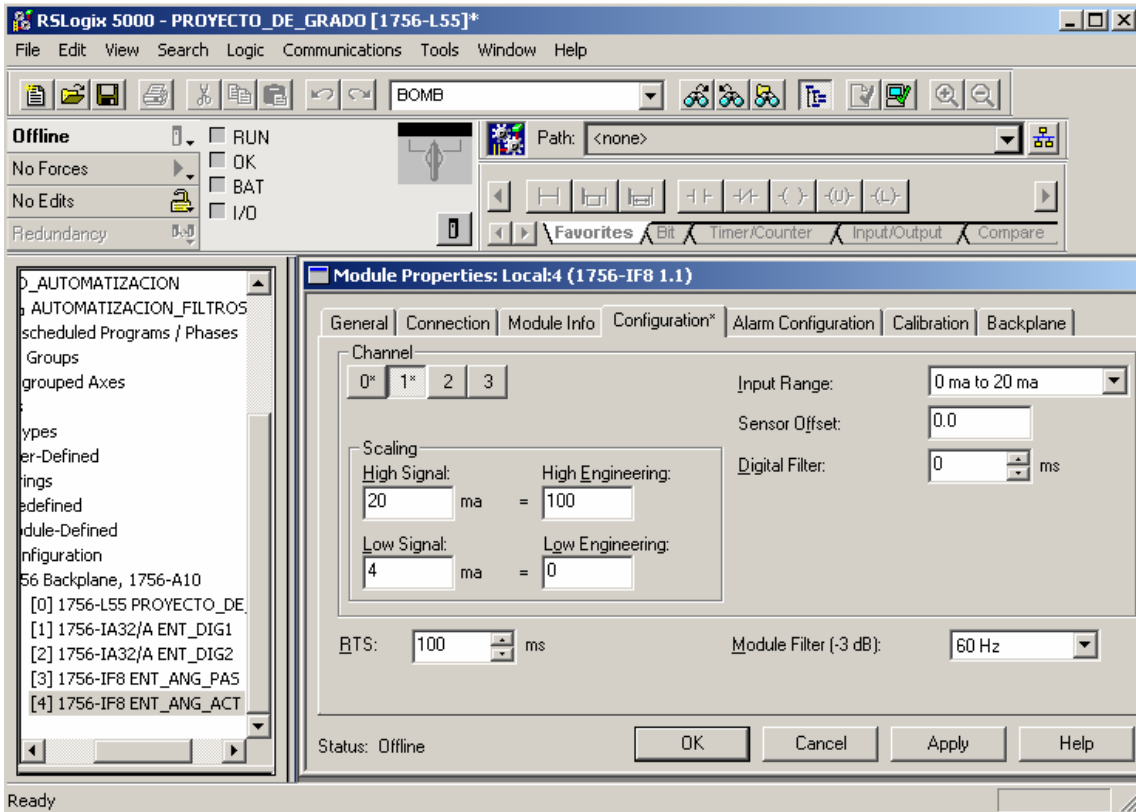


Se realiza el mismo procedimiento del modulo anterior, solo cambia la opción de Configuration, en ves de aparecer 8 canales solo aparecen cuatro, esta es la desventaja de utilizar el modo diferencial.



La escalizacion de los tres canales se hace de la misma forma que se realizo en el modulo anterior.

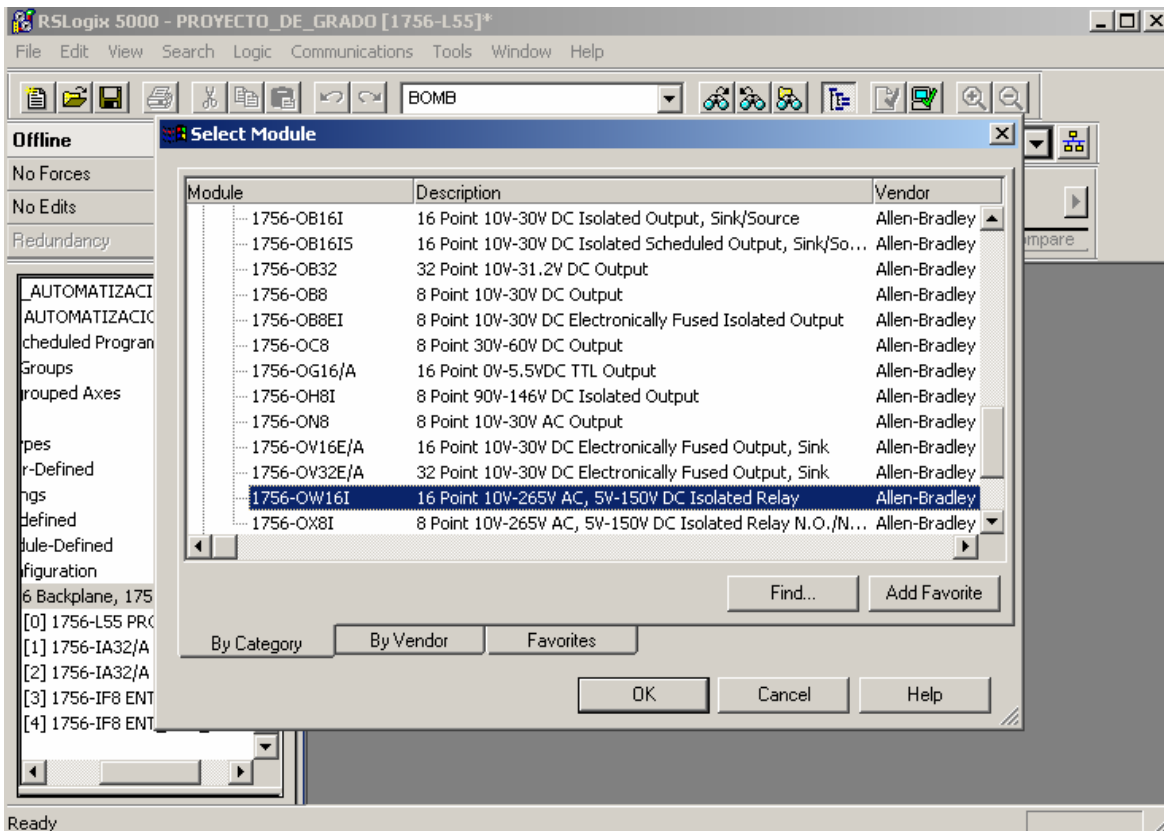




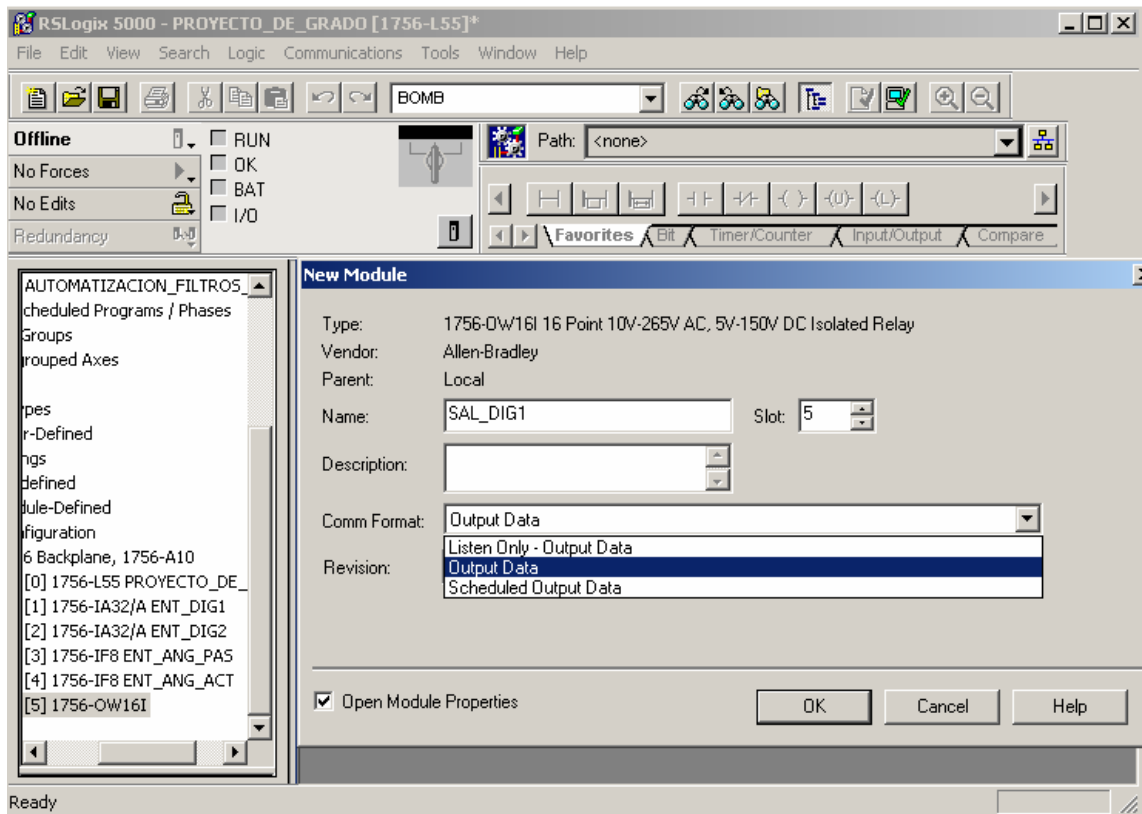
Las opciones Alarm Configuration, Calibration y Backplane son iguales a las del modulo anterior y de igual manera no se le realizan cambios.

1.1.5 Salidas digitales. Se tienen 26 salidas digitales, por lo tanto se necesitan de dos módulos de 16 salidas. Para crear los módulos se realiza lo mismo pasos que en los módulos anteriores.

- **Paso 1.** Se crea un nuevo modulo, se escoge el tipo de modulo, y se selecciona la referencia. La referencia del modulo que se utilizara es la siguiente 1756-OW16I que corresponde a un modulo de 16 salidas digitales con rele.

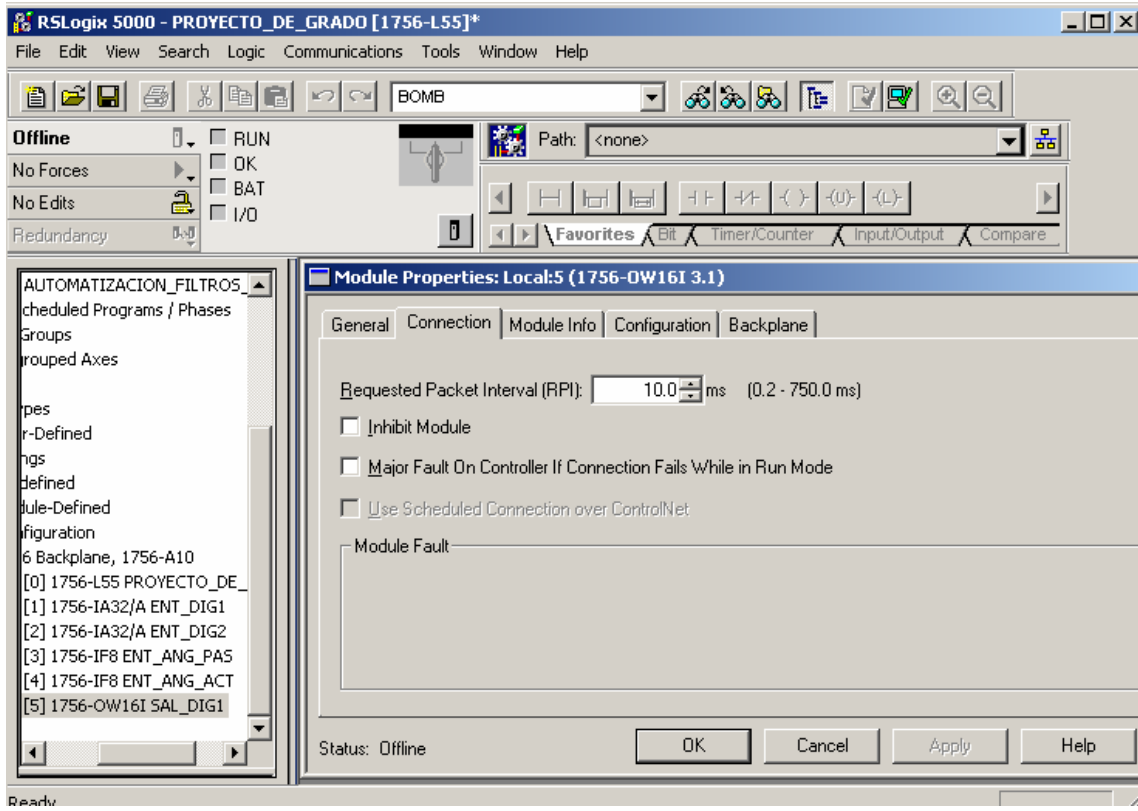
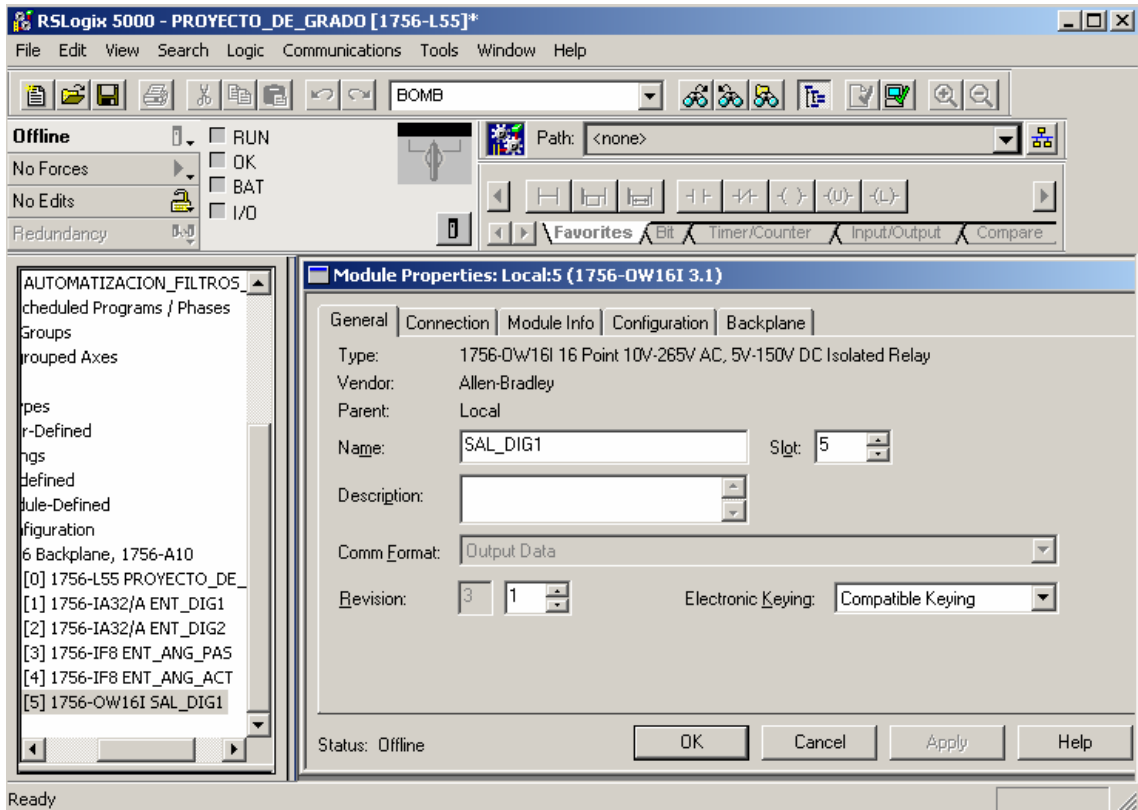


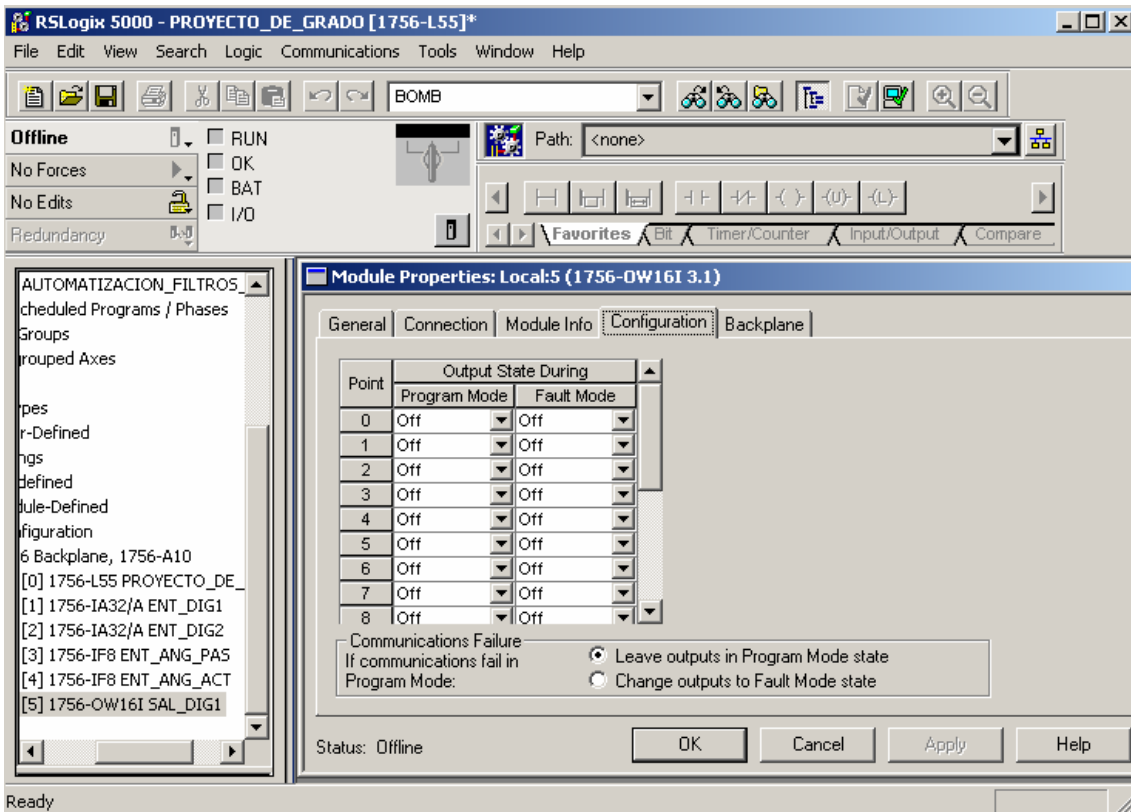
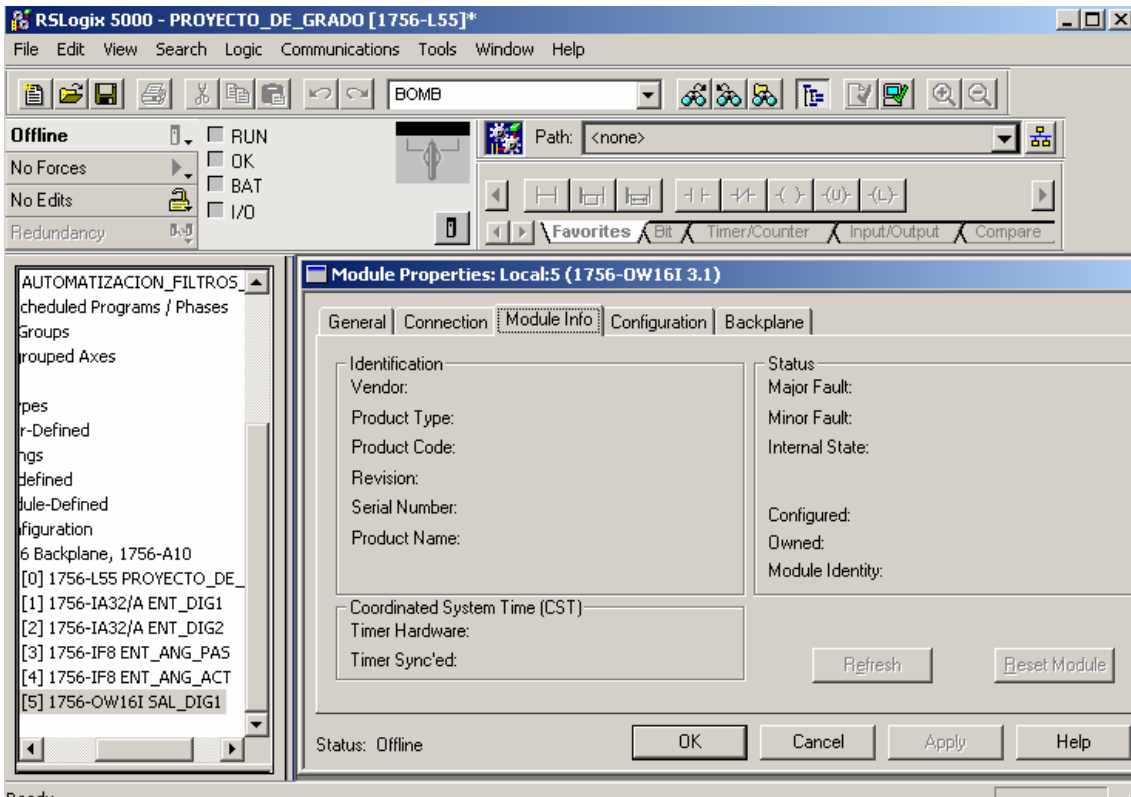
- **Paso 2.** Se le asigna un nombre y en el comm format se escoge output data, que significa que se utilizara como dato de salida, el resto de opciones se dejan por defecto.

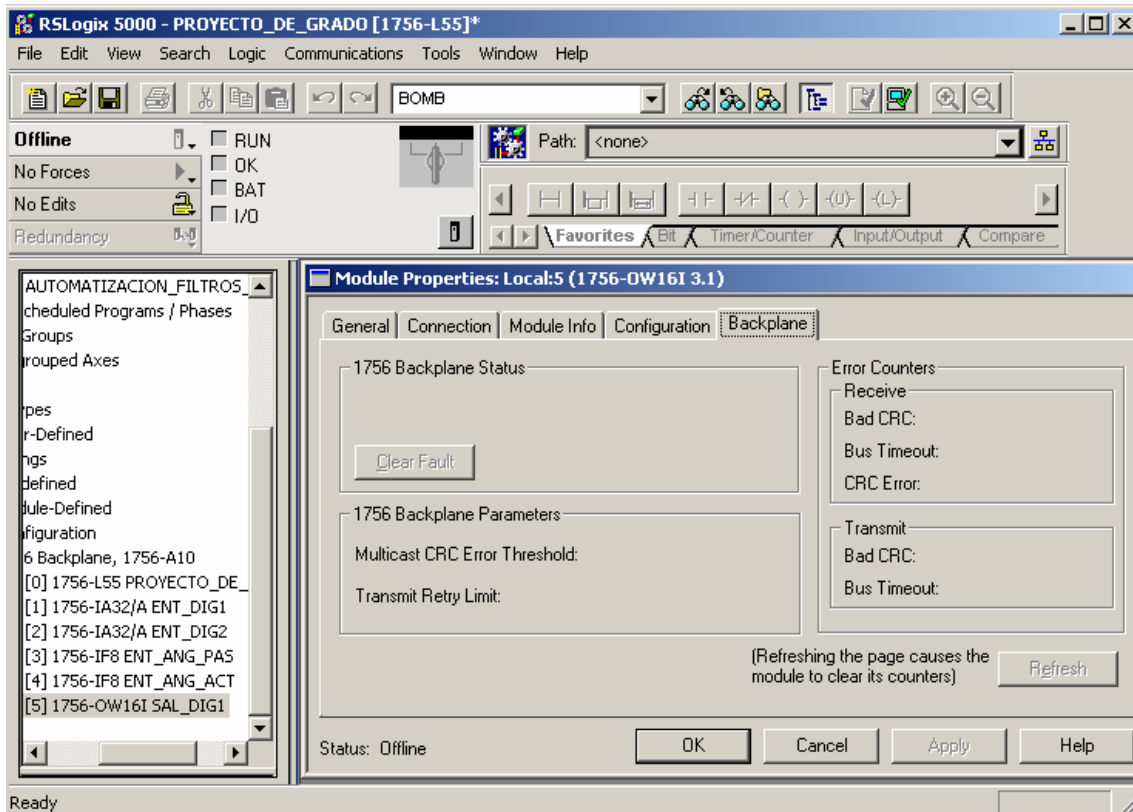


Después de configurar estas opciones se ingresa a las propiedades del modulo y se configuran como en los módulos anteriores.

Todas las opciones de las propiedades del modulo se dejan por defecto con la configuración que aparecen.

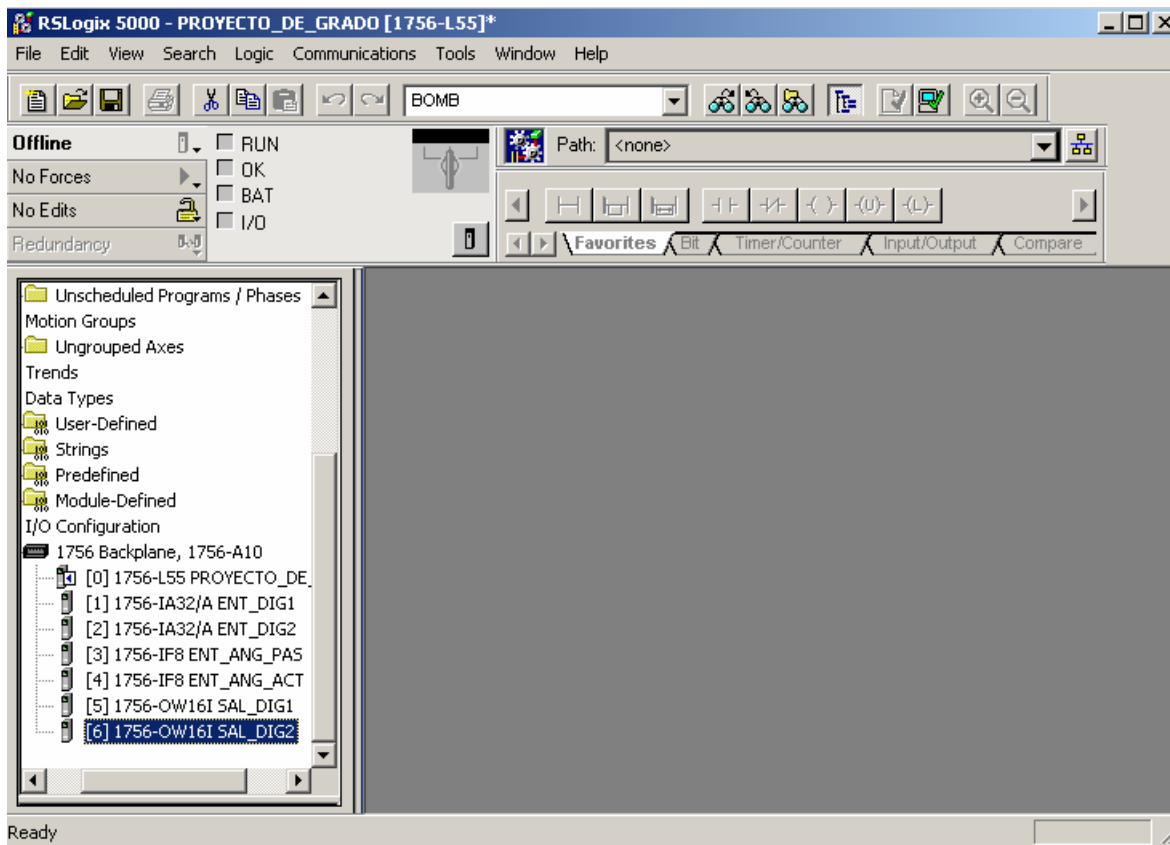






Se realiza exactamente lo mismo para el otro módulo de salidas digitales, solo se le cambia el nombre.

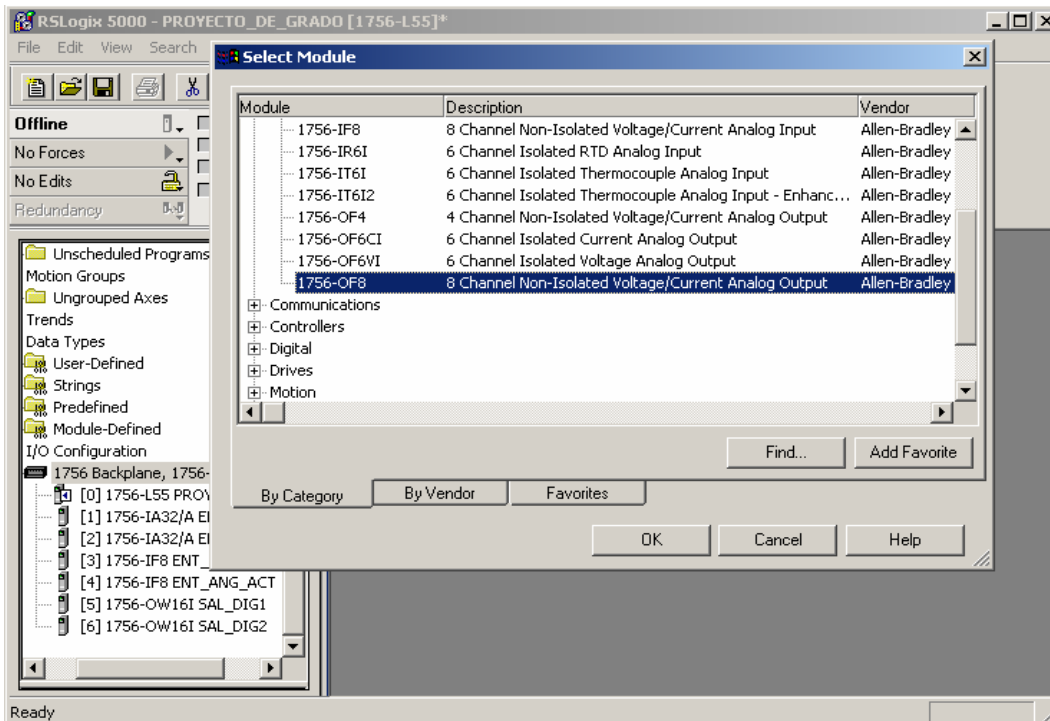
La siguiente ventana muestra los dos módulos de salidas digitales ya configurados y dentro del backplane.



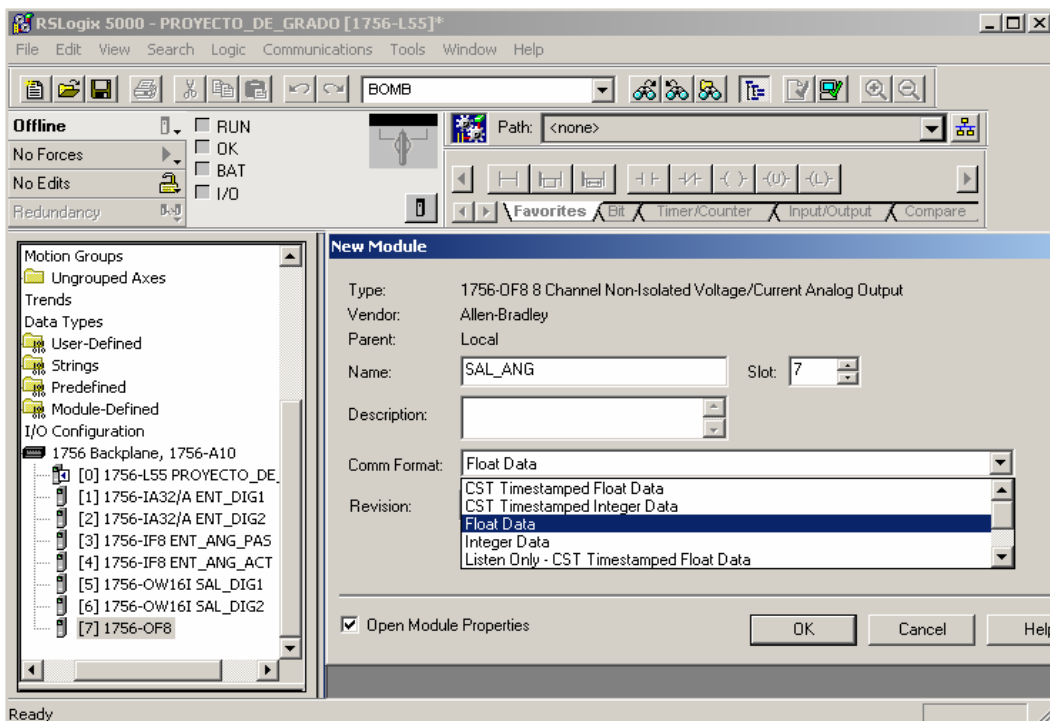
1.1.6 Modulo de salidas análogas. La configuración es exactamente la misma que la de los demás módulos, solo se cambia el nombre. En las propiedades del modulo si es necesario hacerle algunos cambios.

- **Paso 1.** Se crea un nuevo modulo, se escoge el tipo de modulo, y se selecciona la referencia.

La referencia del modulo que se utilizara es la siguiente 1756-OF8 que corresponde a un modulo de 8 salidas análogas.



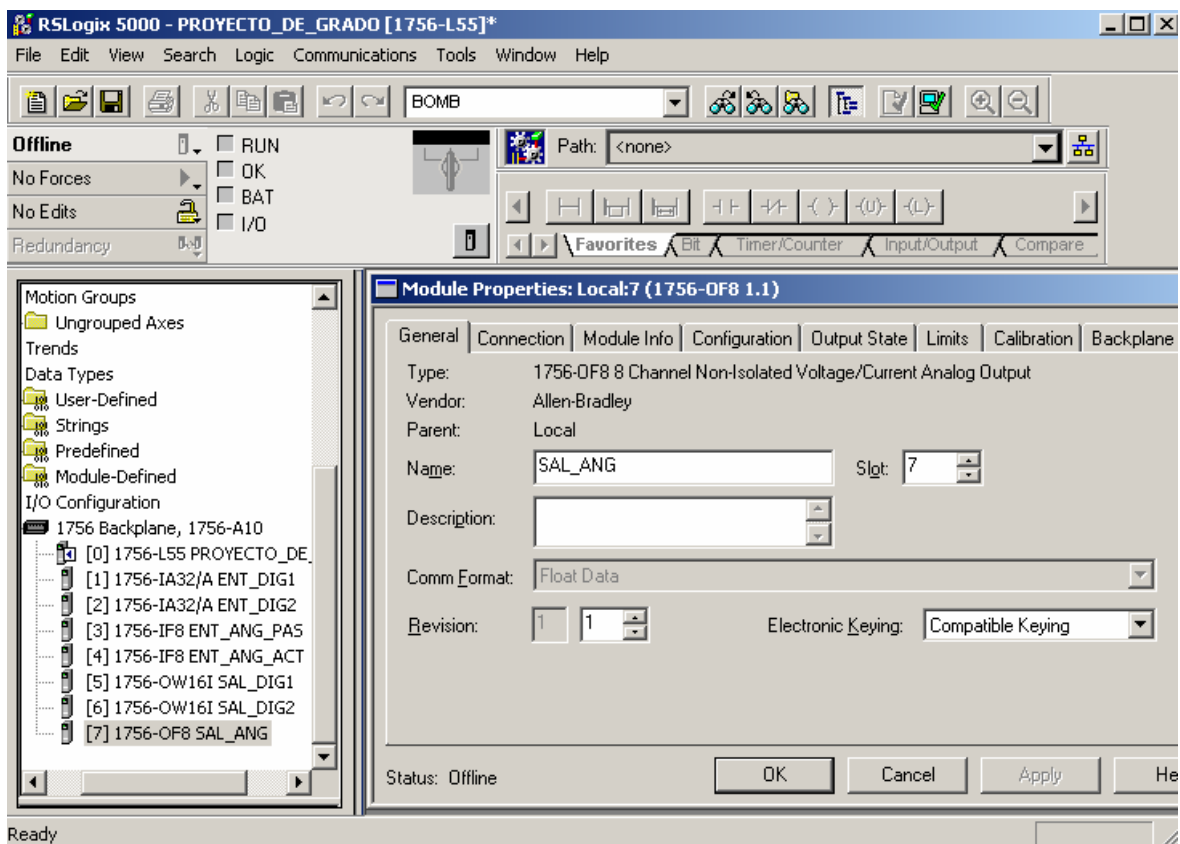
- **Paso 2.** En la configuración del módulo e escoge en Comm Format la opción de dato flotante.

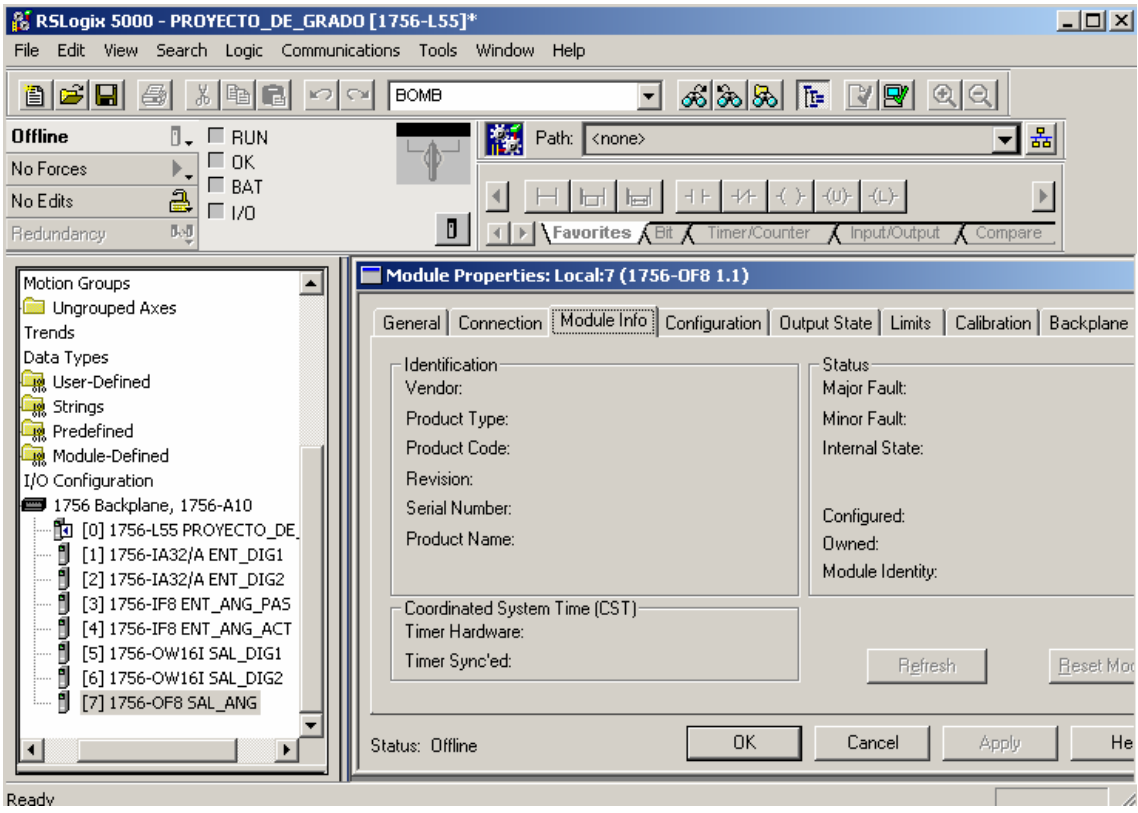
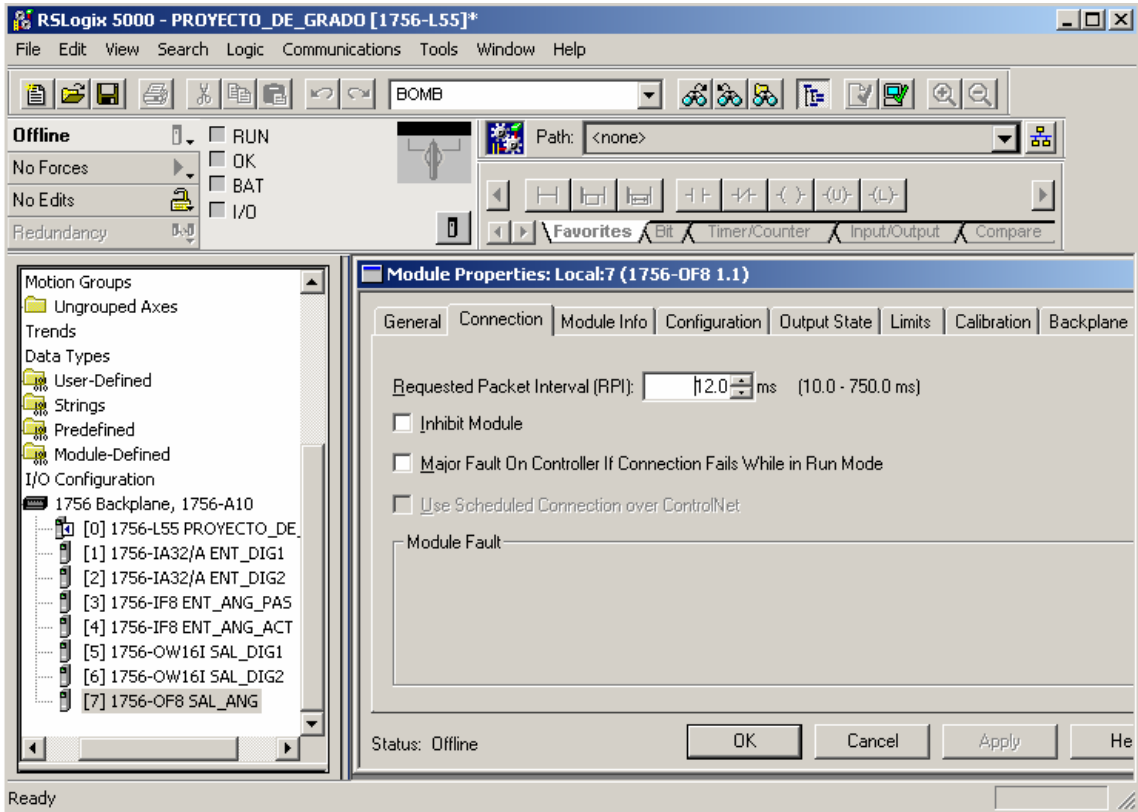


La configuración de las propiedades del modulo vuelven hacer muy semejantes que las de los otros módulos.

- **Paso 3.** Las siguientes opciones de las propiedades del modulo se dejan por defecto con su configuración original.

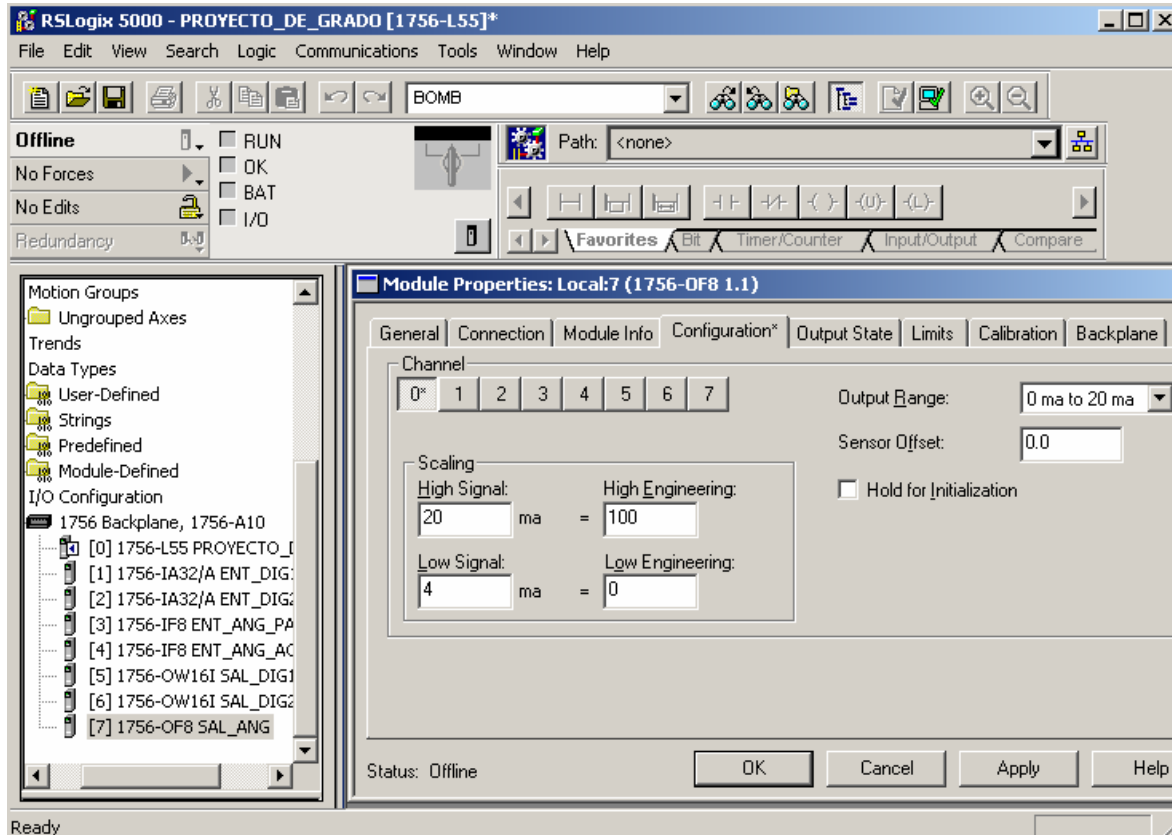
- General
- Connection
- Module Info



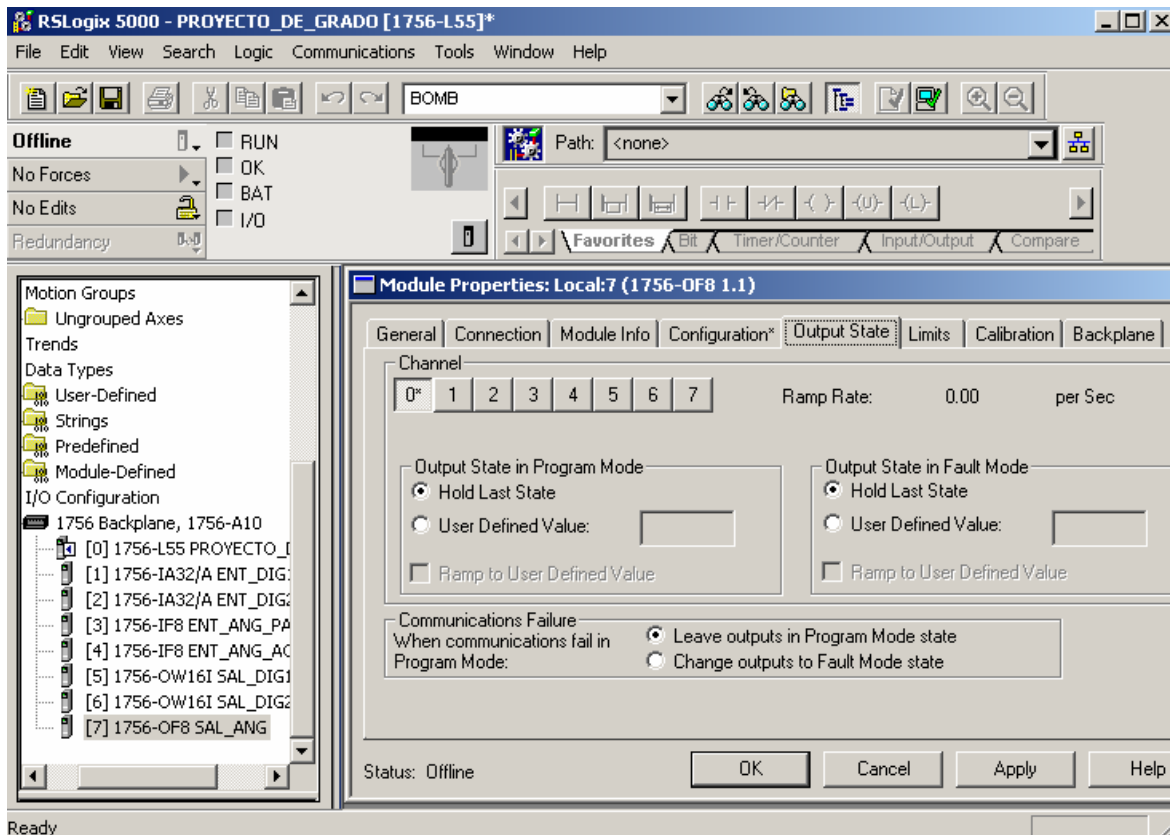


- **Paso 4.** La opción Configuration se escaliza de la misma manera que en los otros módulos.

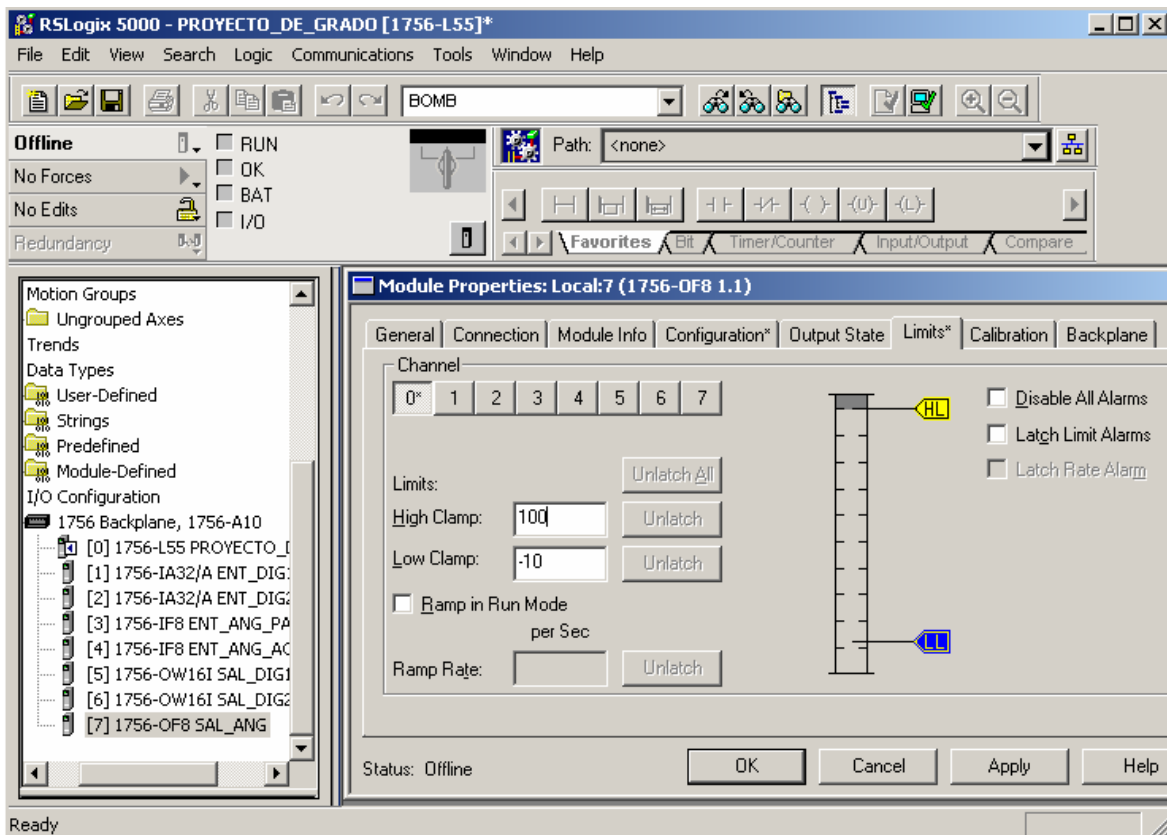
Solo se utilizaran tres canales entonces no hay necesidad de escalizarlos todos.



- **Paso 5.** La opción Output State se deja por defecto con su configuración original.

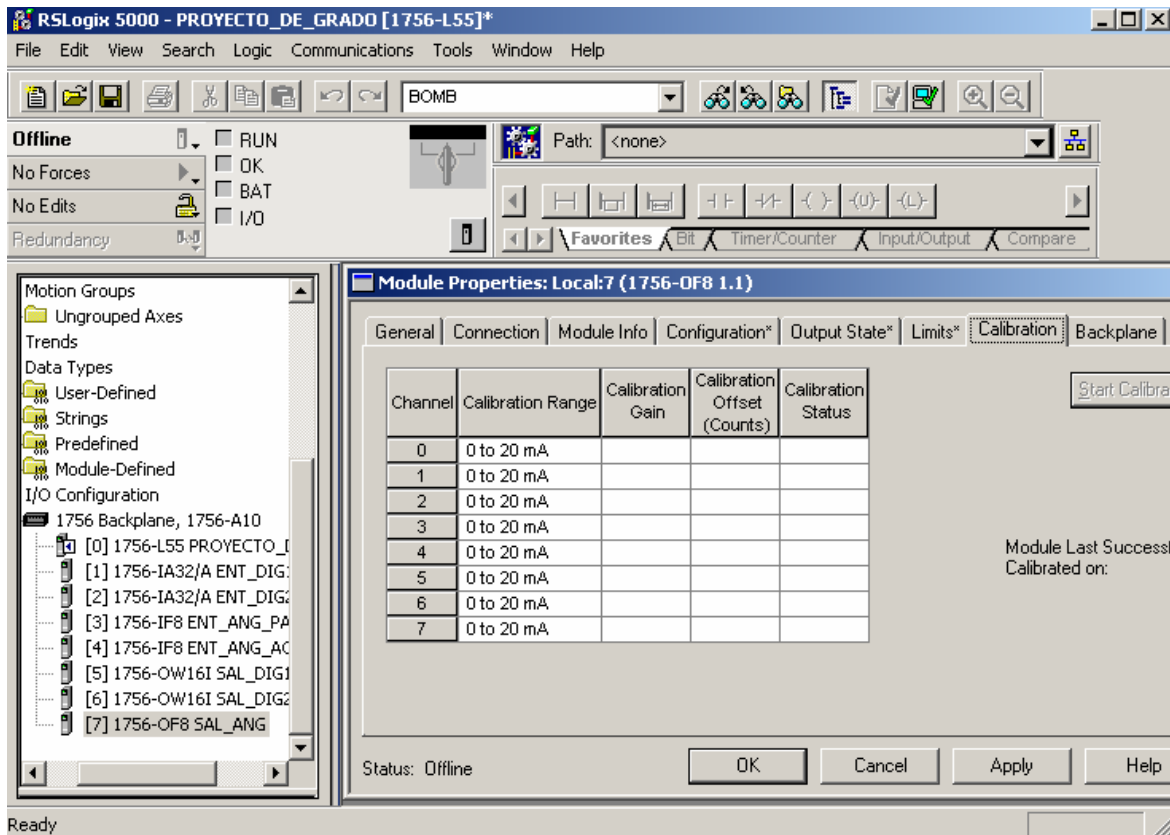


- **Paso 6.** En la opción Limits se cambia los límites para que el rango de calibración sea de 4 mA a 20 mA. Se colocan los límites de -10 a 100.

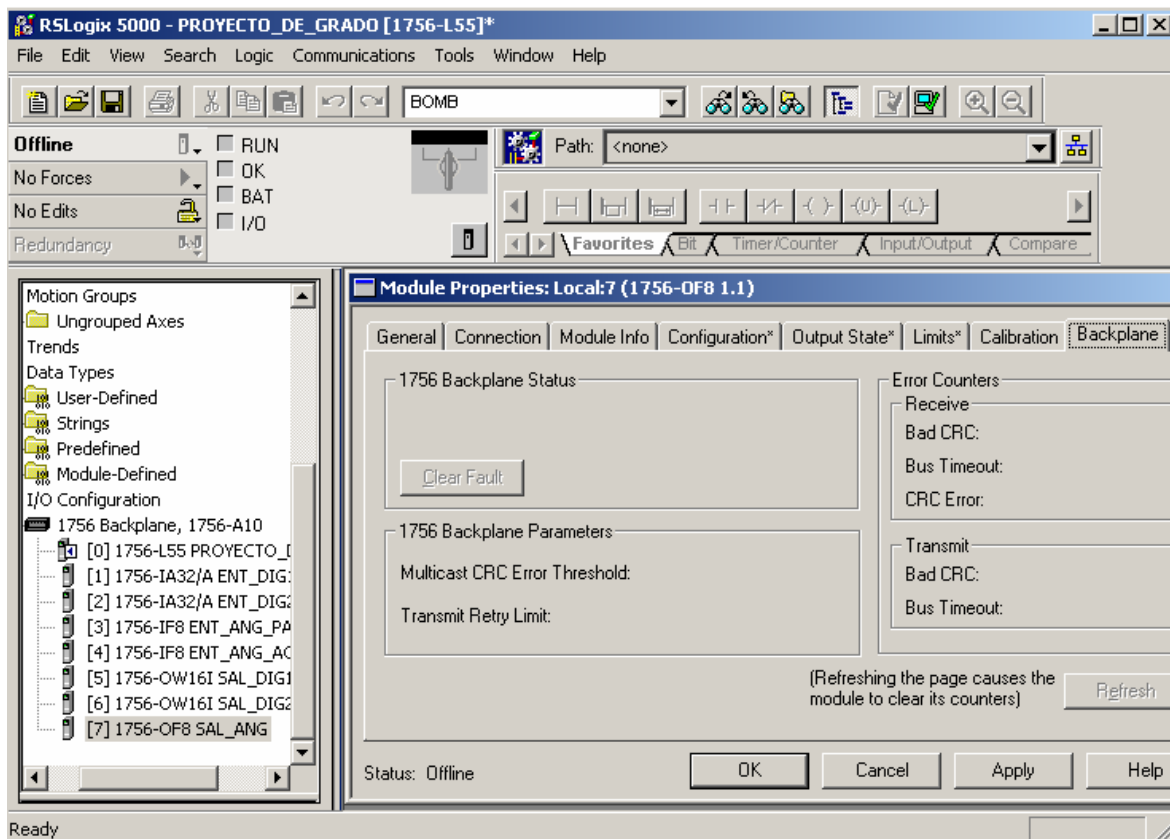


- **Paso 7.** En la opción Calibration se observa el rango de calibración de la corriente.

En esta ventana se muestra el mismo rango de corriente para las ocho salidas, aunque solo se necesitan configurar tres salidas.

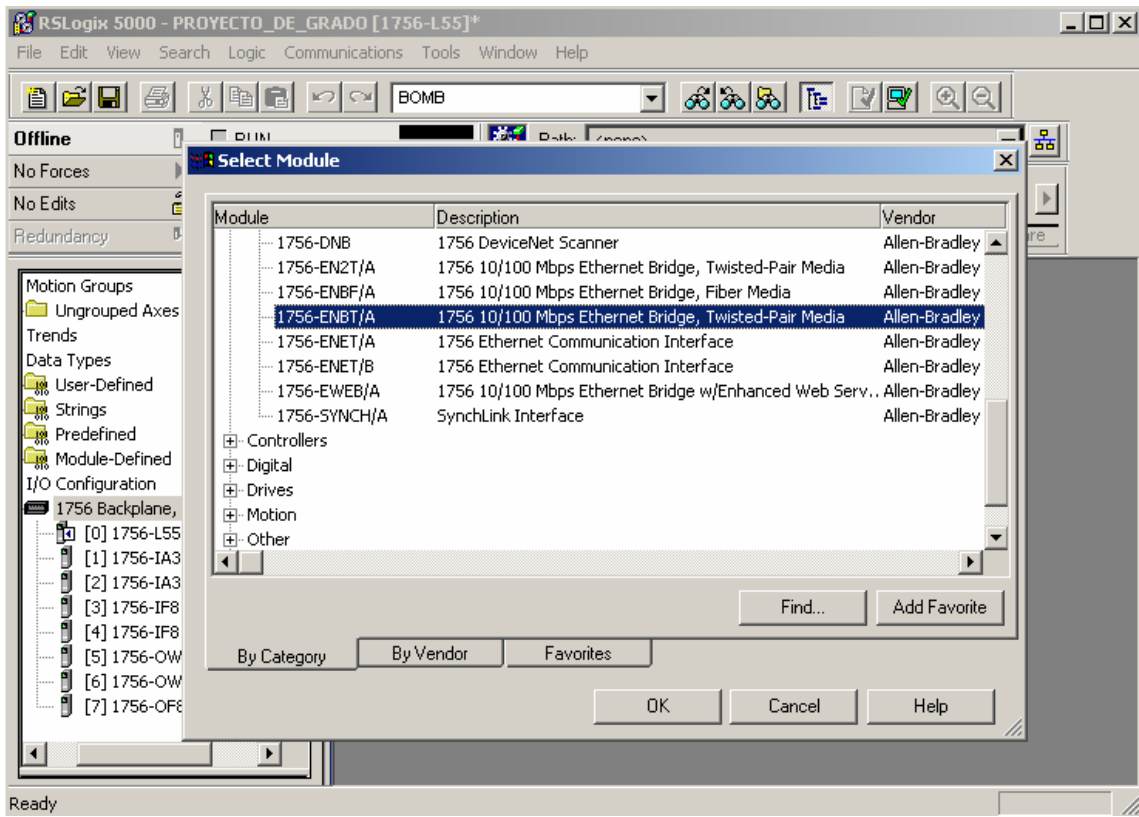
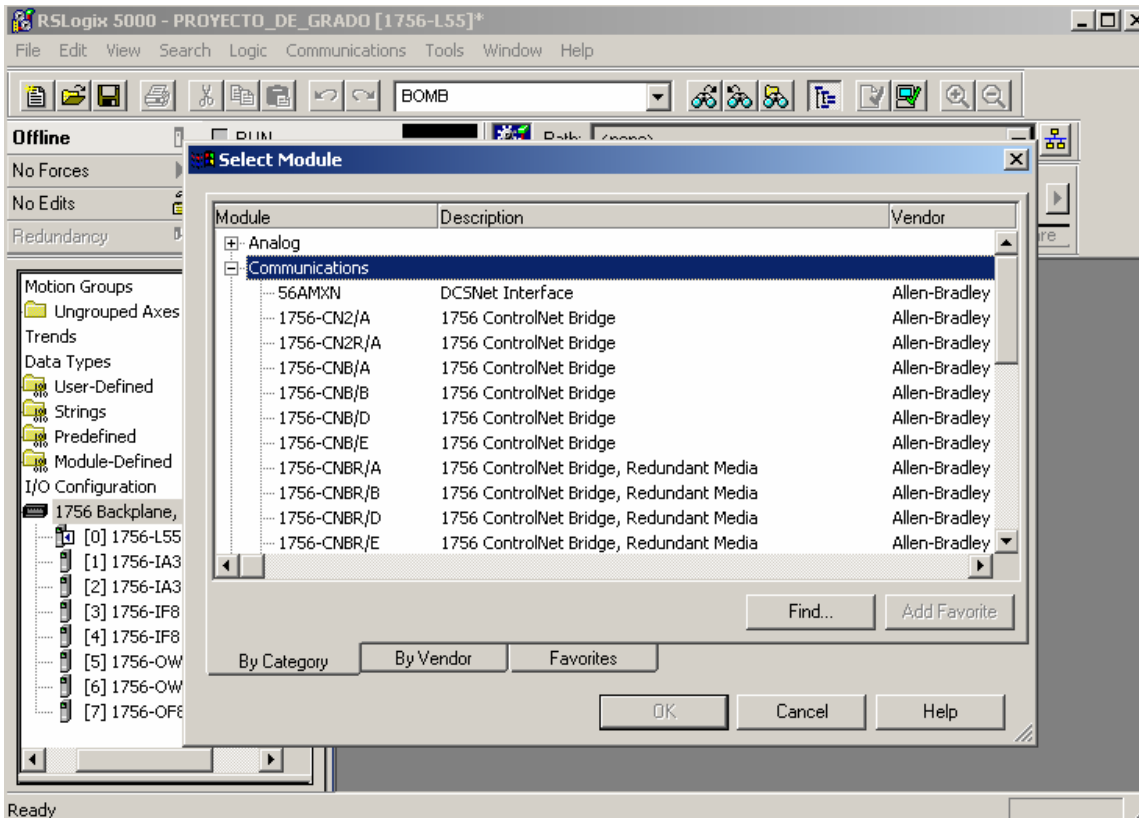


La opción Backplane es la misma que la de los demás módulos

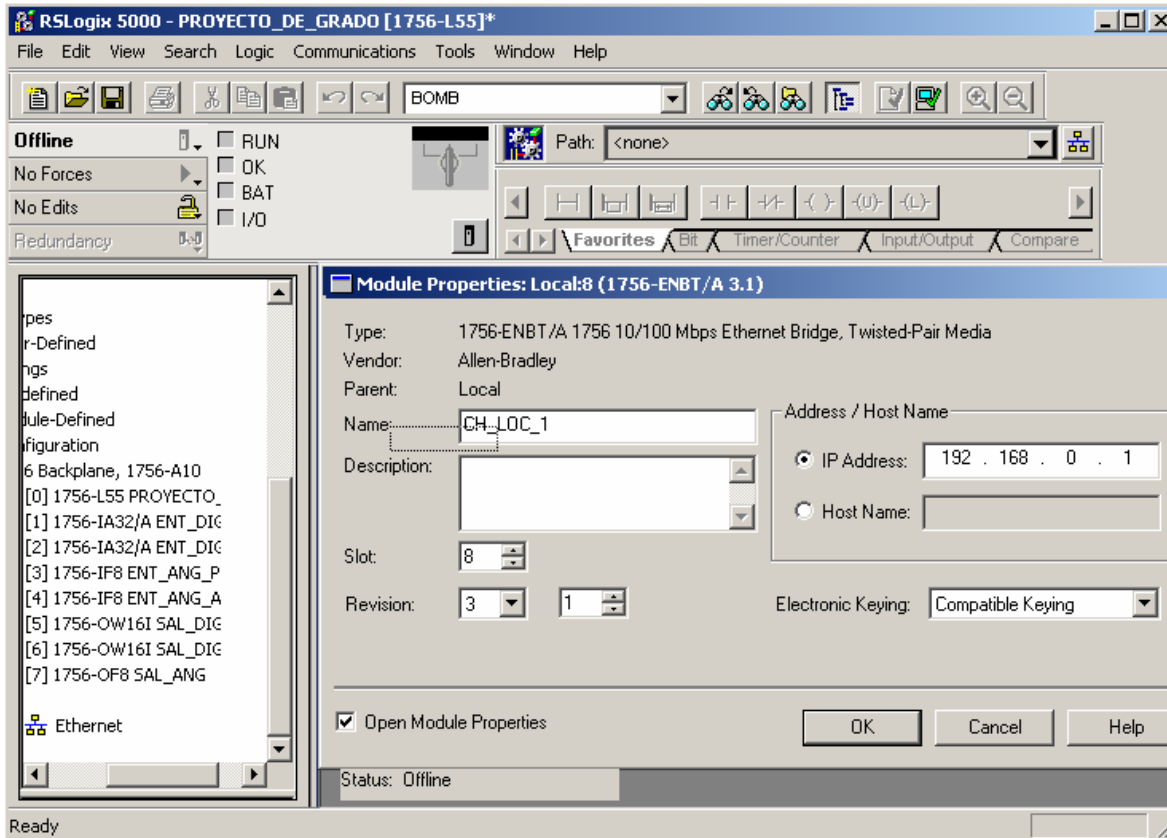


1.1.7 Modulo de comunicación.

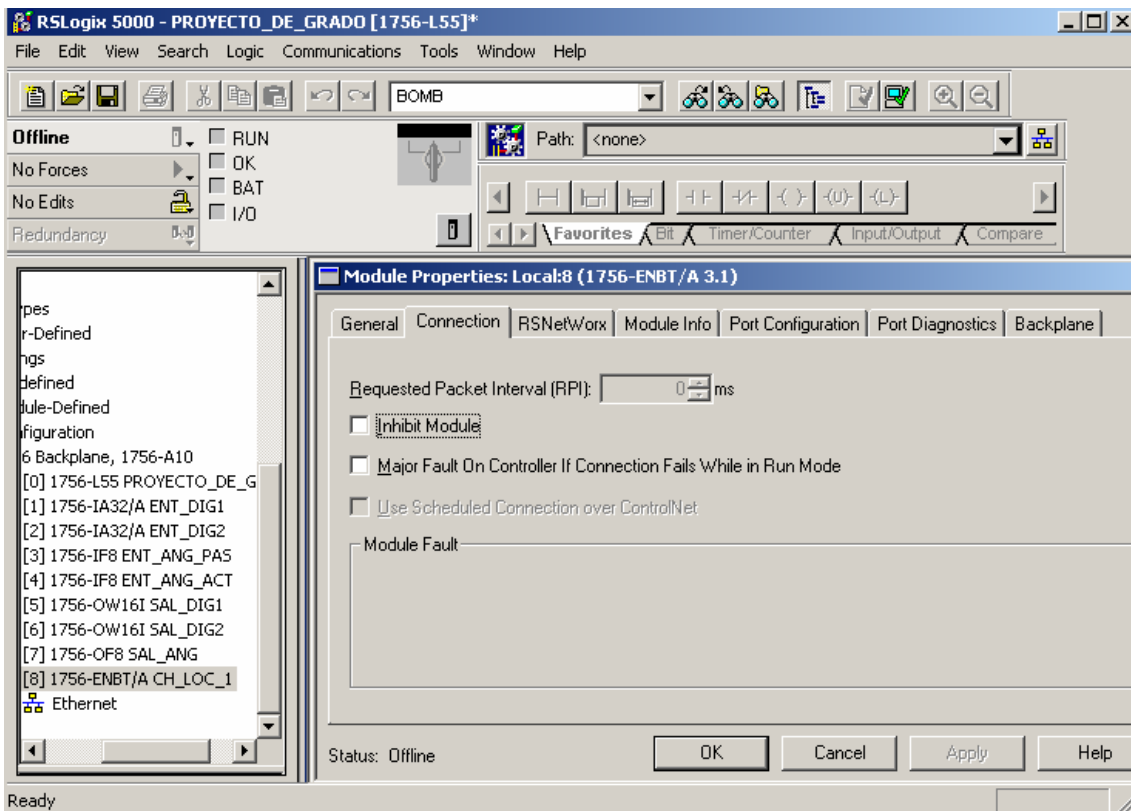
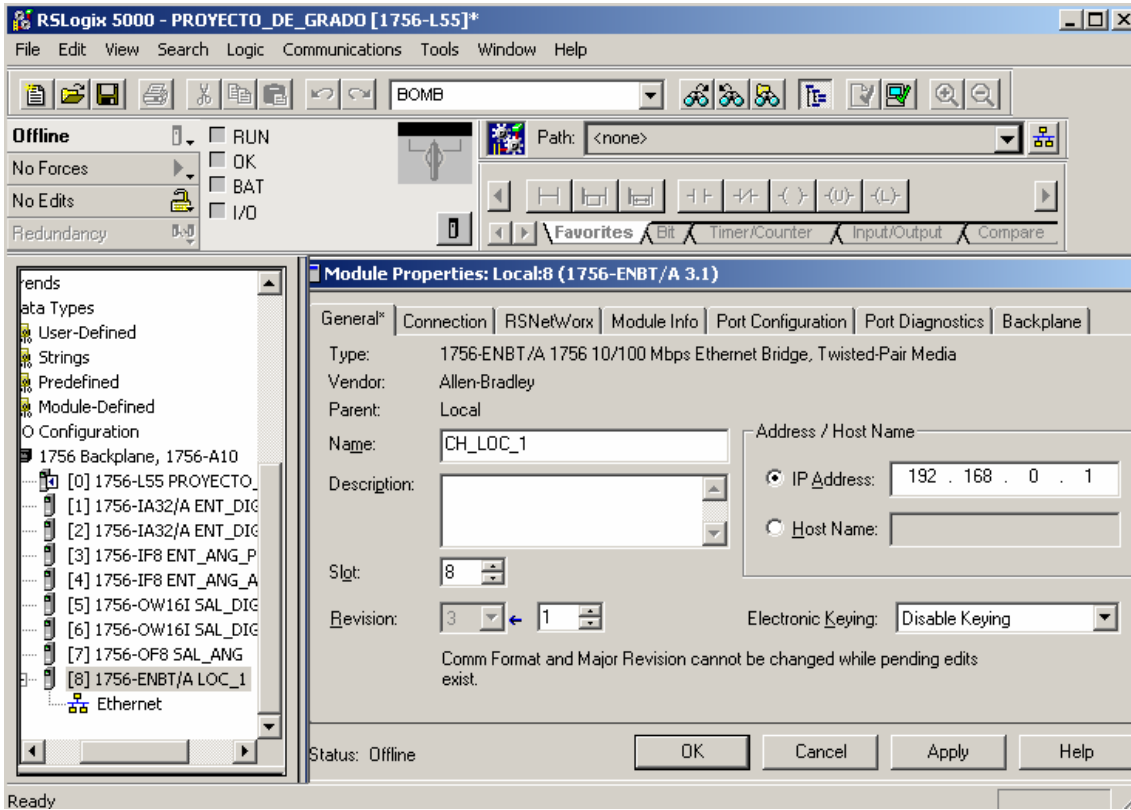
- **Paso 1.** Se crea un nuevo modulo, se escoge el icono de comunicaciones y se selecciona la serie que se desea utilizar.

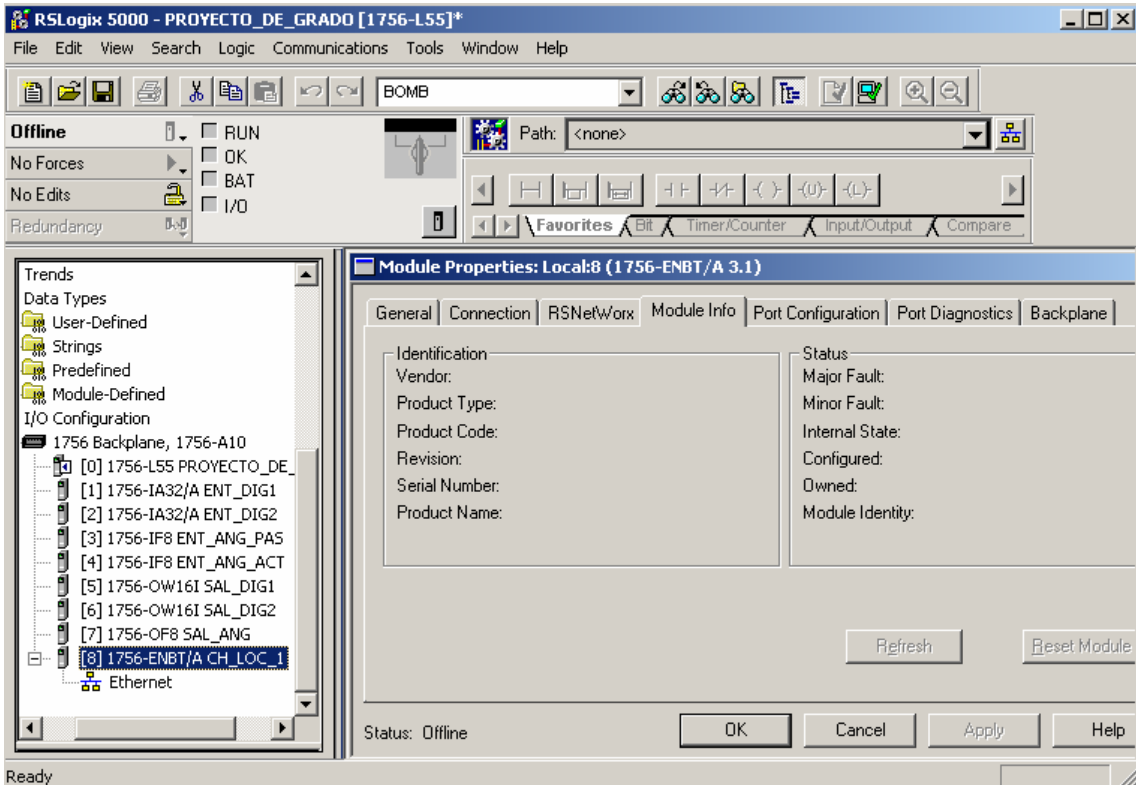
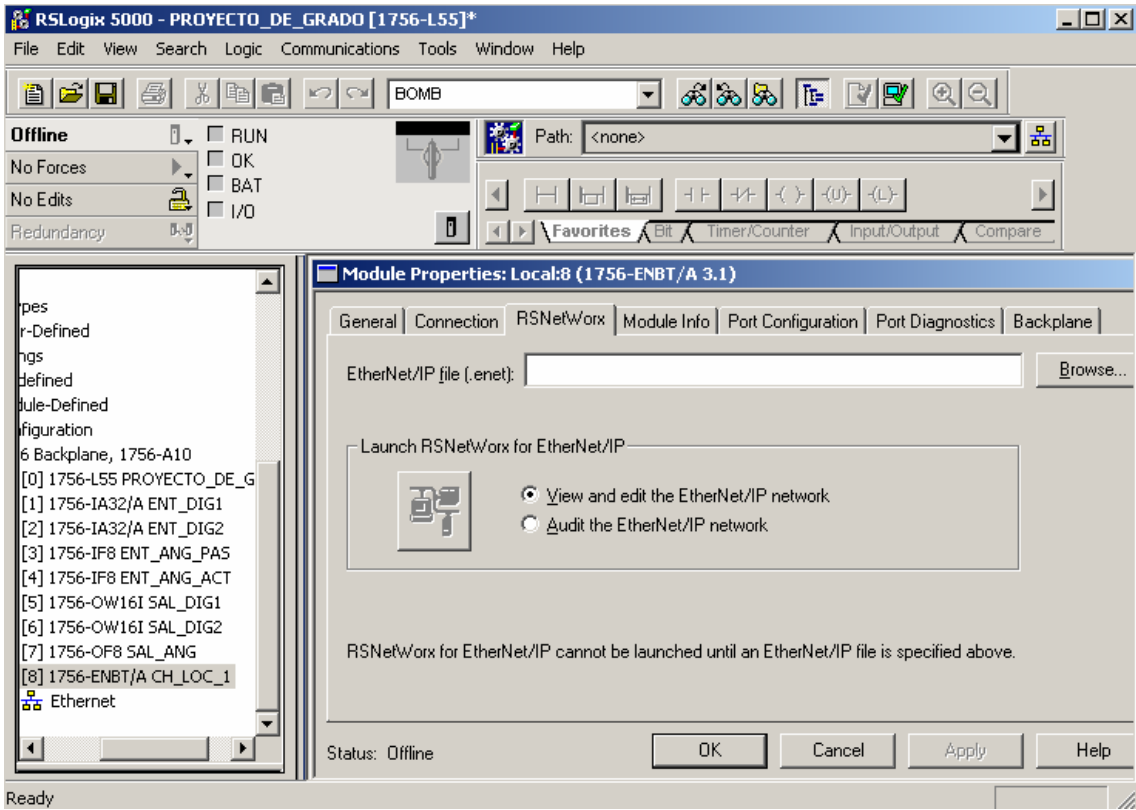


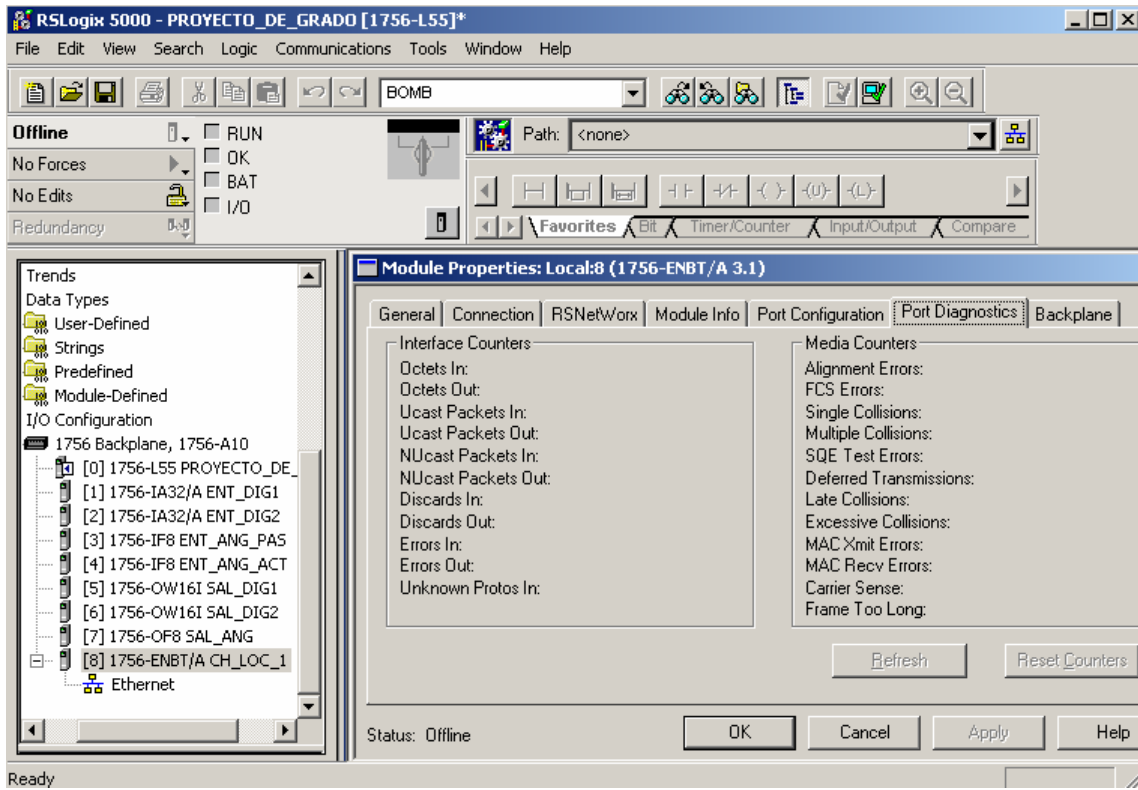
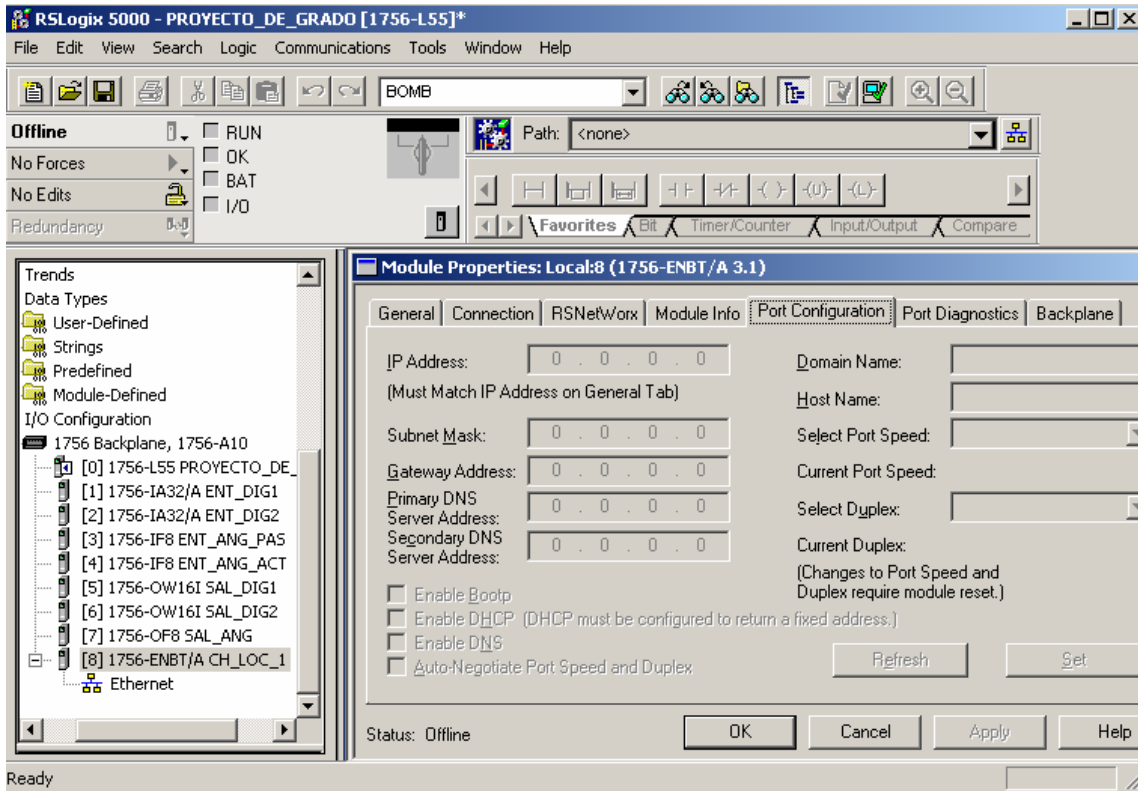
- **Paso 2.** Se le asigna un nombre y una dirección IP con la que se identificará el modulo en la red.

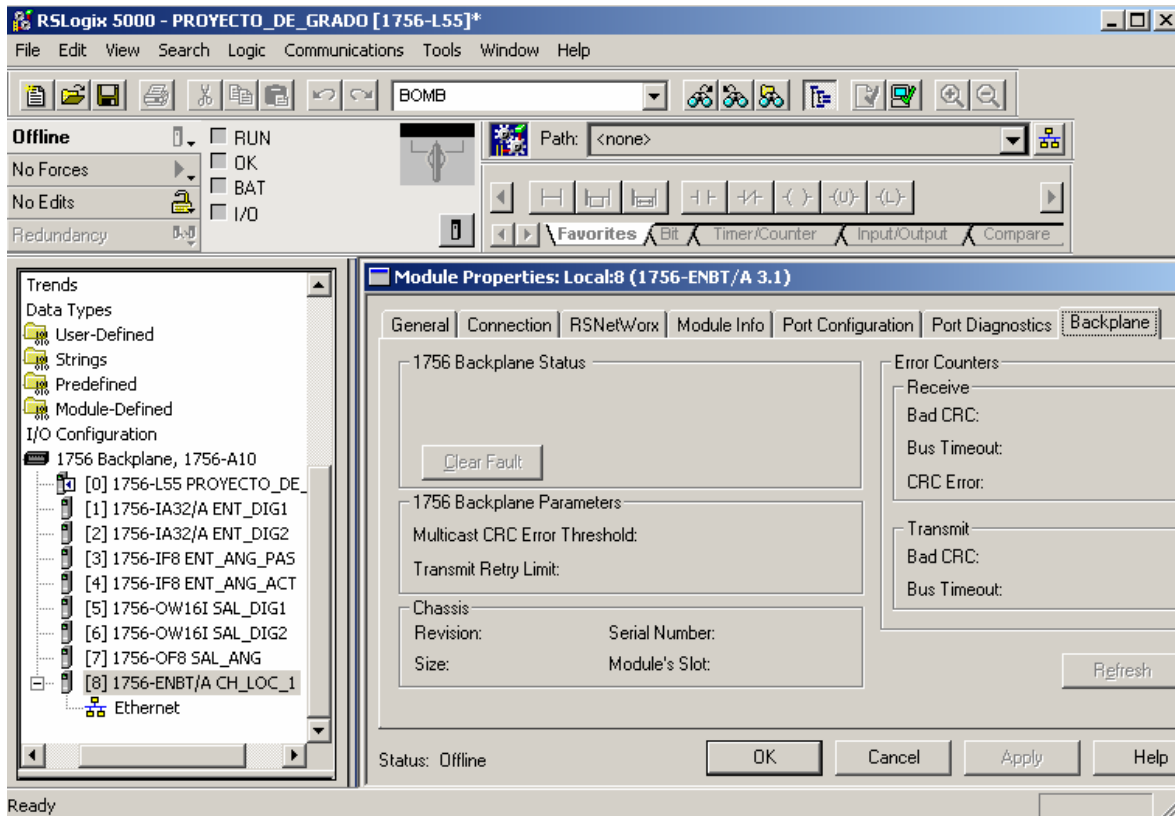


Después de elegir el tipo de modulo que se utilizara y de asignarle una dirección IP se da por terminado toda la configuración del modulo, ya que los parámetros de configuración de las propiedades del modulo no requieren de cambios, se dejan por defecto



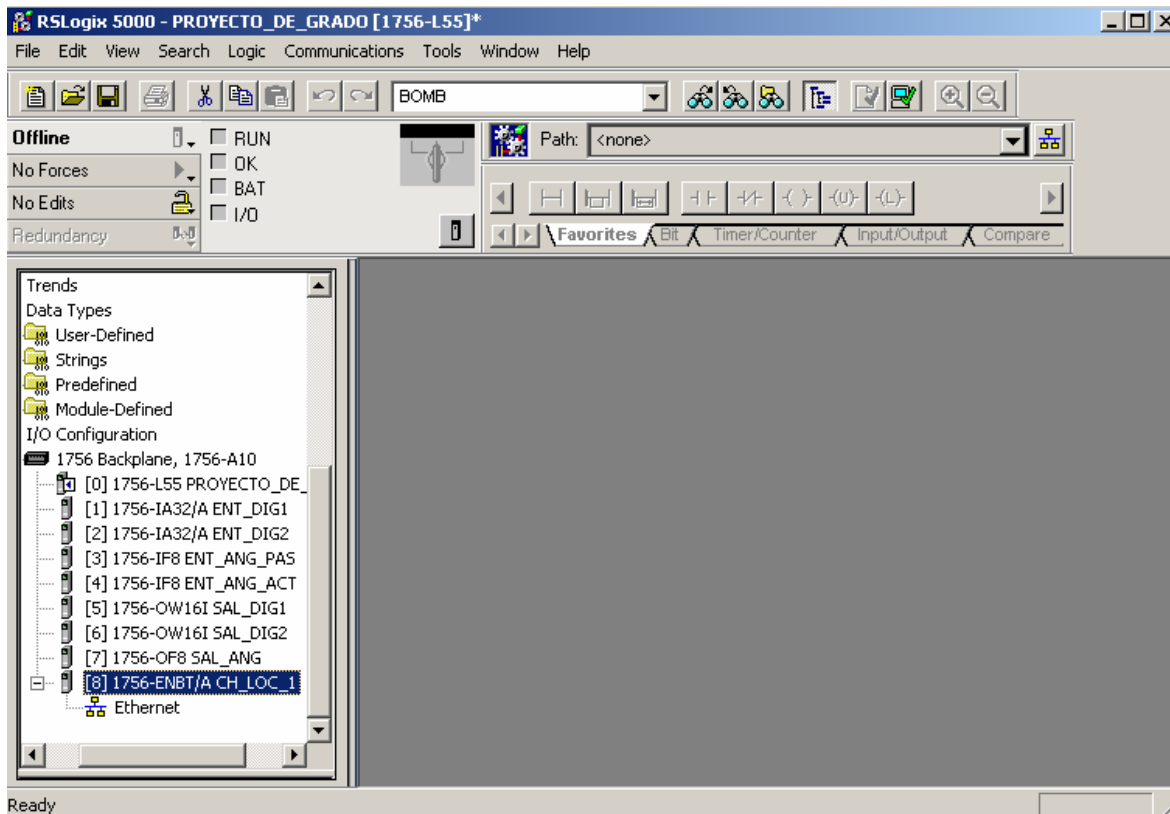






Después de configurar todos los módulos en el backplane, se observa en la siguiente pantalla su respectiva distribución.

Los módulos se encuentran enumerados desde el cero que es el procesador hasta el numero ocho que es el de comunicación.



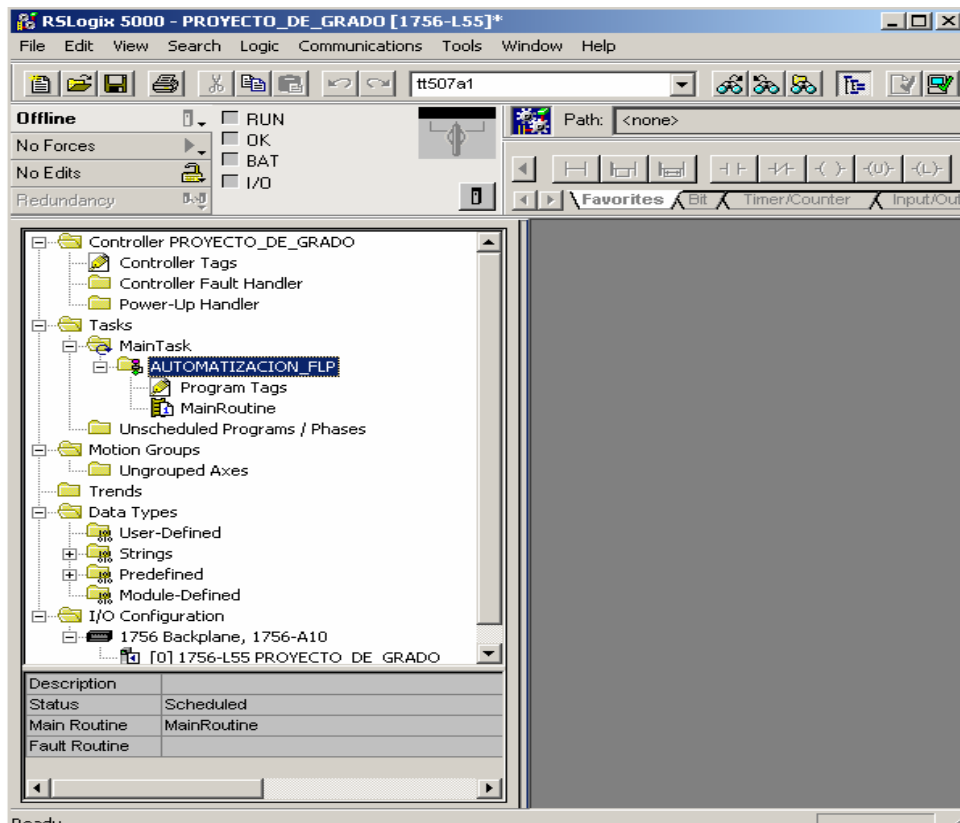
1.1.8 Configuración de las TASKS (tareas). Después de tener configurados los módulos se crean las diferentes tareas que se requieren en el proyecto. Una de las tantas virtudes que posee el ControlLogix es que se pueden crear tres tipos de tareas, y dentro de cada tarea se pueden crear varios proyectos con sus respectivas rutinas. En la automatización de los filtros de lecho profundo solo se utilizan dos tareas:

- **Tarea continúa.** En esta tarea se encuentra un programa principal con sus respectivas rutinas, como su nombre lo indica las tareas se repiten continuamente.

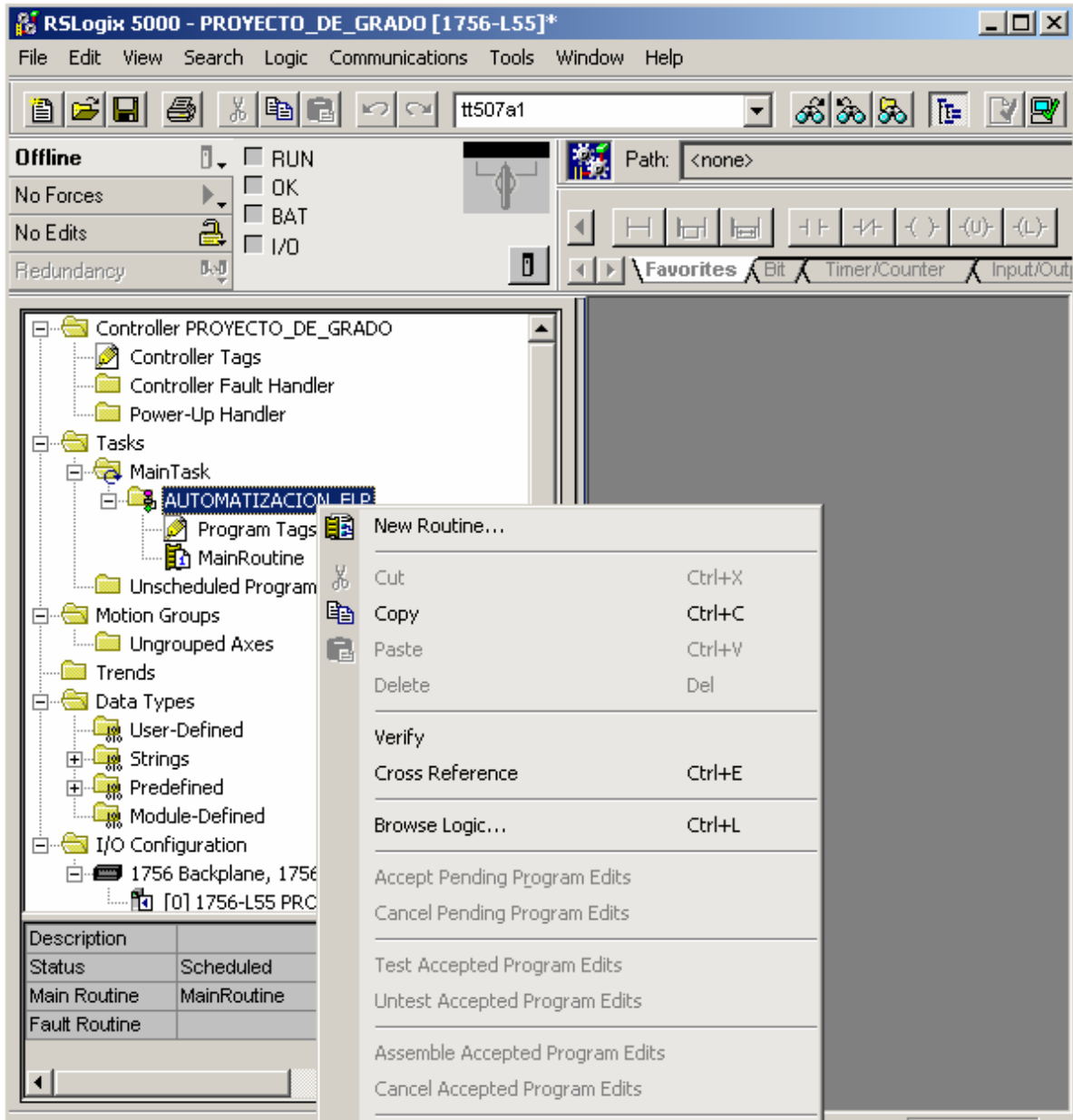
- **Tareas periódicas.** Tiene la misma estructura que la anterior, su diferencia consiste en que las rutinas que se realizan solo se repiten por periodos de tiempo. A continuación se muestran los pasos para crear y configurar las diferentes tareas del proyecto con sus respectivas rutinas.

1.1.9 Tareas continuas.

- **Paso 1.** Se coloca el puntero del mouse sobre la carpeta Tasks se da click derecho y se crea la tarea continua, luego se le cambia el nombre a Main Program por AUTOMATIZACIÓN_FLP este será el nombre del proyecto. Dentro de la tarea continua se pueden crear más proyectos.

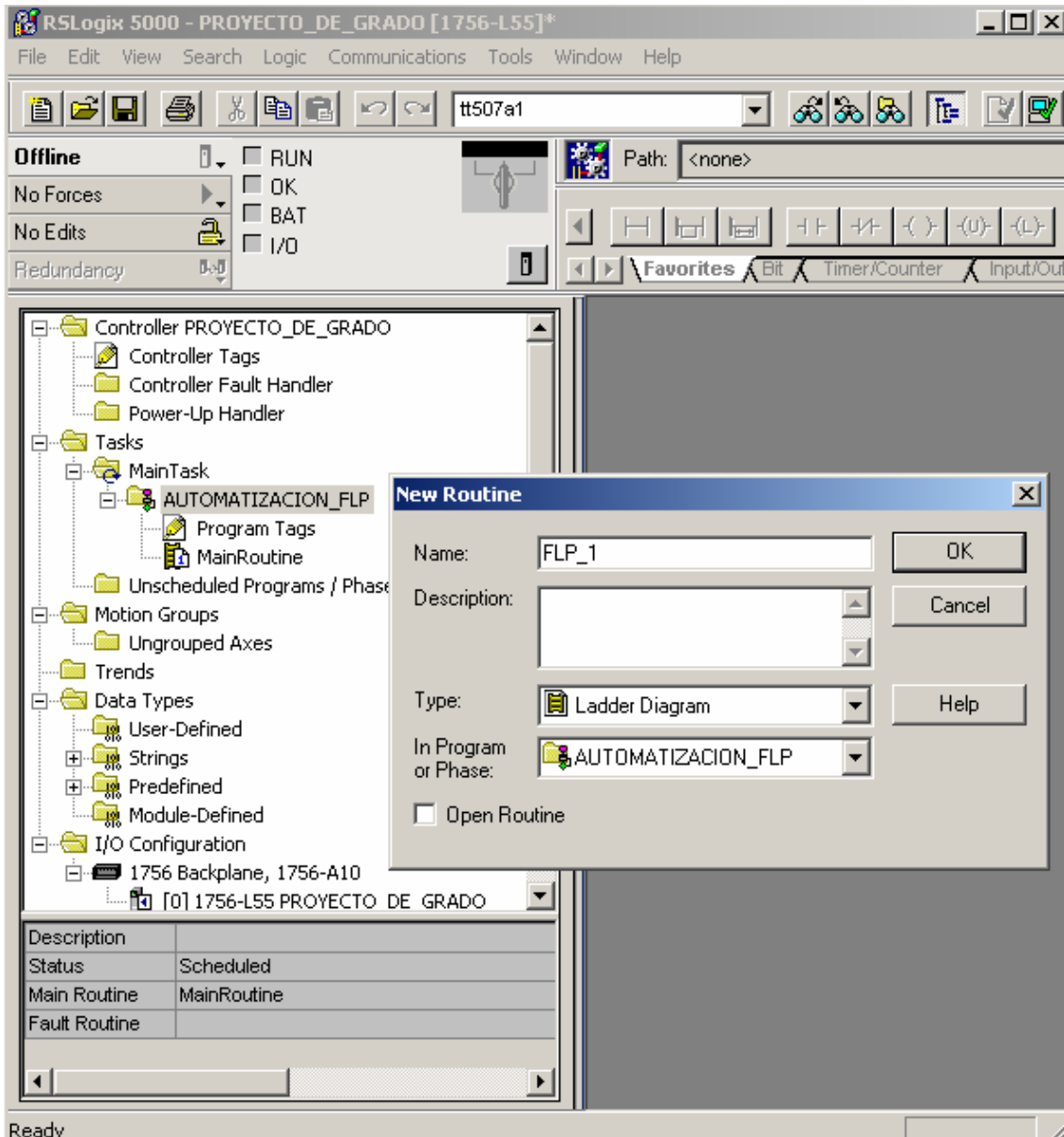


- **Paso 2.** Se da clip derecho sobre AUTOMATIZACIÓN _ FLP para crear una nueva rutina, esto se hace para crear las tres rutinas de los filtros.

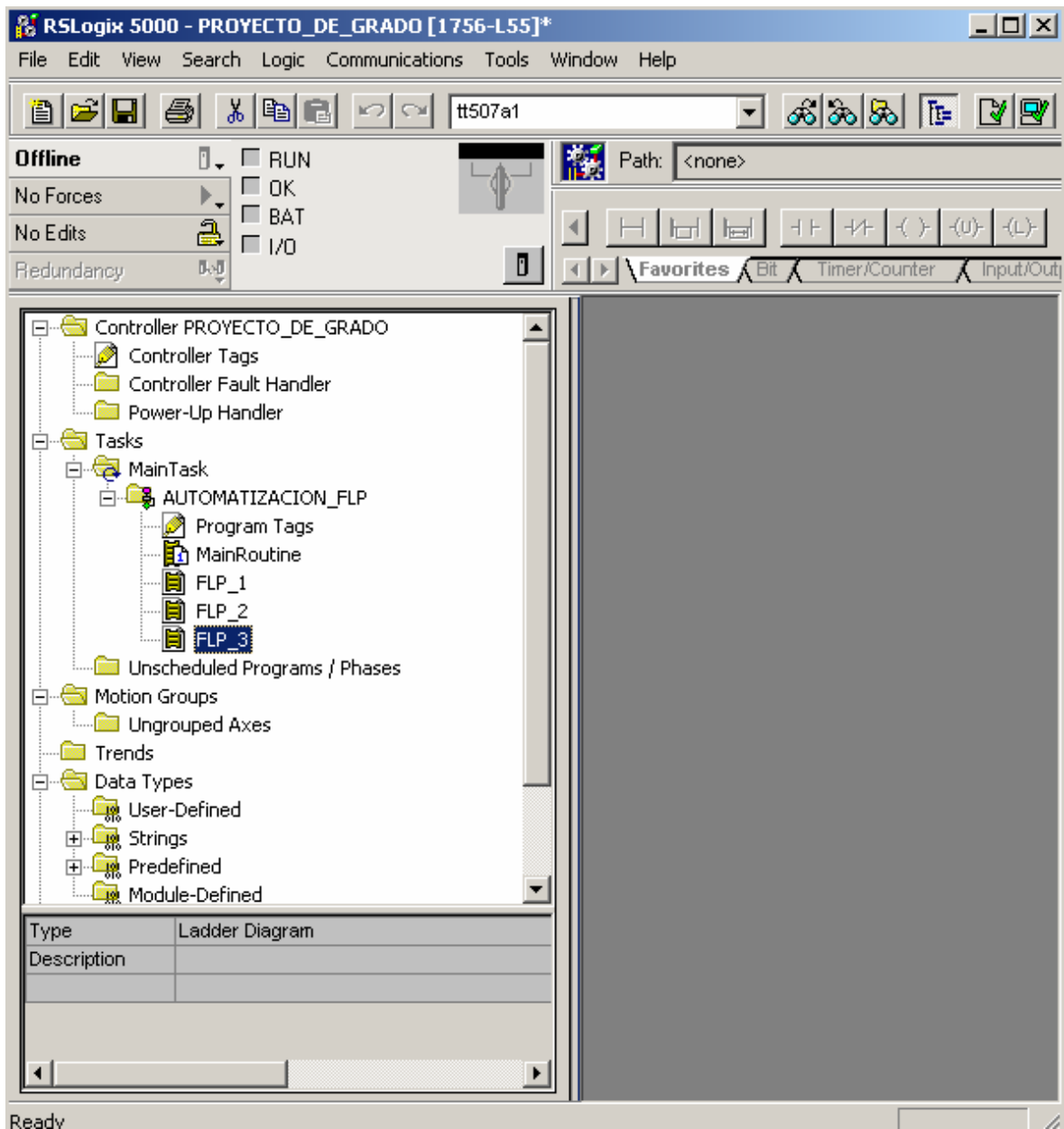


- **Paso 3.** Se da clip sobre “new routine” para asignarle un nombre a la rutina, que en este caso será FLP_1. En la opción “type” se escoge el tipo de rutina que se

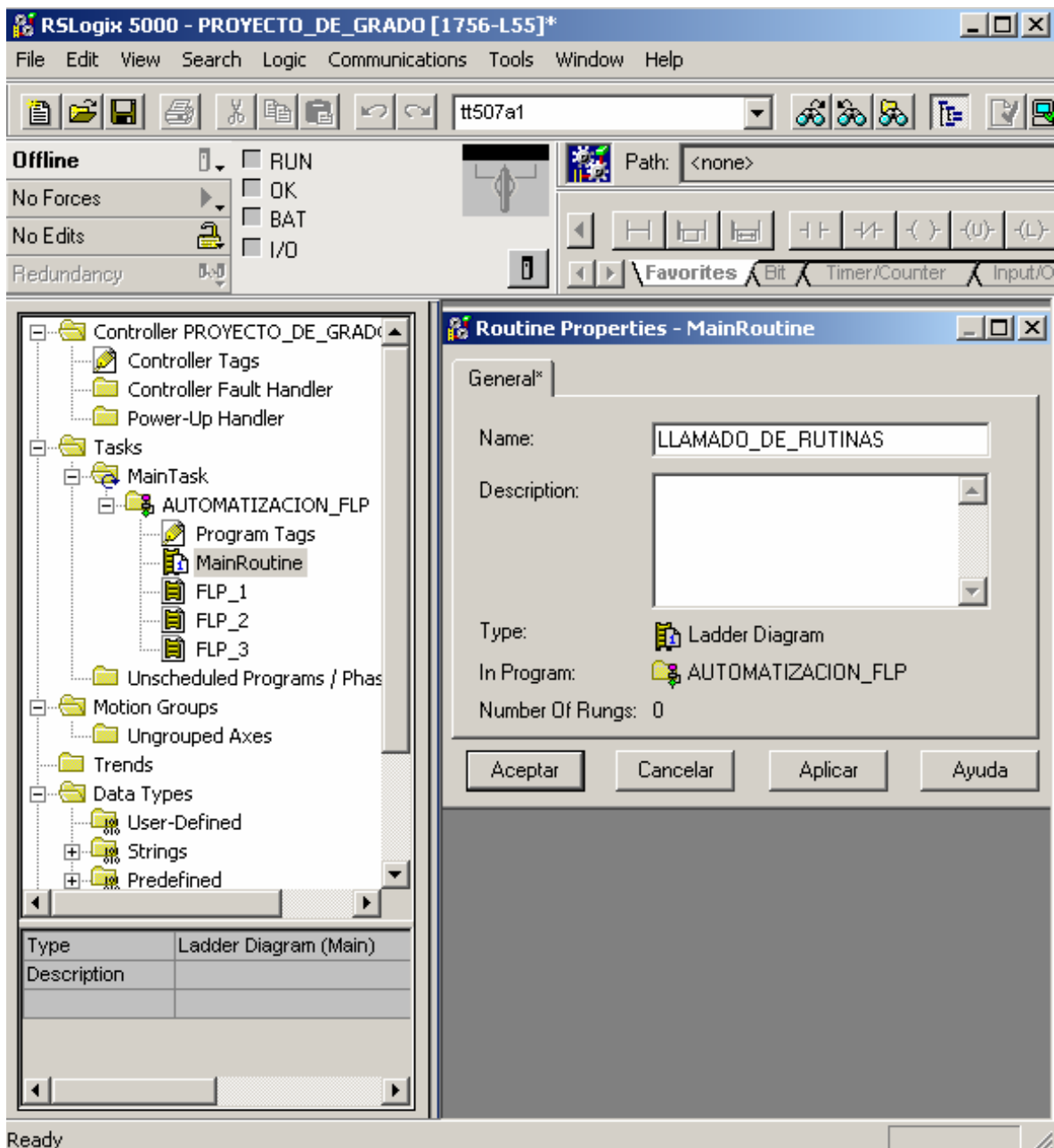
utilizara en este caso es Ladder Diagram. En la ultima opción “In Program or Phase” se escoge a cual programa pertenecerá la rutina, lo normal es que pertenezca al programa en el que se esta creando la rutina que en este caso es AUTOMATIZACIÓN-FLP.



Se realizan los mismos pasos para los otros dos filtros y para la rutina control de nivel quedando de la siguiente manera la pantalla.

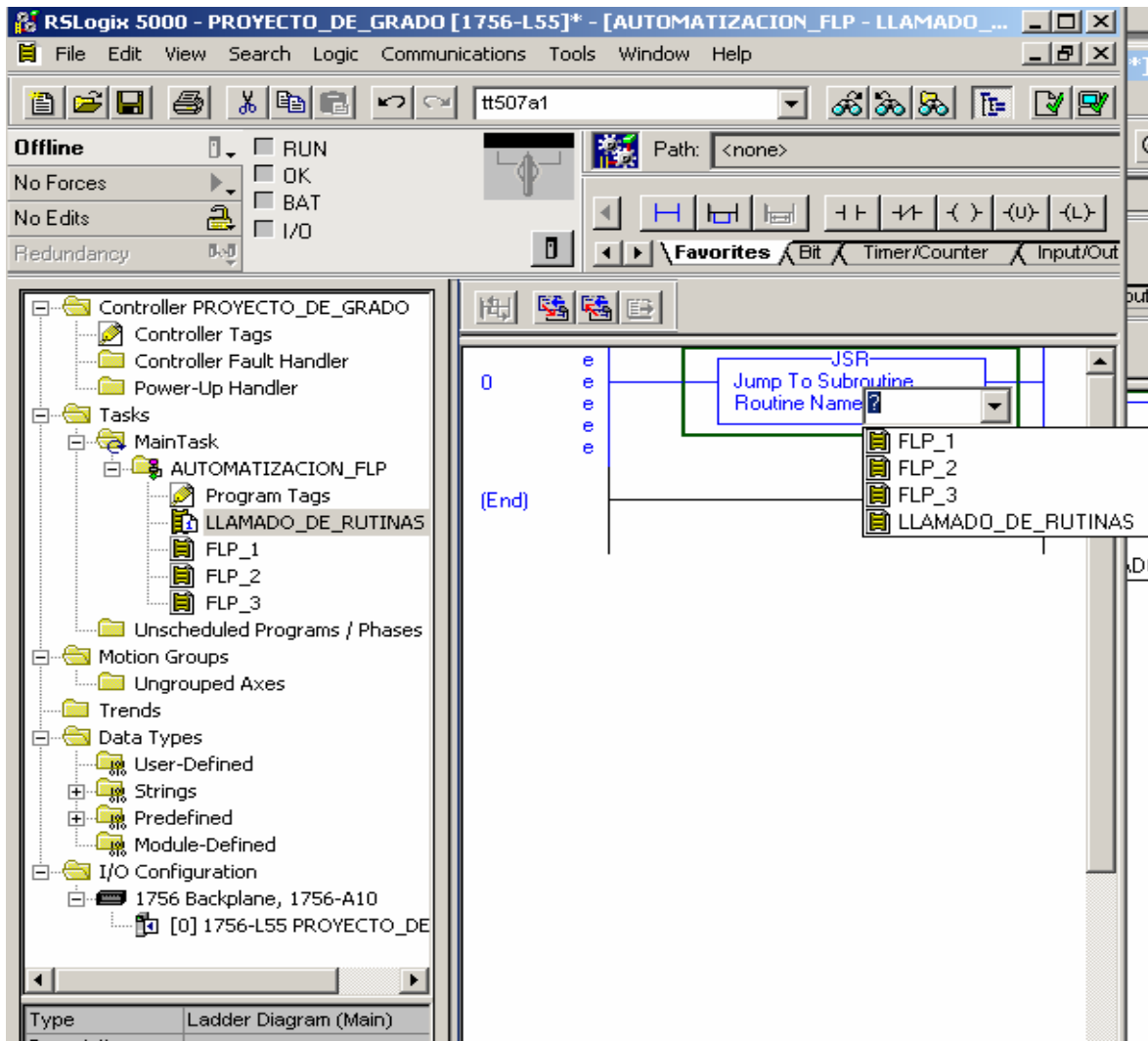


- **Paso 4.** Se cambia el nombre de Main Routine por llamado de rutinas, la función de esta rutina consiste en ser la rutina principal, a través de ella se pueden comunicar las tres rutinas de los filtros.



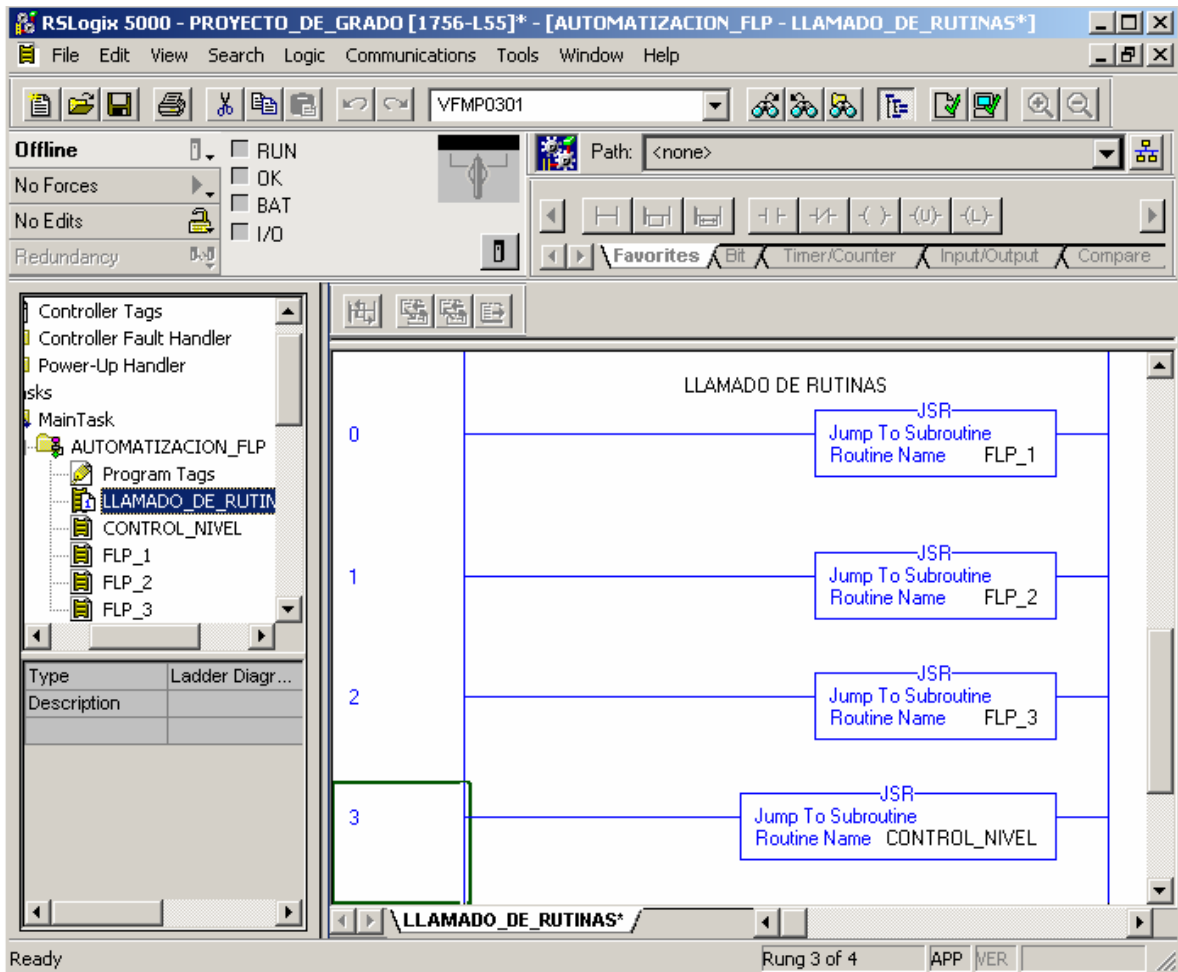
• **Paso 5.** Se da doble click sobre la carpeta LLAMADO_DE RUTINAS, se abre el ladder y se utiliza el comando JSR el cual sirve para hacer llamados de rutinas dentro del programa AUTOMATIZACIÓN_FLP permitiendo que las tres rutinas de los filtros puedan interactuar entre ellas.

Se escoge en cada comando del JSR la rutina de un filtro, se deben de hacer tres líneas con el mismo comando que correspondan a cada filtro.

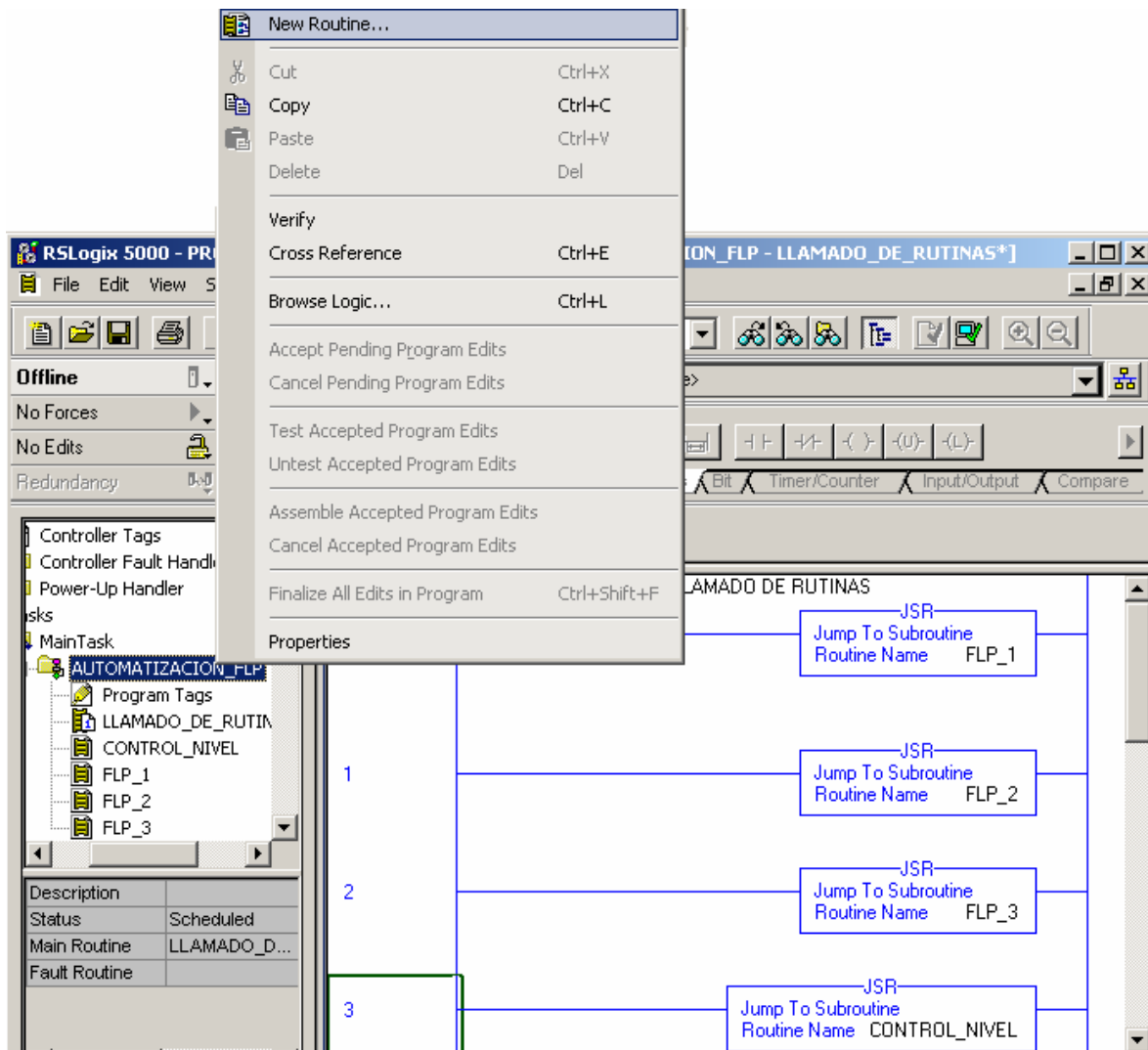


Con esta rutina "llamado de rutina" se logra que todas las rutinas que están dentro del programa "AUTOMATIZACION_FLP" se puedan comunicar entre ellas.

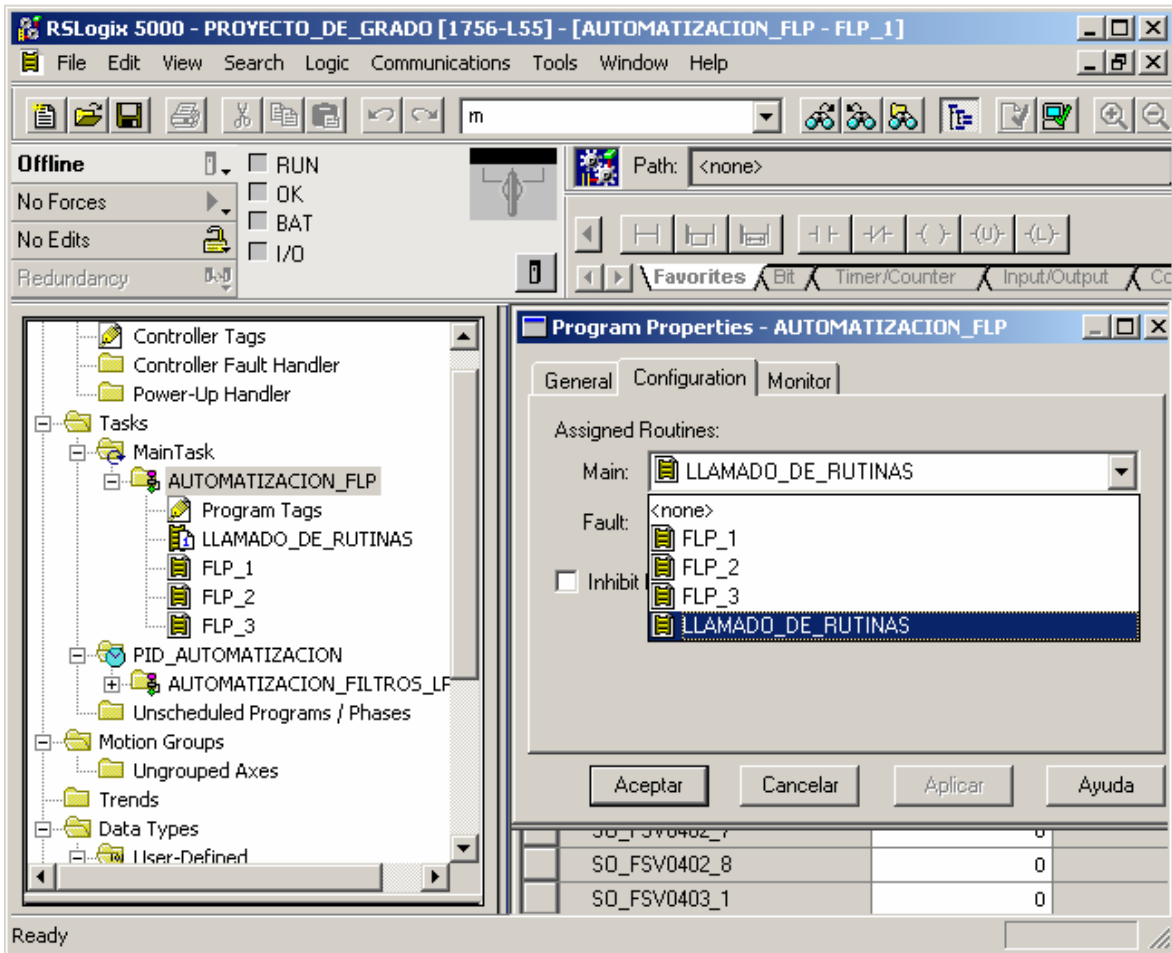
Después de configurar los cuatro llamados de rutina la pantalla queda de la siguiente manera.



- Paso 6.** Se escoge cual rutina será la principal o la que me comunicara todas las rutinas entre si, se da clip derecho sobre AUTOMATIZACIÓN_FLP se escoge la opción propiedades.

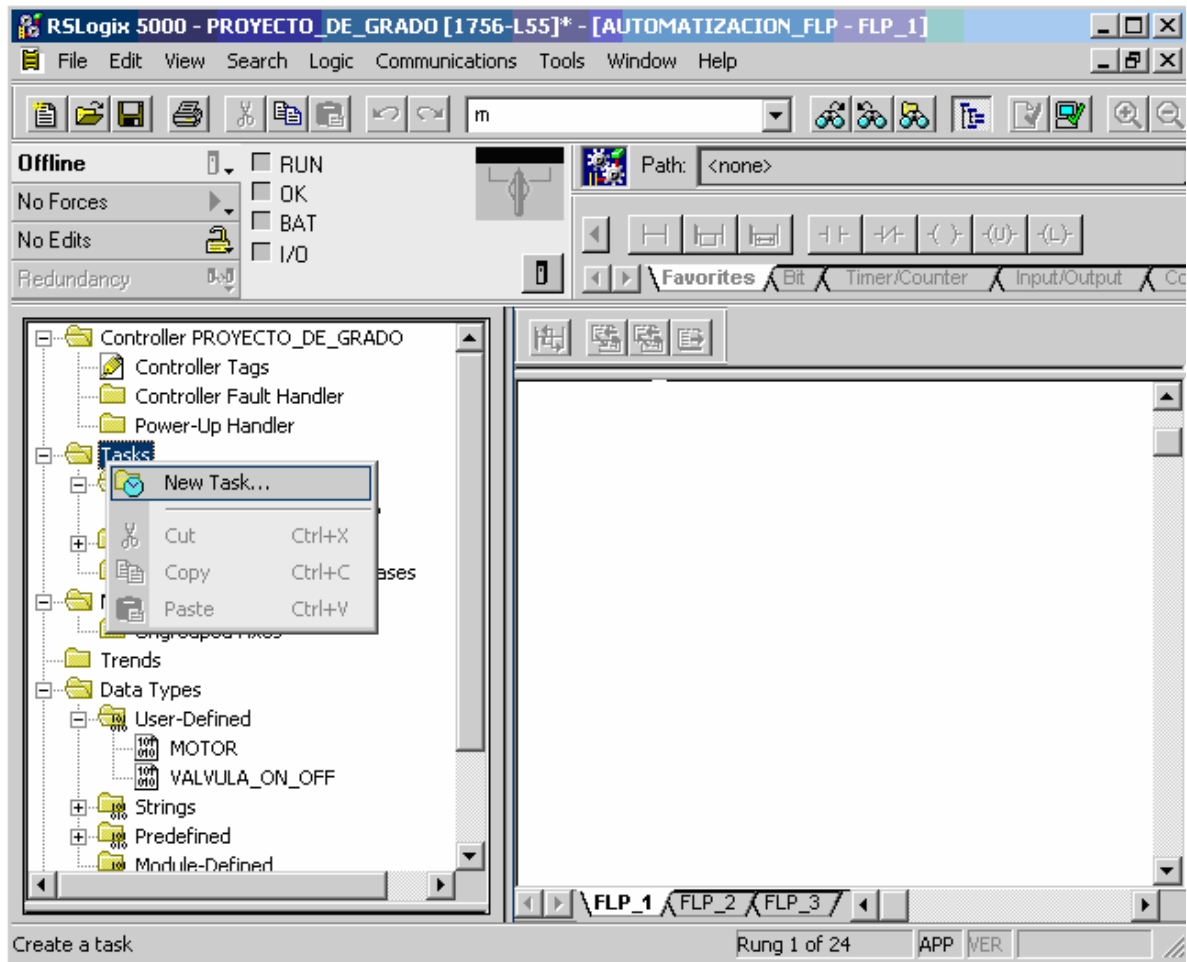


Se asigna cual rutina será la principal, en este caso será LLAMADO_DE_RUTINA.

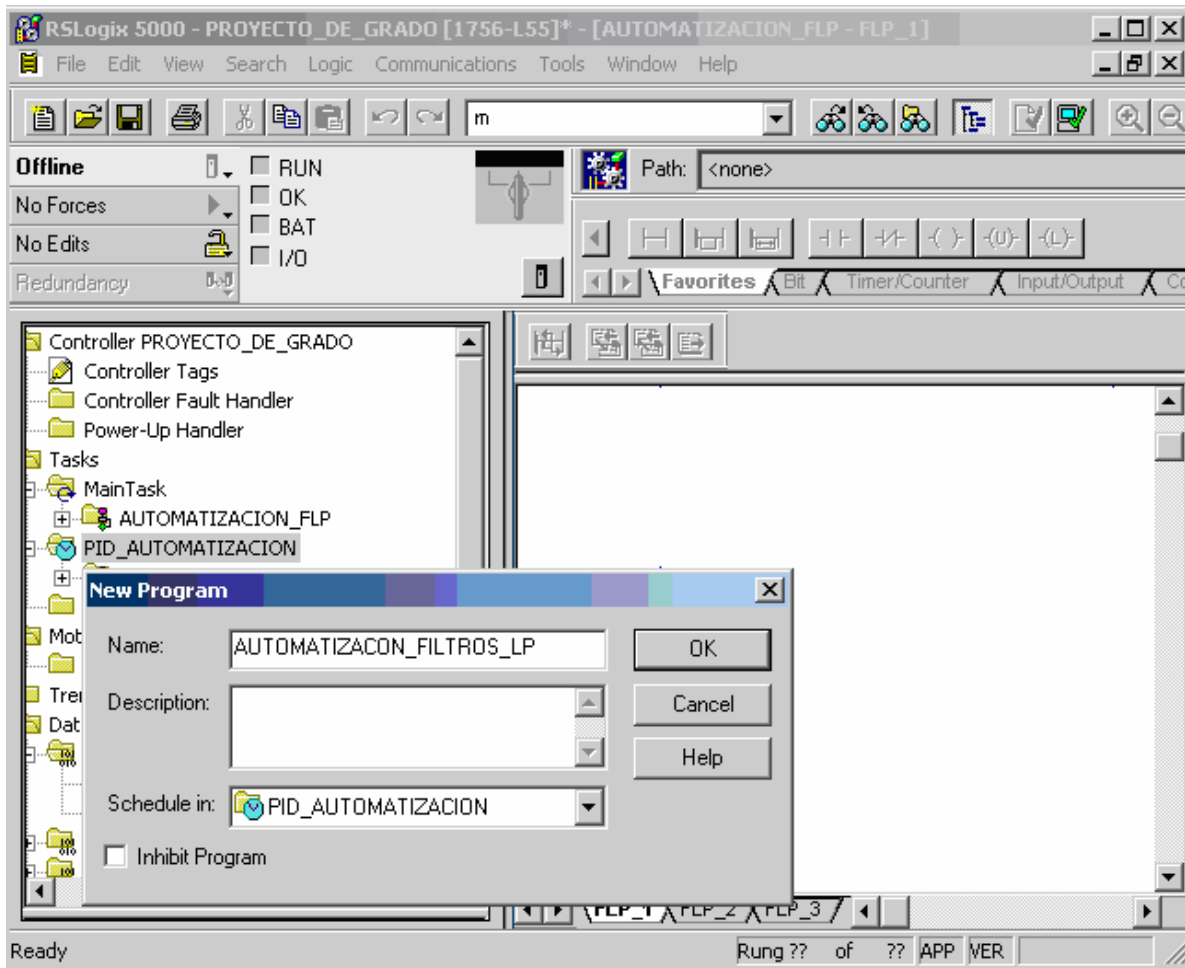


1.1.10 Tareas periódicas. Se realizan los mismos pasos que se utilizaron para crear la tarea continua.

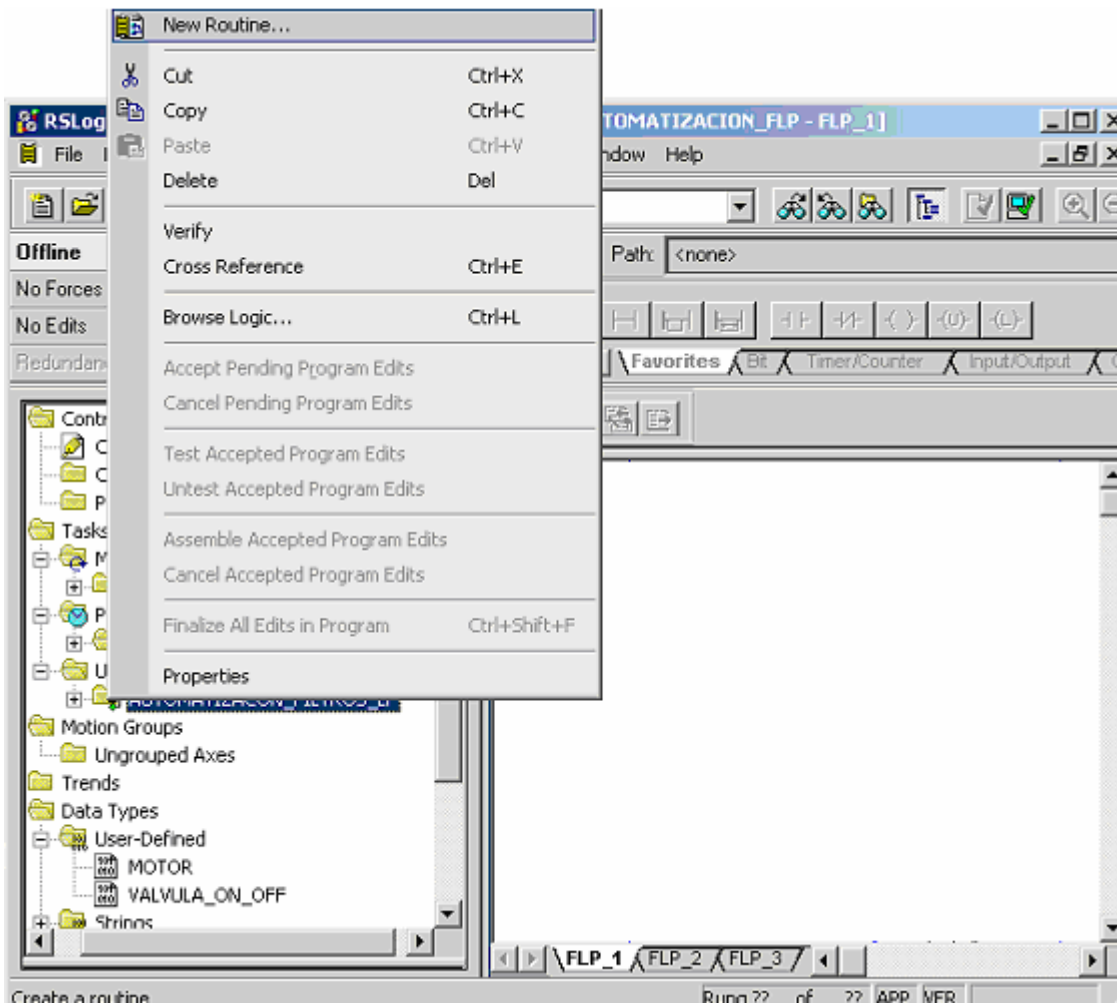
- **Paso 1.** Se da clic derecho sobre Tasks y se escoge la opción crear nueva tarea, el automáticamente crea la tarea periódica.



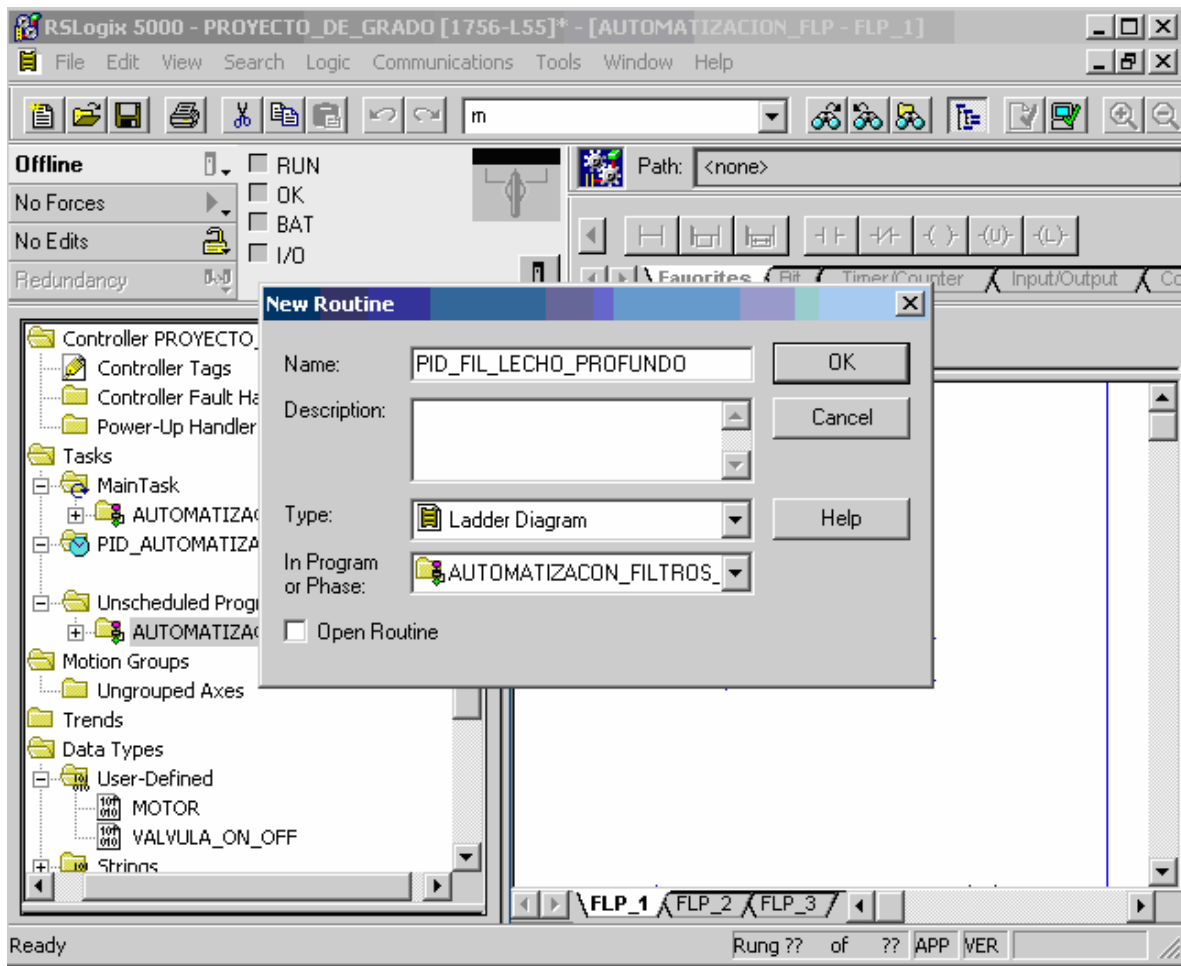
- **Paso 2.** Se le cambia el nombre de tarea periódica por PID_AUTOMATIZACION.



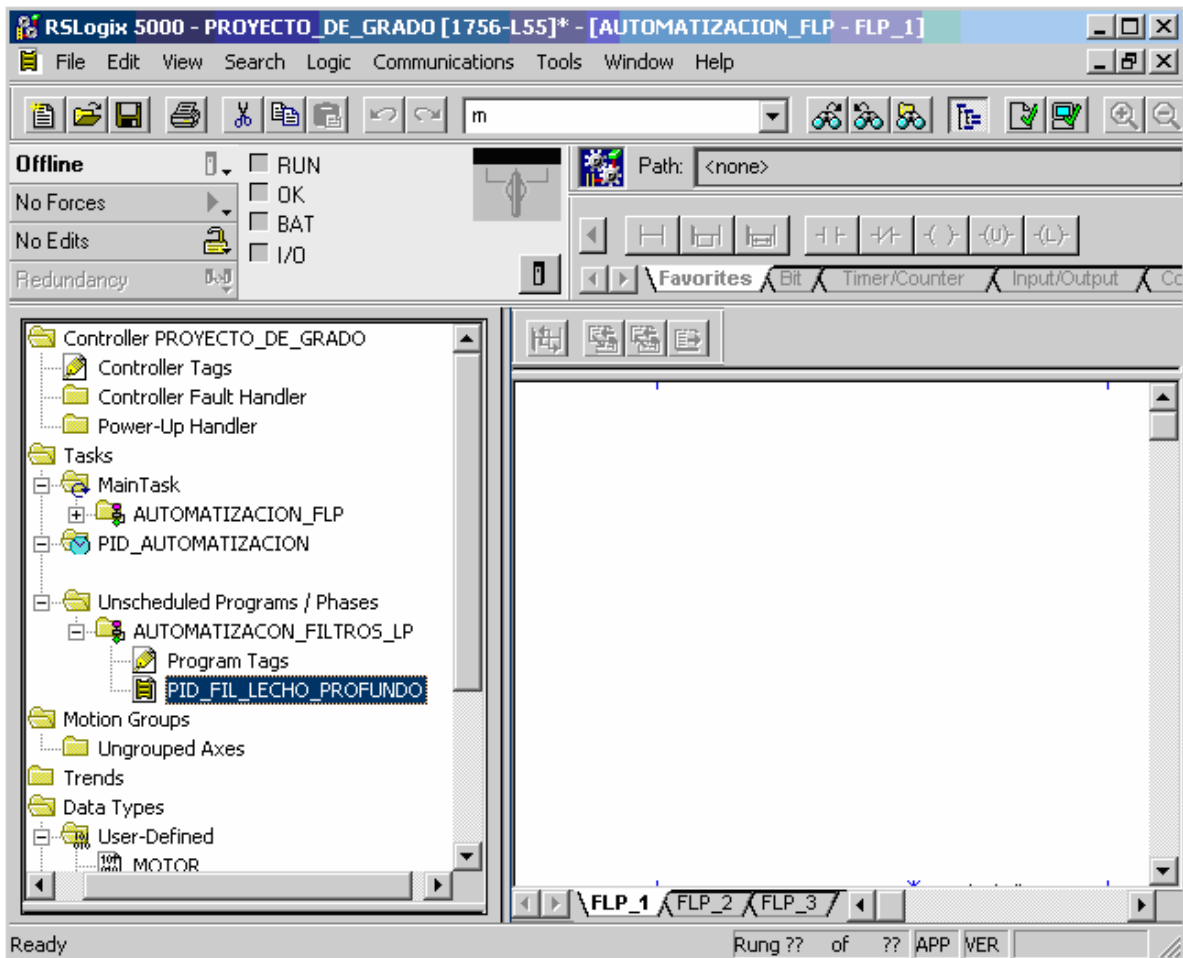
- **Paso 3.** Se crea un nuevo proyecto con el nombre de "Automatización_Filtros_LP" y por ultimo se crea una nueva rutina.



- **Paso 4.** Se le asigna a la rutina el nombre de "PID_FIL_Lecho_Profundo".



En la siguiente imagen se muestra como queda la tarea periódica configurada con su nueva rutina.



Después de crear las rutinas, se crean los tags que son otra de las ventajas que tiene el ControlLogix 5000.

1.1.11 Crear tags. Se pueden editar los nombres de las diferentes señales de entradas y salidas sin tener que asignarles las direcciones de los módulos o como lo llaman en el RSLogix los ALIAS. Gracias a esta ventaja se realiza la programación sin necesidad de tener instalado o en línea el PLC esto hace que se gane tiempo en la programación y se pueda dejar de último la instalación. Existen dos tipos de tags: Tags de control (Controlle tags) y Tags de programa (Program tags).

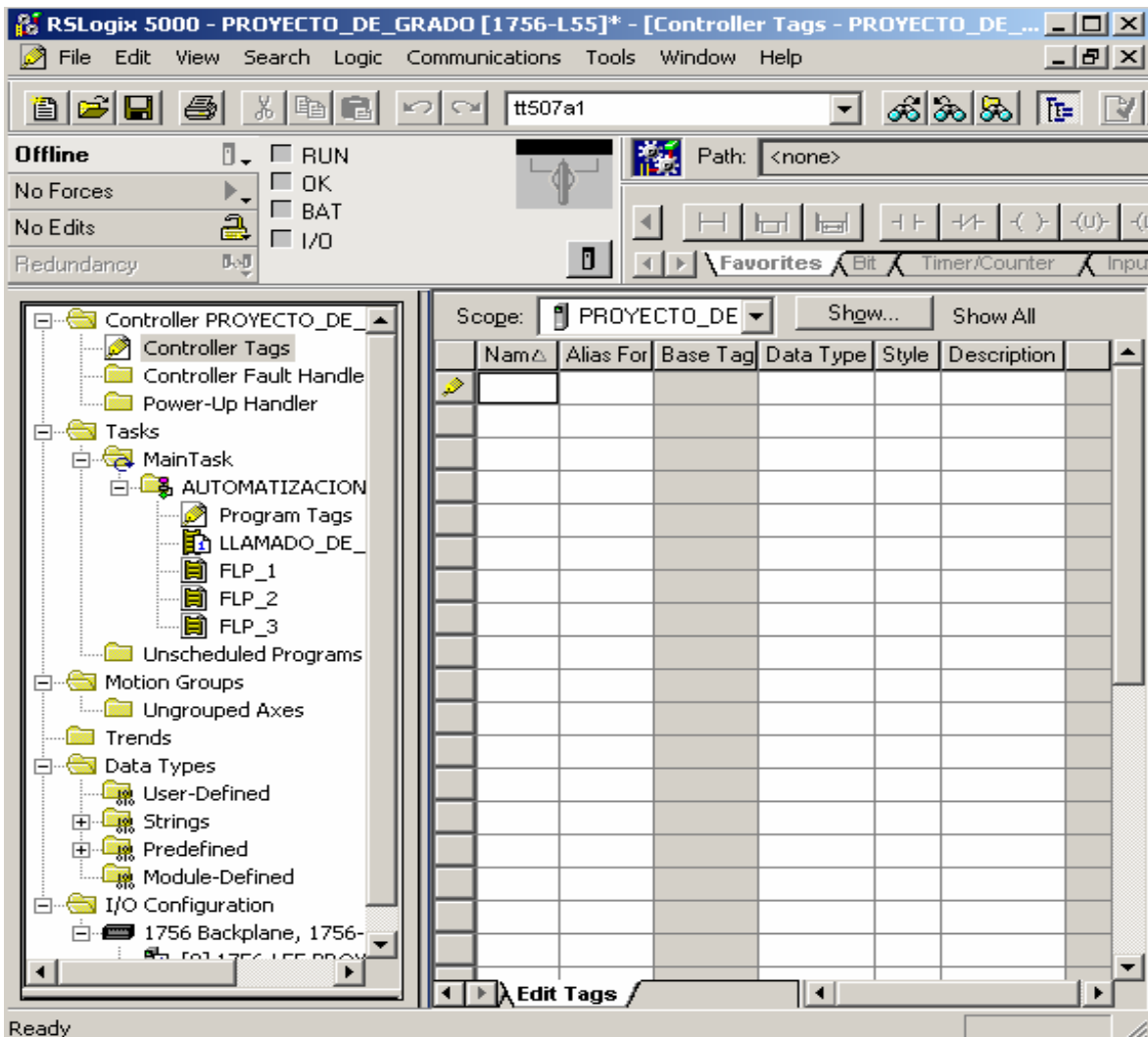
-Tags de control: Están disponibles para cualquier programa que se cree, es el más recomendado para realizar proyectos grandes. Todos los programas podrán tener acceso a los tags.

-Tags de programa: Solo están disponibles para los programas que estén dentro de la misma tarea.

Para la automatización de los filtros de lecho profundo se deben de tener en cuenta varias cosas, que los filtros son una etapa del proceso de producción de azúcar refinada y por lo tanto existen varias etapas con las que se deben interactuar, por esta razón se escogen los tags de control que están disponibles para todos los programas o etapas del proceso.

Con los tags se ingresa la información correspondiente a una acción en particular como por ejemplo prender o parar un motor, se le da un nombre, una descripción, se escoge el tipo de dato si es real, digital, etc, y por ultimo se puede asigna una dirección que corresponda a una entrada o salida del modulo.

En la siguiente ventana se puede observar como se ingresan los nombres de las señales que se utilizaran en la automatización. Se escribe una breve descripción, se escoge el tipo de dato (entero, boleano, etc) y un alias el cual se colocara al final, cuando ya se tengan los módulos configurados con sus respectivas entradas y salidas las cuales tendrán sus correspondientes direcciones que se pondrán en el alias según su conveniencia.



Se comienza a ingresar el nombre que se le asigna a cada señal del proceso, se escoge el tipo de dato que se utilizara (booleano, real, etc), y por ultimo se coloca una breve descripción que permita identificar la señal.

A continuación se muestran todos los tags que se utilizaran en el proyecto.

Name	Alias For	Data Type	Style	Description
AUX_MP0401_1	Local:1:l.Data.4	BOOL	Decimal	Auxiliar bomba 1 tanque de licor filtrado
AUX_MP0401_2	Local:1:l.Data.8	BOOL	Decimal	Auxiliar bomba 2 tanque de licor filtrado
B_FSV0401_1	Local:5:0.Data.3	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula licor flotado FLP 1
B_FSV0401_2	Local:5:0.Data.4	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula agua de proceso FLP 1
B_FSV0401_3	Local:5:0.Data.5	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula alimentacion FLP 1
B_FSV0401_4	Local:5:0.Data.6	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado FLP 1
B_FSV0401_5	Local:5:0.Data.7	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado afluente FLP 1
B_FSV0401_6	Local:5:0.Data.8	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a licor flotado o aTK licor filtrado FLP 1
B_FSV0401_7	Local:5:0.Data.9	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a TK agua dulce FLP 1
B_FSV0401_8	Local:5:0.Data.10	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a afluente FLP 1
B_FSV0402_1	Local:5:0.Data.11	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula licor flotado FLP 2
B_FSV0402_2	Local:5:0.Data.12	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula agua de proceso FLP 2
B_FSV0402_3	Local:5:0.Data.13	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula alimentacion FLP 2
B_FSV0402_4	Local:5:0.Data.14	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado FLP 2
B_FSV0402_5	Local:5:0.Data.15	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado afluente FLP 2
B_FSV0402_6	Local:6:0.Data.1	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a licor flotado o aTK licor filtrado FLP 2
B_FSV0402_7	Local:6:0.Data.2	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a TK agua dulce FLP 2
B_FSV0402_8	Local:6:0.Data.3	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a afluente FLP 2
B_FSV0403_1	Local:6:0.Data.4	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula licor flotado FLP 3
B_FSV0403_2	Local:6:0.Data.5	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula agua de proceso FLP 3
B_FSV0403_3	Local:6:0.Data.6	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula alimentacion FLP 3
B_FSV0403_4	Local:6:0.Data.7	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado FLP 3
B_FSV0403_5	Local:6:0.Data.8	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retrolavado afluente FLP 3
B_FSV0403_6	Local:6:0.Data.9	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a licor flotado o aTK licor filtrado FLP 3
B_FSV0403_7	Local:6:0.Data.10	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a TK agua dulce FLP 3
B_FSV0403_8	Local:6:0.Data.11	BOOL	Decimal	Bobina actuador valvula retorno a afluente FLP 3
B_MP0401_1	Local:5:0.Data.1	BOOL	Decimal	Bobina motor bomba 1 TK licor filtrado

Name	Alias For	Data Type	Style	Description
B_MP0401_2	Local:5:0.Data.2	BOOL	Decimal	Bobina motor bomba 2 TK licor filtrado
FCV0401	Local:7:0.Ch0Data	REAL	Float	Valvula control FLP 1
FCV0402	Local:7:0.Ch1Data	REAL	Float	Valvula control FLP 2
FCV0403	Local:7:0.Ch2Data	REAL	Float	Valvula control FLP 3
+FSV0401_1		VALVULA_ON_OFF		Valvula licor flotado FLP 1
+FSV0401_2		VALVULA_ON_OFF		Valvula agua procesos FLP 1
+FSV0401_3		VALVULA_ON_OFF		Valvula alimentacion FLP 1
+FSV0401_4		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado FLP 1
+FSV0401_5		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado a afluentes FLP 1
+FSV0401_6		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 1
+FSV0401_7		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno agua dulce FLP 1
+FSV0401_8		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno afluente FLP 1
+FSV0402_1		VALVULA_ON_OFF		Valvula licor flotado FLP 2
+FSV0402_2		VALVULA_ON_OFF		Valvula agua procesos FLP 2
+FSV0402_3		VALVULA_ON_OFF		Valvula alimentacion FLP 2
+FSV0402_4		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado FLP 2
+FSV0402_5		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado a afluentes FLP 2
+FSV0402_6		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 2
+FSV0402_7		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno agua dulce FLP 2
+FSV0402_8		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno afluente FLP 2
+FSV0403_1		VALVULA_ON_OFF		Valvula licor flotado FLP 3
+FSV0403_2		VALVULA_ON_OFF		Valvula agua procesos FLP 3
+FSV0403_3		VALVULA_ON_OFF		Valvula alimentacion FLP 3
+FSV0403_4		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado FLP 3
+FSV0403_5		VALVULA_ON_OFF		Valvula retrolavado a afluentes FLP 3
+FSV0403_6		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 3
+FSV0403_7		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno agua dulce FLP 3
+FSV0403_8		VALVULA_ON_OFF		Valvula retorno afluente FLP 3

Monitor Tags Edit Tags

Name	Alias For	Data Type	Style	Description
FTF0401	Local:4:I.Ch0Data	REAL	Float	Flujo licor flotado FLP1
FTF0402	Local:4:I.Ch1Data	REAL	Float	Flujo licor flotado FLP2
FTF0403	Local:4:I.Ch2Data	REAL	Float	Flujo licor flotado FLP3
+Local:1:C		AB:1756_DI:C:0		
+Local:1:I		AB:1756_DI:I:0		
+Local:2:C		AB:1756_DI:C:0		
+Local:2:I		AB:1756_DI:I:0		
+Local:3:C		AB:1756_IF8_Float:C:0		
+Local:3:I		AB:1756_IF8_Float:I:0		
+Local:4:C		AB:1756_IF4_Float:C:0		
+Local:4:I		AB:1756_IF4_Float:I:0		
+Local:5:C		AB:1756_DO:C:0		
+Local:5:I		AB:1756_DO:I:0		
+Local:5:O		AB:1756_DO:O:0		
+Local:6:C		AB:1756_DO:C:0		
+Local:6:I		AB:1756_DO:I:0		
+Local:6:O		AB:1756_DO:O:0		
+Local:7:C		AB:1756_OF8_Float:C:0		
+Local:7:I		AB:1756_OF8_Float:I:0		
+Local:7:O		AB:1756_OF8_Float:O:0		
LTTK0401	Local:3:I.Ch0Data	REAL	Float	Nivel TK licor filtrado
LTTK0703	Local:3:I.Ch1Data	REAL	Float	Nivel TK licor tachos
+MP0401_1		MOTOR		Motor bomba 1 tanque de licor filtrado
+MP0401_2		MOTOR		Motor bomba 2 tanque de licor filtrado
+PID_FF0401		PID		PID control flujo licor flotado FLP 1
+PID_FF0402		PID		PID control flujo licor flotado FLP 2
+PID_FF0403		PID		PID control flujo licor flotado FLP 3
PTF0401	Local:3:I.Ch2Data	REAL	Float	Presion FLP 1

Monitor Tags Edit Tags

Name	Alias For	Data Type	Style	Description
PTF0402	Local:3:1.Ch3Data	REAL	Float	Presion FLP 2
PTF0403	Local:3:1.Ch4Data	REAL	Float	Presion FLP 3
SC_FSV0401_1	Local:1:1.Data.9	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_2	Local:1:1.Data.10	BOOL	Decimal	Sensor valvula agua procesos FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_3	Local:1:1.Data.11	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_4	Local:1:1.Data.12	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_5	Local:1:1.Data.13	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_6	Local:1:1.Data.14	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 1 cerrad
SC_FSV0401_7	Local:1:1.Data.15	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 1 cerrada
SC_FSV0401_8	Local:1:1.Data.16	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 1 cerrada
SC_FSV0402_1	Local:1:1.Data.17	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_2	Local:1:1.Data.18	BOOL	Decimal	Sensor valvula agua procesos FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_3	Local:1:1.Data.19	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_4	Local:1:1.Data.20	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_5	Local:1:1.Data.21	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_6	Local:1:1.Data.22	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 2 cerrad
SC_FSV0402_7	Local:1:1.Data.23	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 2 cerrada
SC_FSV0402_8	Local:1:1.Data.24	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 2 cerrada
SC_FSV0403_1	Local:1:1.Data.25	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_2	Local:1:1.Data.26	BOOL	Decimal	Sensor valvula agua procesos FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_3	Local:1:1.Data.27	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_4	Local:1:1.Data.28	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_5	Local:1:1.Data.29	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_6	Local:1:1.Data.30	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 3 cerrad
SC_FSV0403_7	Local:1:1.Data.31	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 3 cerrada
SC_FSV0403_8	Local:2:1.Data.1	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 3 cerrada
SO_FSV0401_1	Local:2:1.Data.2	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 1 abierta
SO_FSV0401_2	Local:2:1.Data.3	BOOL	Decimal	Sensor valvula aqua procesos FLP 1 abierta

Monitor Tags Edit Tags

Name	Alias For	Data Type	Style	Description
SO_FSV0401_3	Local:2:I.Data.4	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 1 abierta
SO_FSV0401_4	Local:2:I.Data.5	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 1 abierta
SO_FSV0401_5	Local:2:I.Data.6	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 1 abierta
SO_FSV0401_6	Local:2:I.Data.7	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 1 abierta
SO_FSV0401_7	Local:2:I.Data.8	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 1 abierta
SO_FSV0401_8	Local:2:I.Data.9	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 1 abierta
SO_FSV0402_1	Local:2:I.Data.10	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 2 abierta
SO_FSV0402_2	Local:2:I.Data.11	BOOL	Decimal	Sensor valvula agua procesos FLP 2 abierta
SO_FSV0402_3	Local:2:I.Data.12	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 2 abierta
SO_FSV0402_4	Local:2:I.Data.13	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 2 abierta
SO_FSV0402_5	Local:2:I.Data.14	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 2 abierta
SO_FSV0402_6	Local:2:I.Data.15	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 2 abierta
SO_FSV0402_7	Local:2:I.Data.16	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 2 abierta
SO_FSV0402_8	Local:2:I.Data.17	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 2 abierta
SO_FSV0403_1	Local:2:I.Data.18	BOOL	Decimal	Sensor valvula licor flotado FLP 3 abierta
SO_FSV0403_2	Local:2:I.Data.19	BOOL	Decimal	Sensor valvula agua procesos FLP 3 abierta
SO_FSV0403_3	Local:2:I.Data.20	BOOL	Decimal	Sensor valvula alimentacion FLP 3 abierta
SO_FSV0403_4	Local:2:I.Data.21	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado FLP 3 abierta
SO_FSV0403_5	Local:2:I.Data.22	BOOL	Decimal	Sensor valvula retrolavado a afluentes FLP 3 abierta
SO_FSV0403_6	Local:2:I.Data.23	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno a licor flotado o a TK licor filtrado FLP 3 abierta
SO_FSV0403_7	Local:2:I.Data.24	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno agua dulce FLP 3 abierta
SO_FSV0403_8	Local:2:I.Data.25	BOOL	Decimal	Sensor valvula retorno afluente FLP 3 abierta
START_MP0401_1	Local:1:I.Data.1	BOOL	Decimal	Start motor bomba 1 tanque licor filtrado
START_MP0401_2	Local:1:I.Data.5	BOOL	Decimal	Start motor bomba 2 tanque licor filtrado
STOP_MP0401_1	Local:1:I.Data.2	BOOL	Decimal	Stop motor bomba 1 tanque licor filtrado
STOP_MP0401_2	Local:1:I.Data.6	BOOL	Decimal	Stop motor bomba 2 tanque licor filtrado
TERM_MP0401_1	Local:1:I.Data.3	BOOL	Decimal	Termico motor bomba 1 tanque licor filtrado
TERM_MP0401_2	Local:1:I.Data.7	BOOL	Decimal	Termico motor bomba 2 tanque licor filtrado

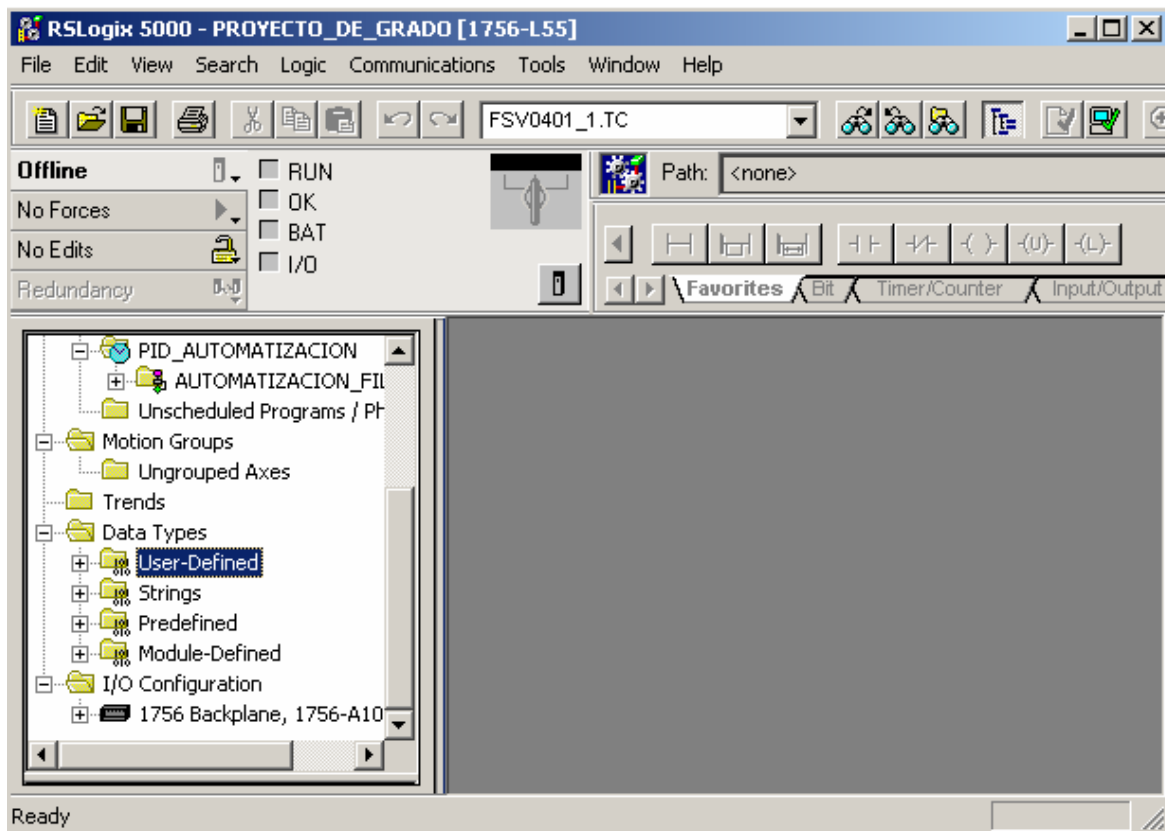
Otra de las ventajas que tiene el RSLogix 5000 es que el usuario puede crear sus propios tipos de datos.

Para este proyecto se crearon dos tipos de datos: MOTOR, VÁLVULA_ON_OFF.

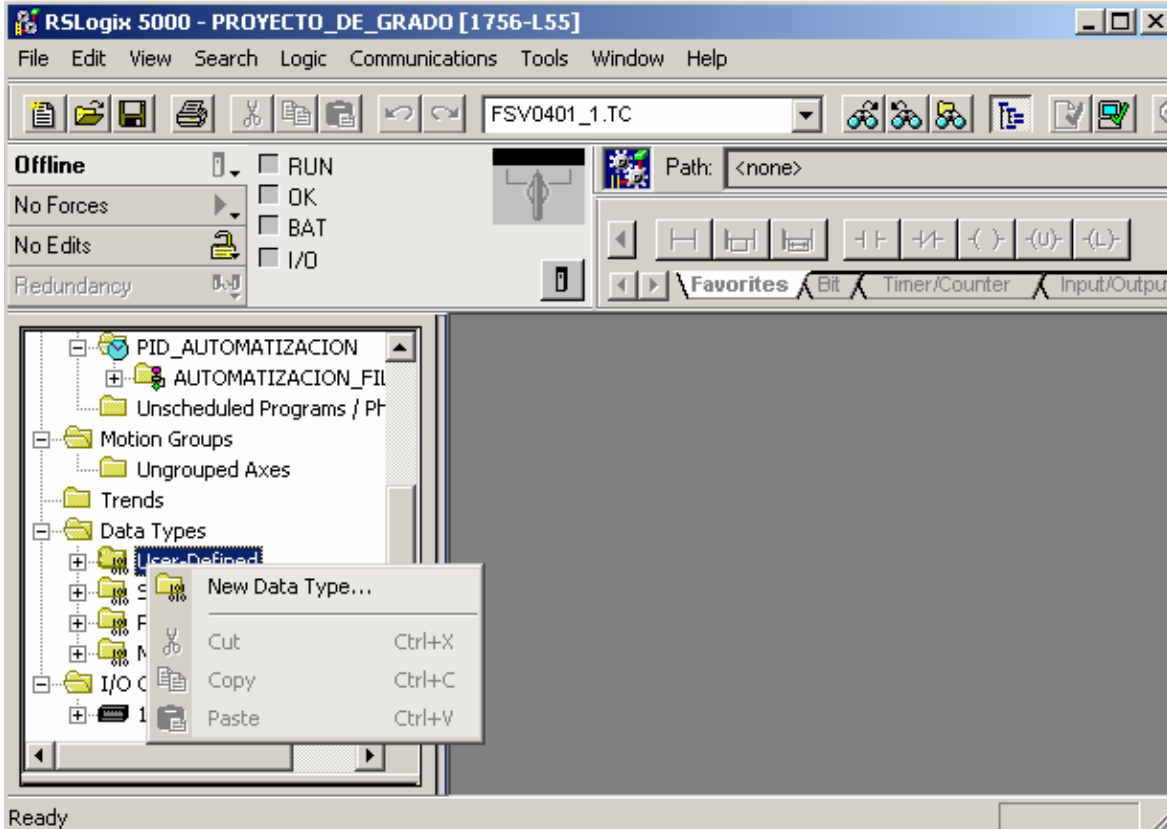
El crear un tipo de dato por el usuario facilita la organización de los tags.

1.1.12 Crear tipo de dato por el usuario.

- **Paso 1.** Se debe dar clic sobre Data Types.



- **Paso 2.** Se da clic derecho sobre User-Defined y se escoge New Data Type



- **Paso 3.** Se le coloca el nombre al tipo de dato principal, en este caso se llamara MOTOR y se crean los nuevos miembros que pertenecerán a este. Con estos datos agrupados se le da un orden a los Tags para facilitar la programación.

Se crea otro tipo de dato de usuario el cual se llamara VALVULA_ON_OFF, se realizan los mismos pasos que el anterior.

RSLogix 5000 - PROYECTO_DE_GRADO [1756-L55]* - [Data Type: MOTOR]

File Edit View Search Logic Communications Tools Window Help

FSV0401_1.TC

Offline

No Forces

No Edits

Redundancy

Path: <none>

Name: MOTOR

Description:

Members:

Data Type Size: 4 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Start	BOOL	Decimal	
Stop	BOOL	Decimal	
man_auto	BOOL	Decimal	
princ_aux	BOOL	Decimal	

Move Up Move Down OK Cancel Apply Help

Ready

RSLogix 5000 - PROYECTO_DE_GRADO [1756-L55]* - [Data Type: VALVULA_ON_OFF]

File Edit View Search Logic Communications Tools Window Help

FSV0401_1.TC

Offline

No Forces

No Edits

Redundancy

Path: <none>

Name: VALVULA_ON_OFF

Description:

Members:

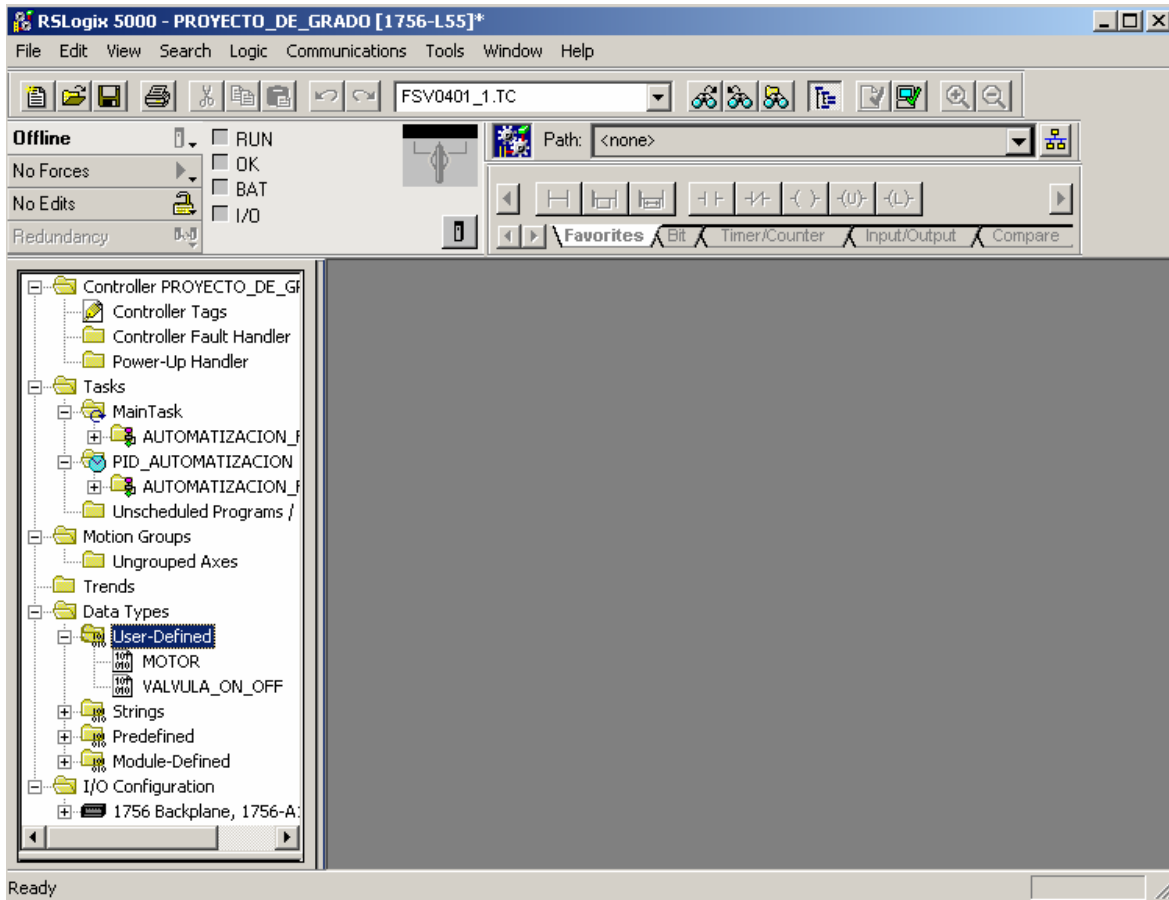
Data Type Size: 28 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
ABRIR	BOOL	Decimal	
CERRAR	BOOL	Decimal	
TA	TIMER		
TC	TIMER		

Move Up Move Down OK Cancel Apply Help

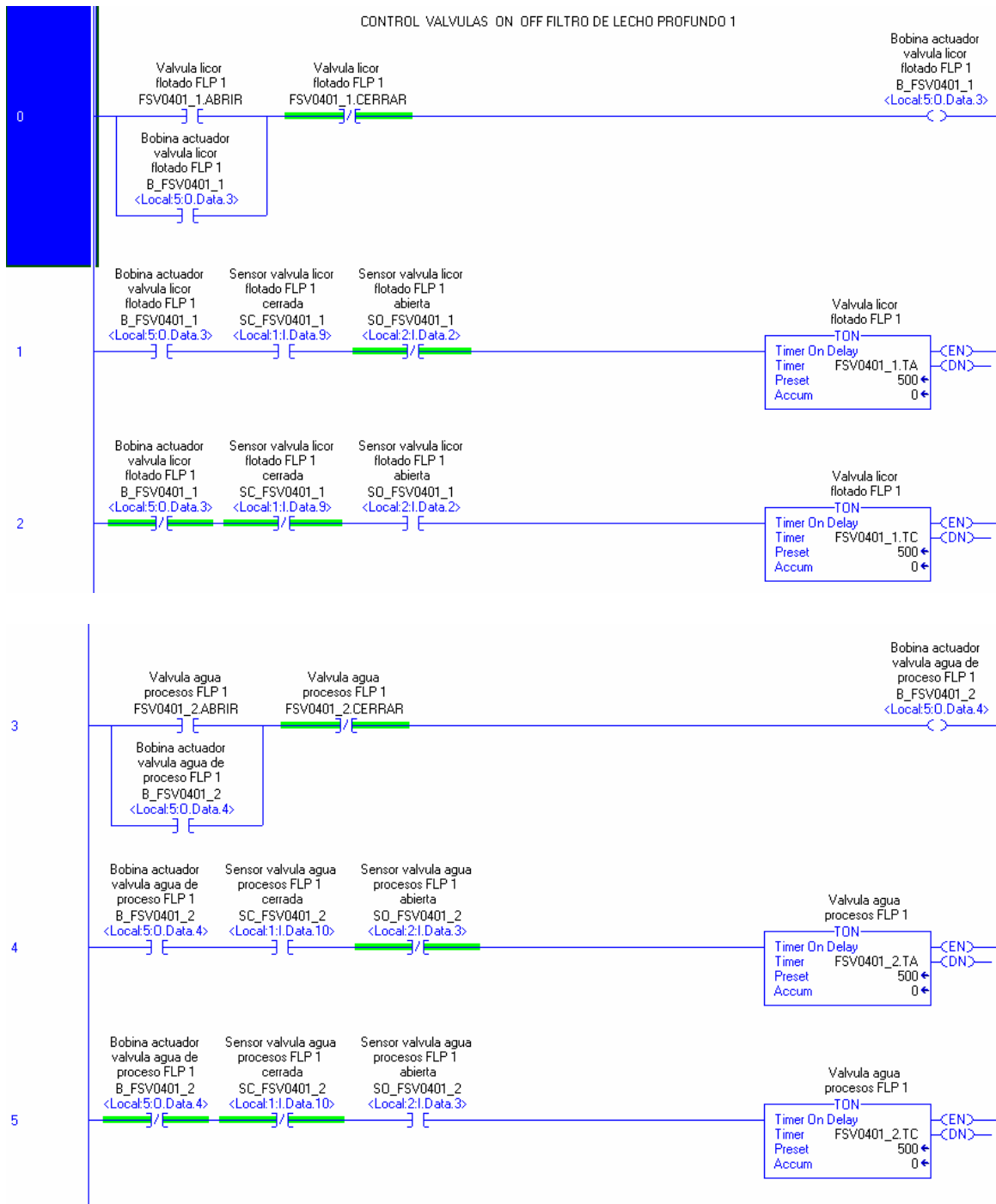
Ready

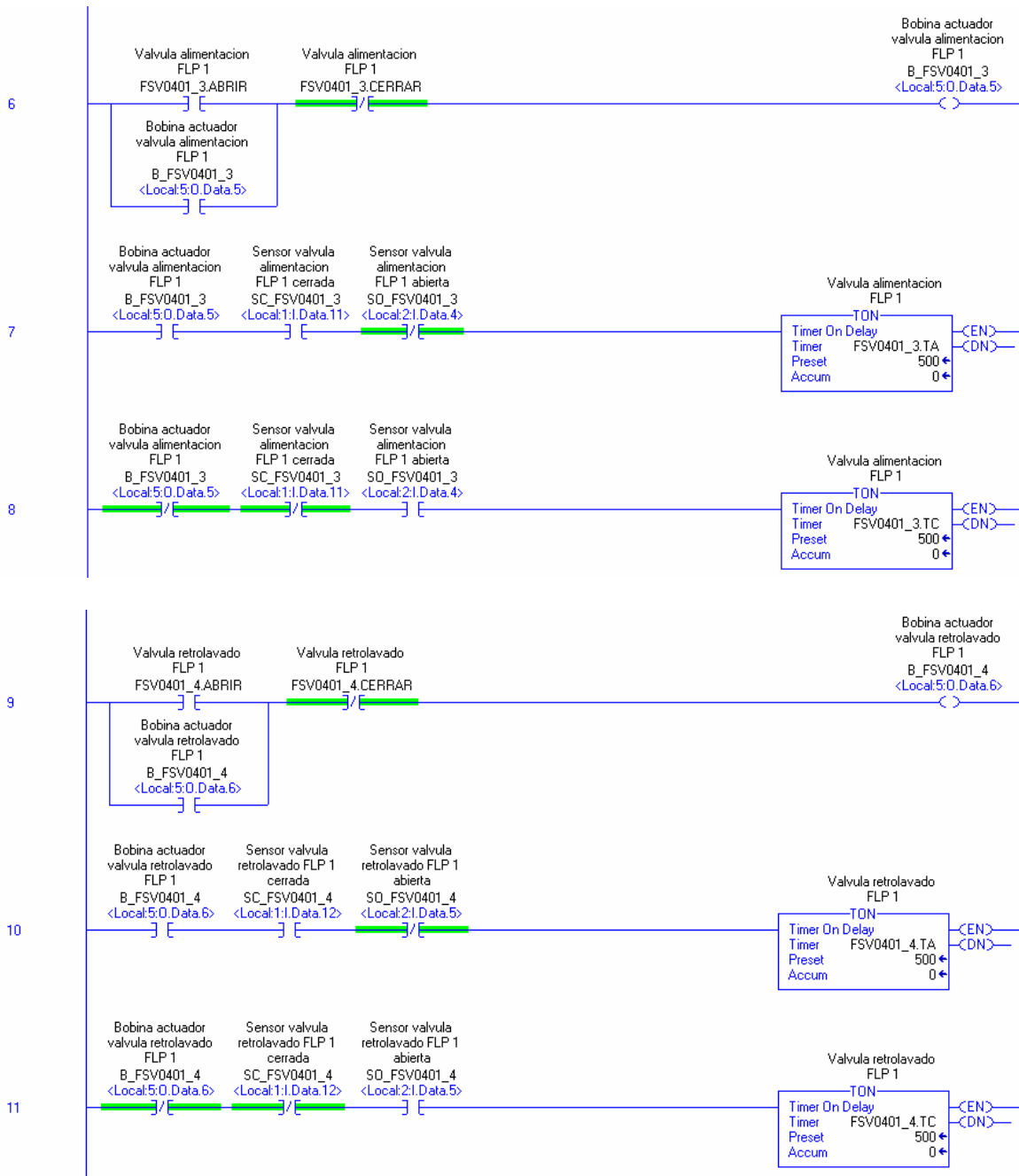
Después de creado los dos tipos de datos del usuario se puede observar la siguiente pantalla.

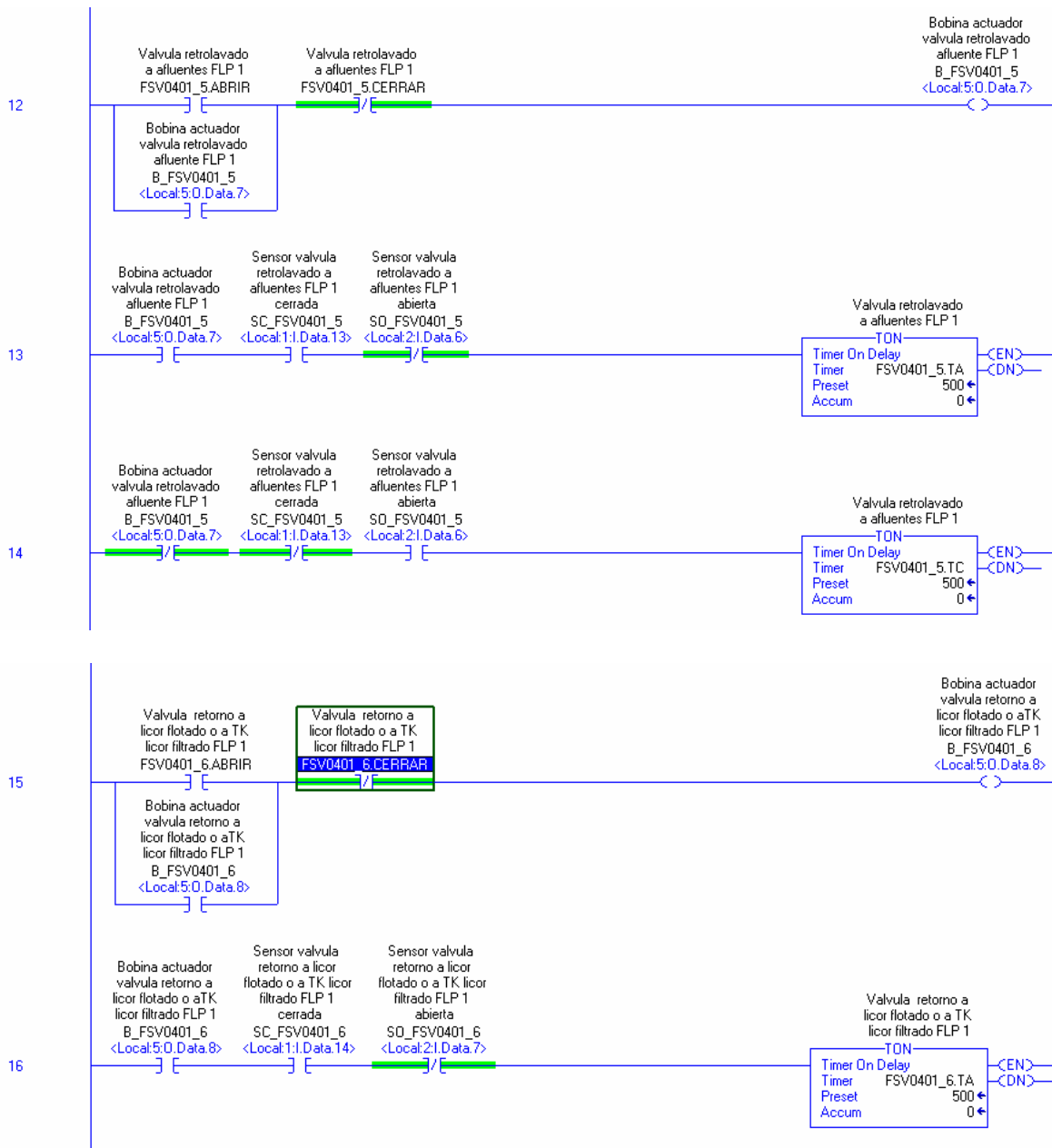


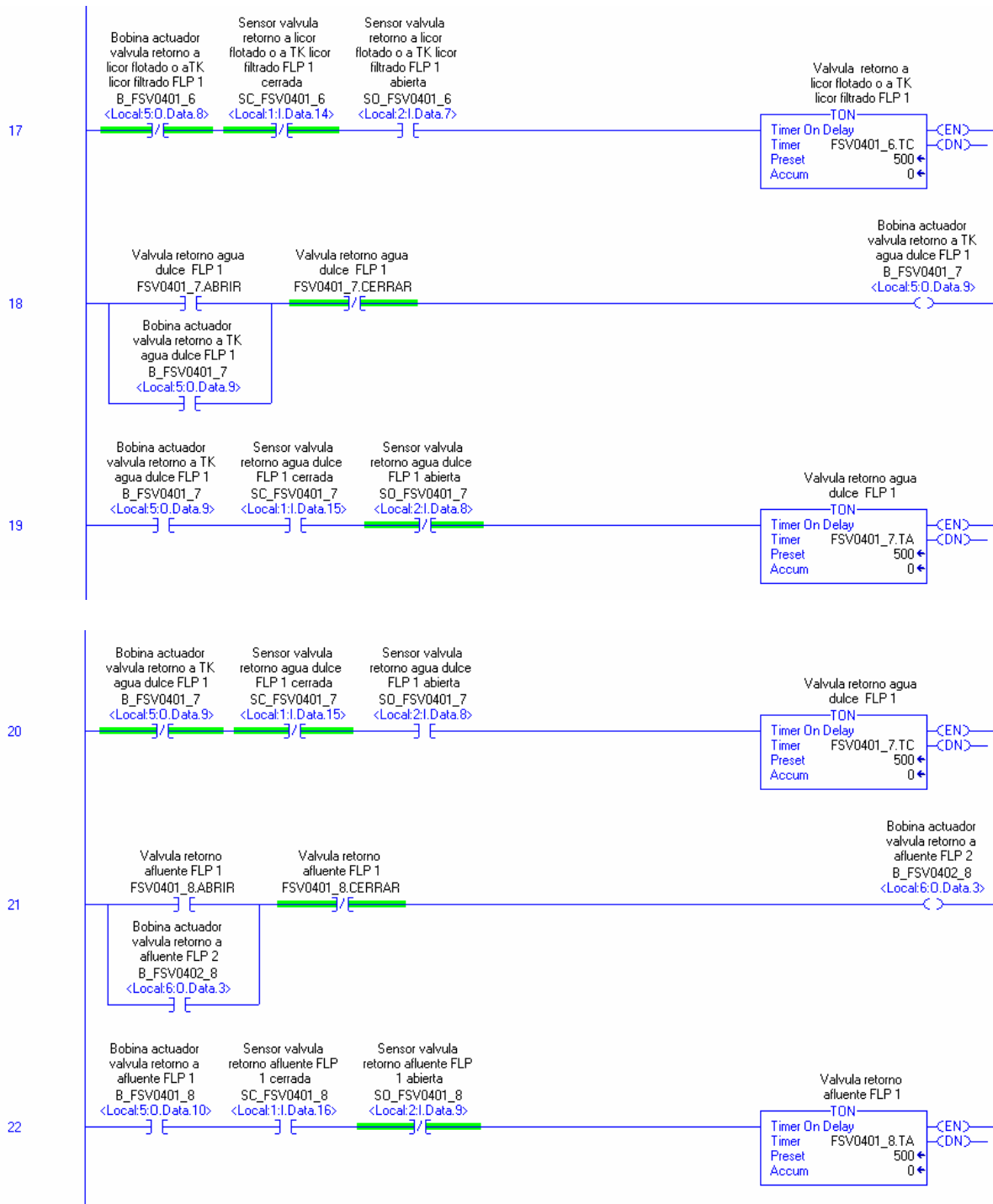
1.1.13 Crear ladder. Después de tener configurado el RSLogix se comienza con la programación del ladder, se da clip sobre la rutina FLP_1 y se comienza a programar.

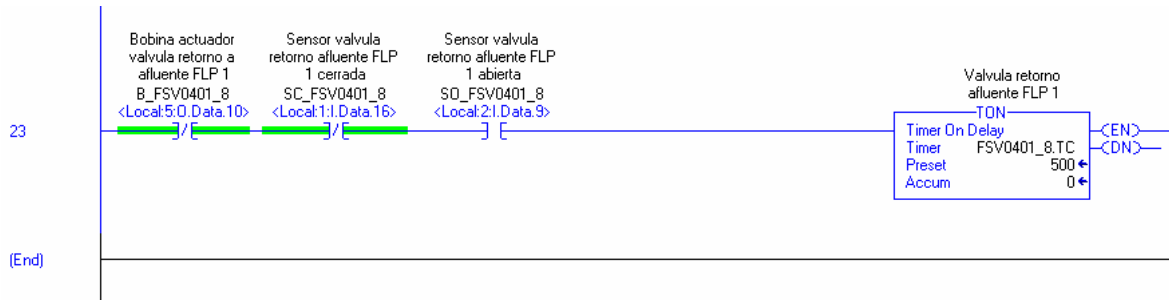
1.1.14 Ladder FLP1.





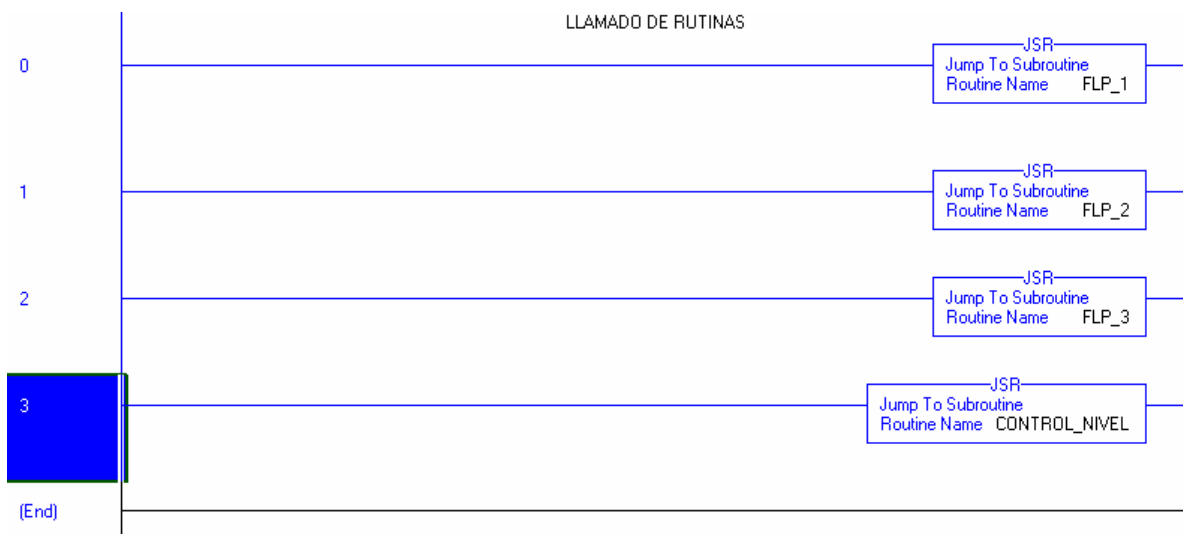






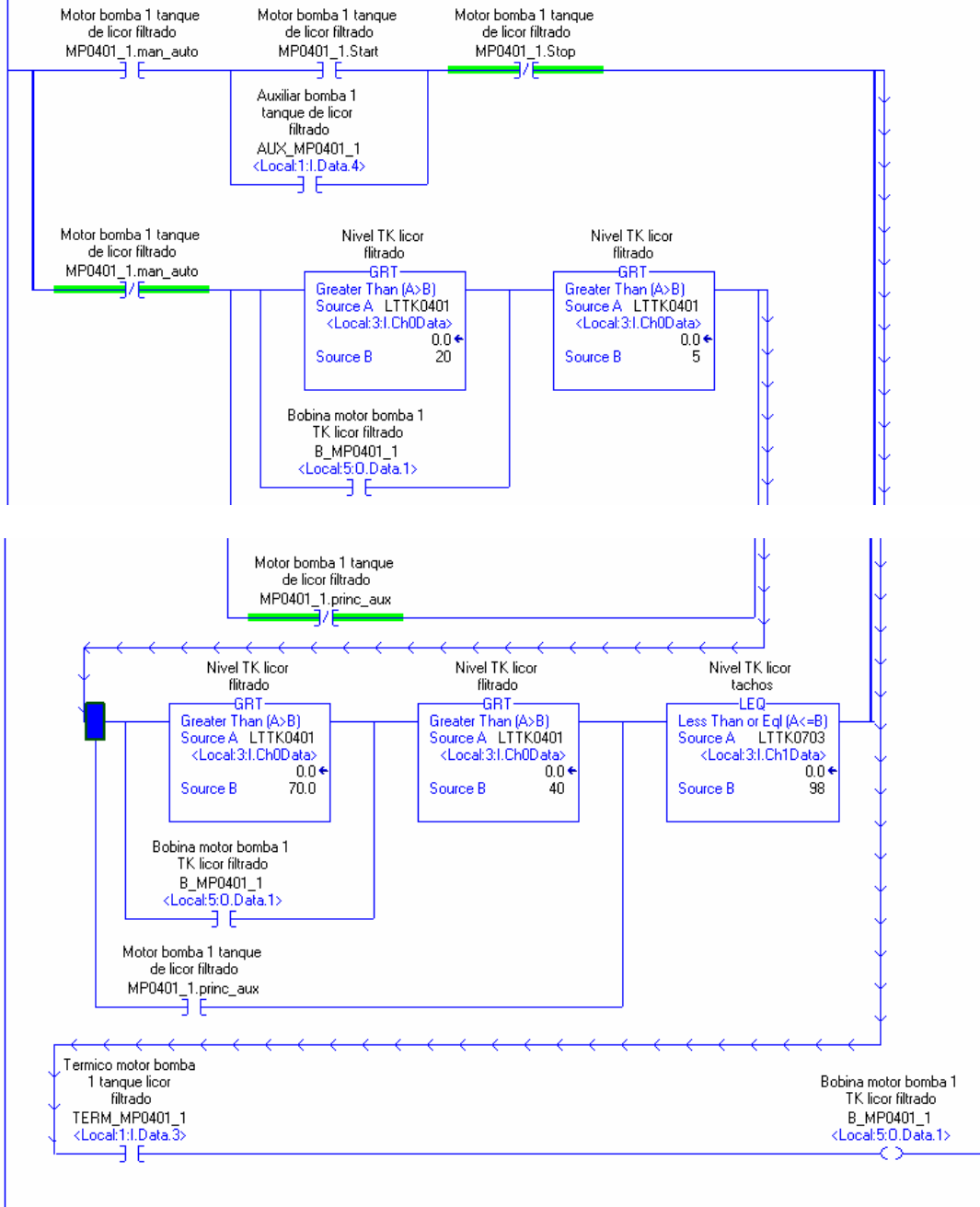
Se realiza lo mismo para el FLP_2, el FLP_3 y el Control de Nivel

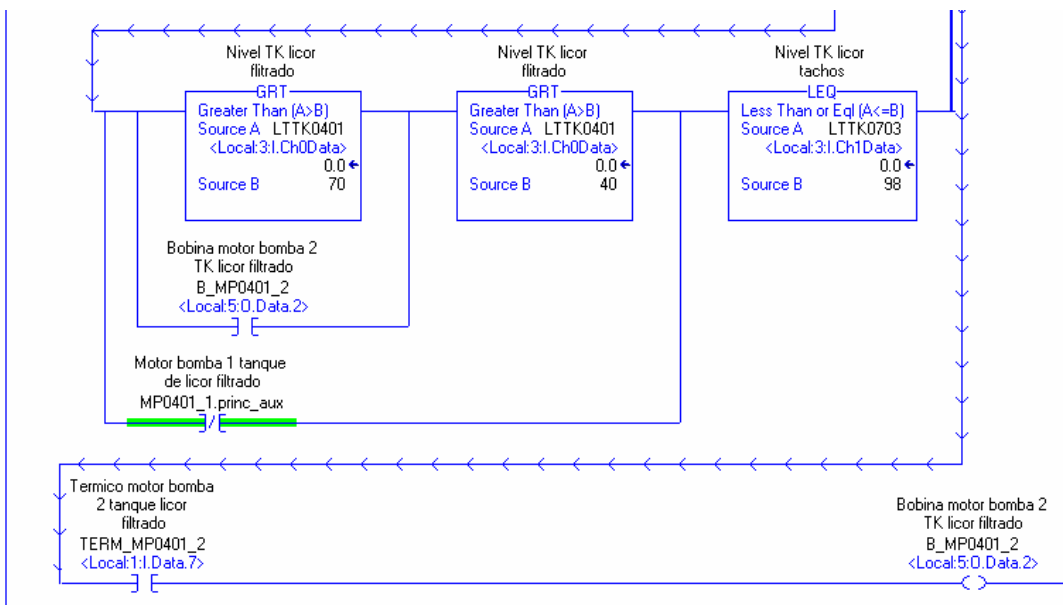
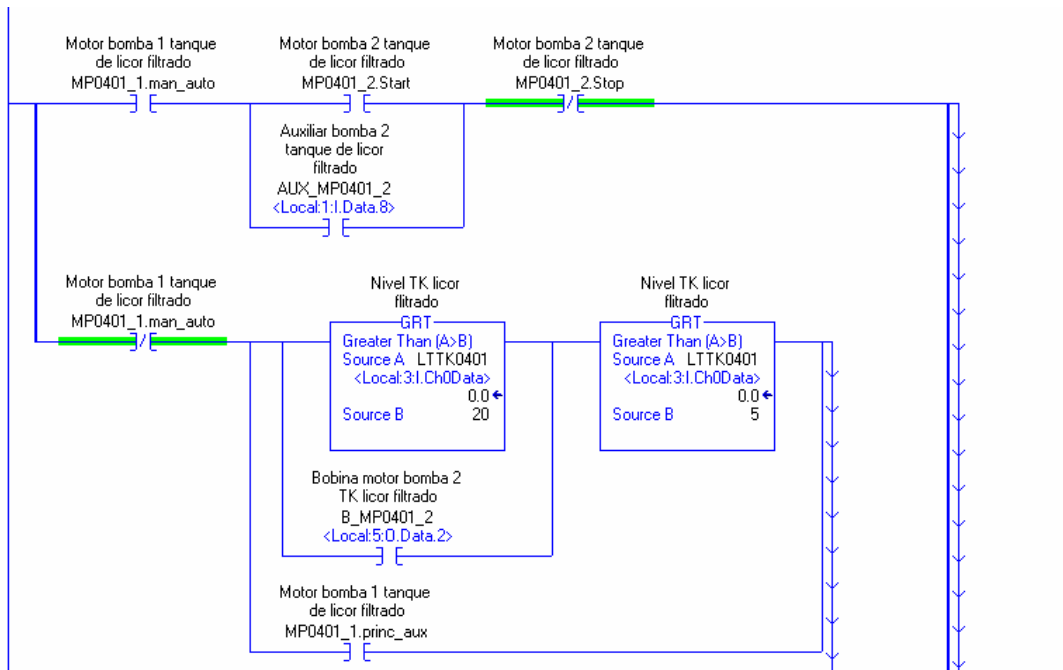
1.1.15 Ladder de la rutina *llamado_de_rutina*.



1.1.16 Ladder de la rutina *control nivel tanques*.

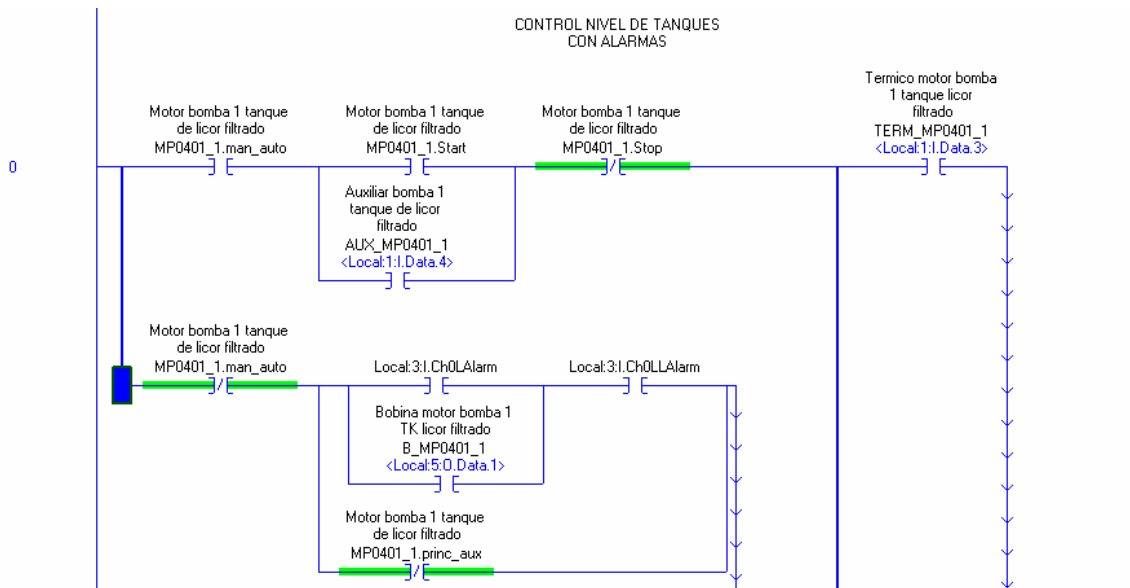
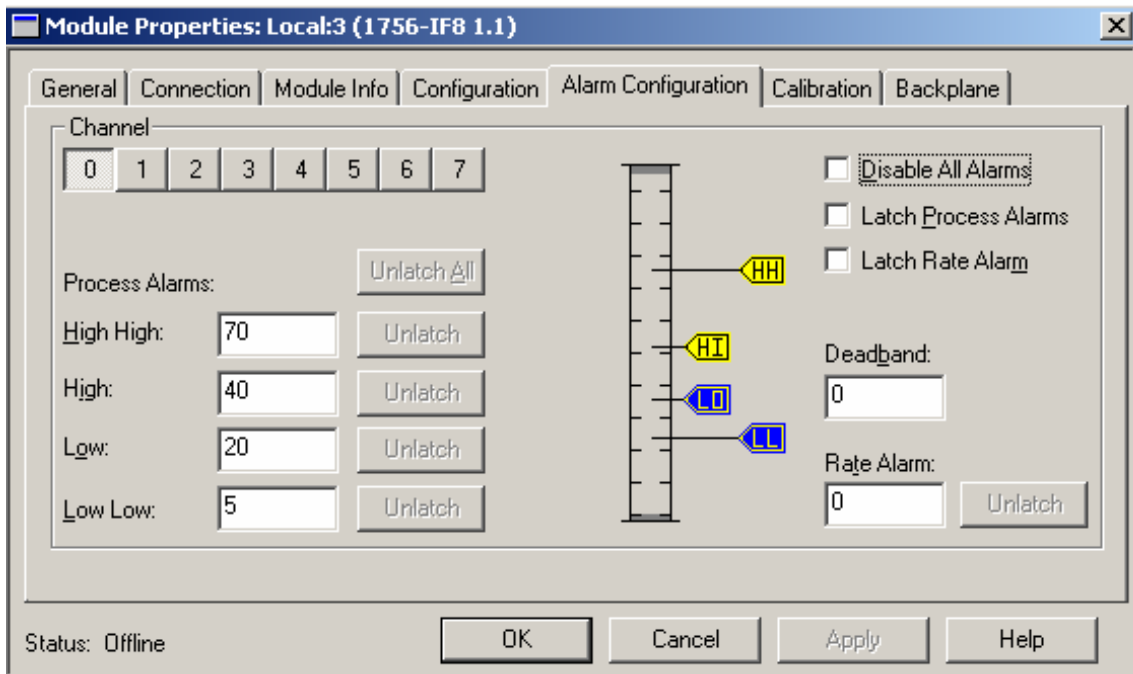
CONTROL NIVEL TANQUES

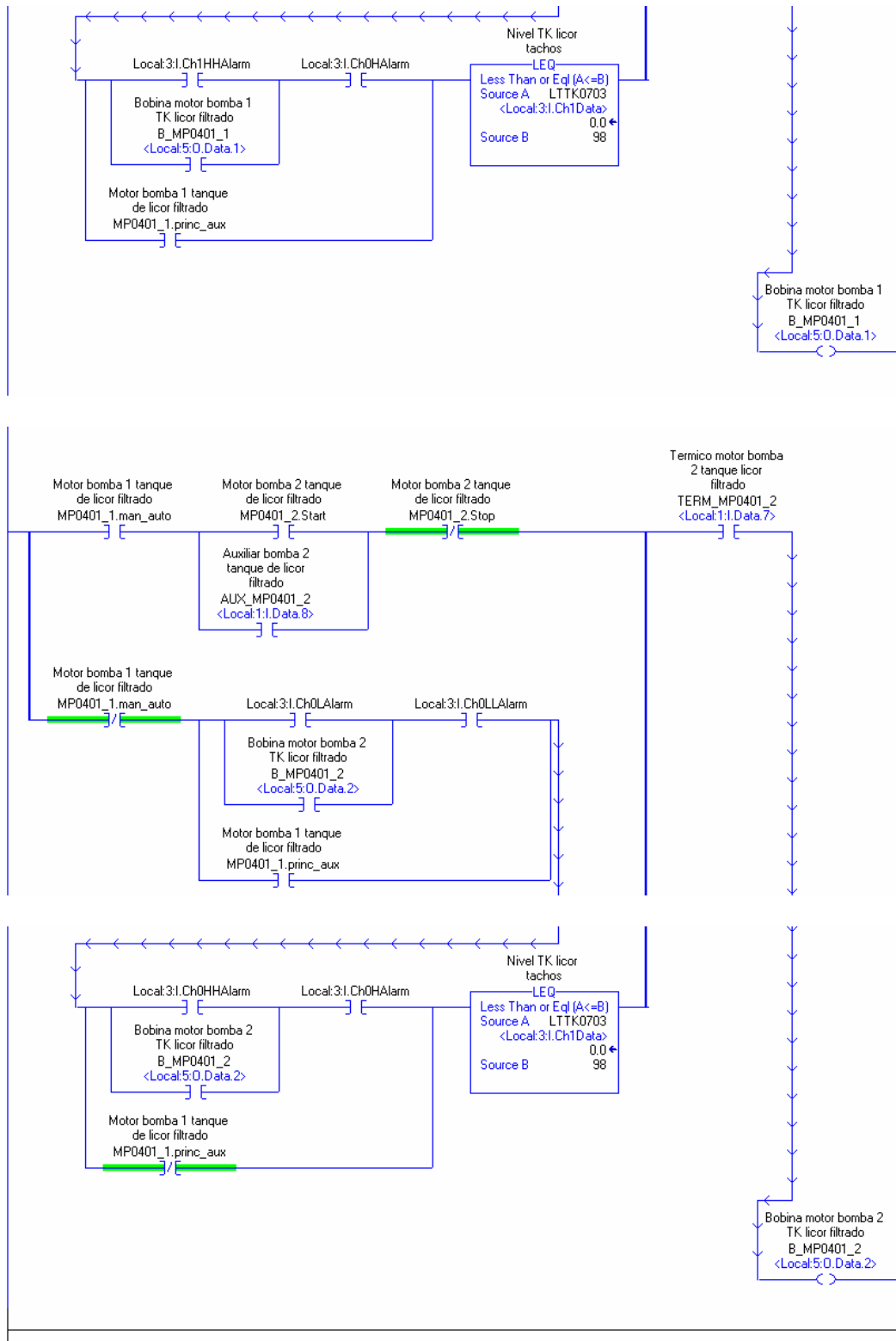




d)

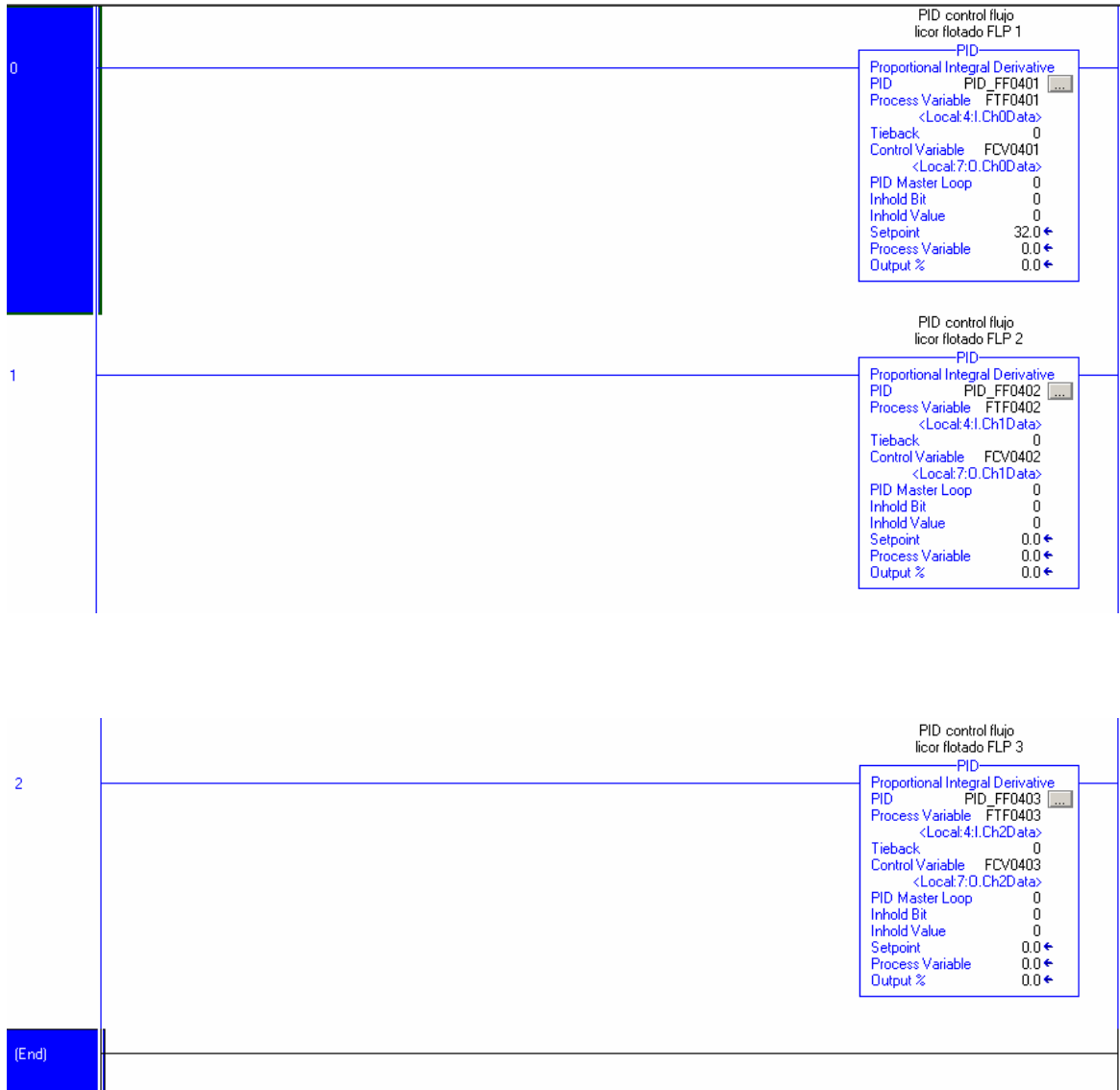
1.1.17 Ladder de la rutina *control de nivel con alarma* (es a modo de ejemplo).



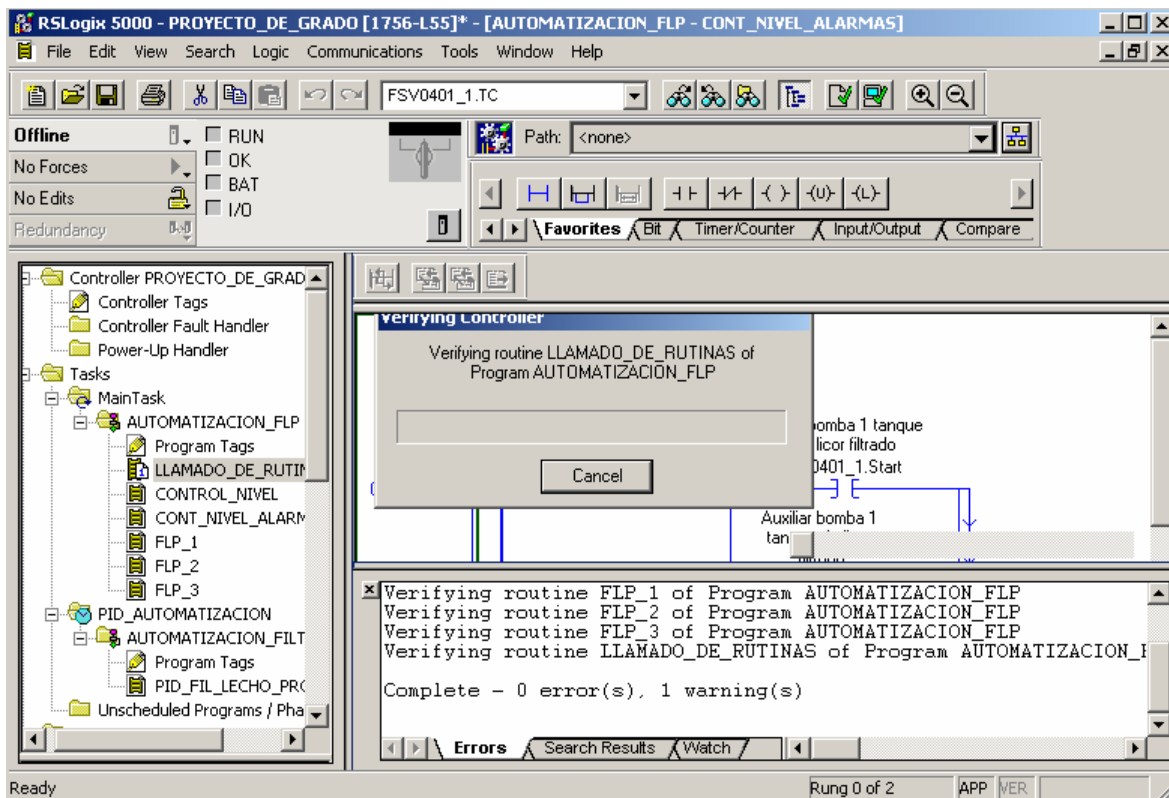


1.1.18 Ladder de la rutina *PID_FIL_Lecho_Profundo*

Pertenece a la tarea periódica.



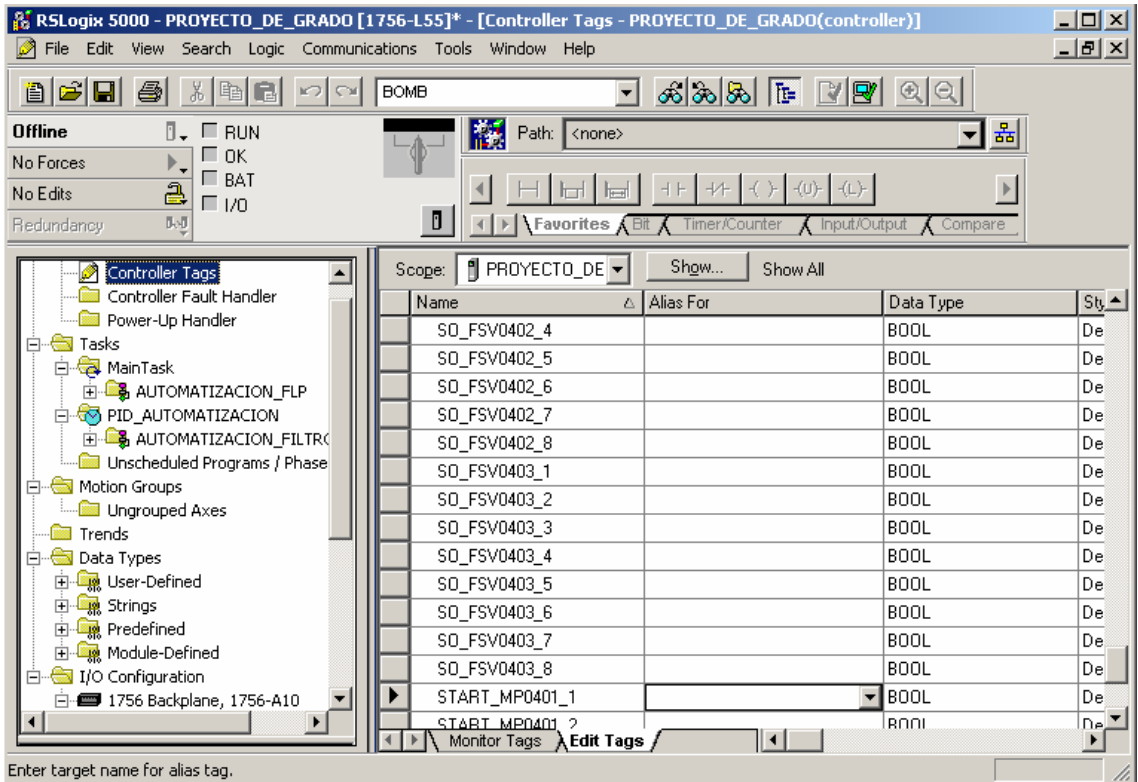
1.1.19 Compilación del ladder. Después de realizar el ladder se realiza la compilación para conocer los posibles errores que pueda tener.



1.1.20 Direccionamiento. Se explica como se realiza el direccionamiento de los Tags.

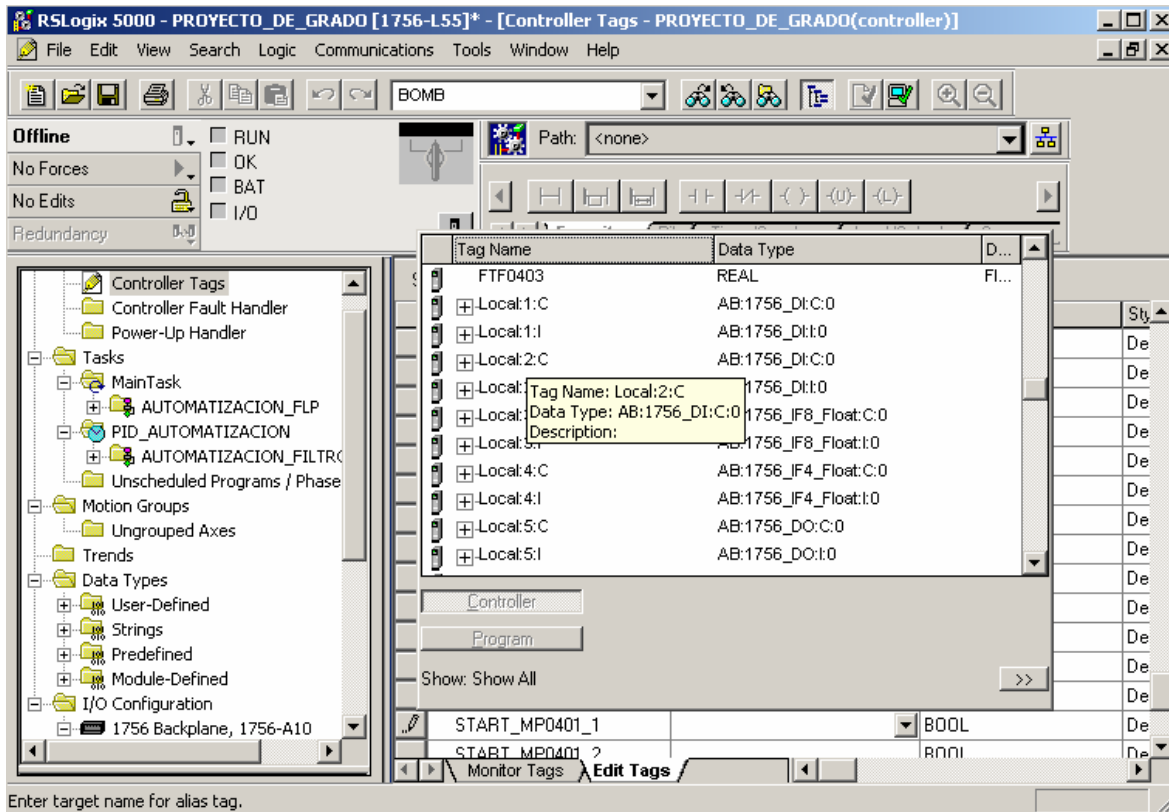
Esto se puede realizar después de tener programadas las rutinas.

- **Paso 1.** Se da clip al frente del nombre al cual se le asignara un alias o dirección del modulo.



- **Paso 2.** Se escoge el tipo de modulo al que se le va utilizar las señales. Ejemplo: se va a direccionar el start del motor de la bomba 1 del tanque de nivel, se requiere de una entrada digital.

Se escoge el modulo de entradas digitales que en este caso esta ubicado en la posición uno. El nombre que le asigna el programa al modulo es el siguiente: Local 1: C y Local 1: I.

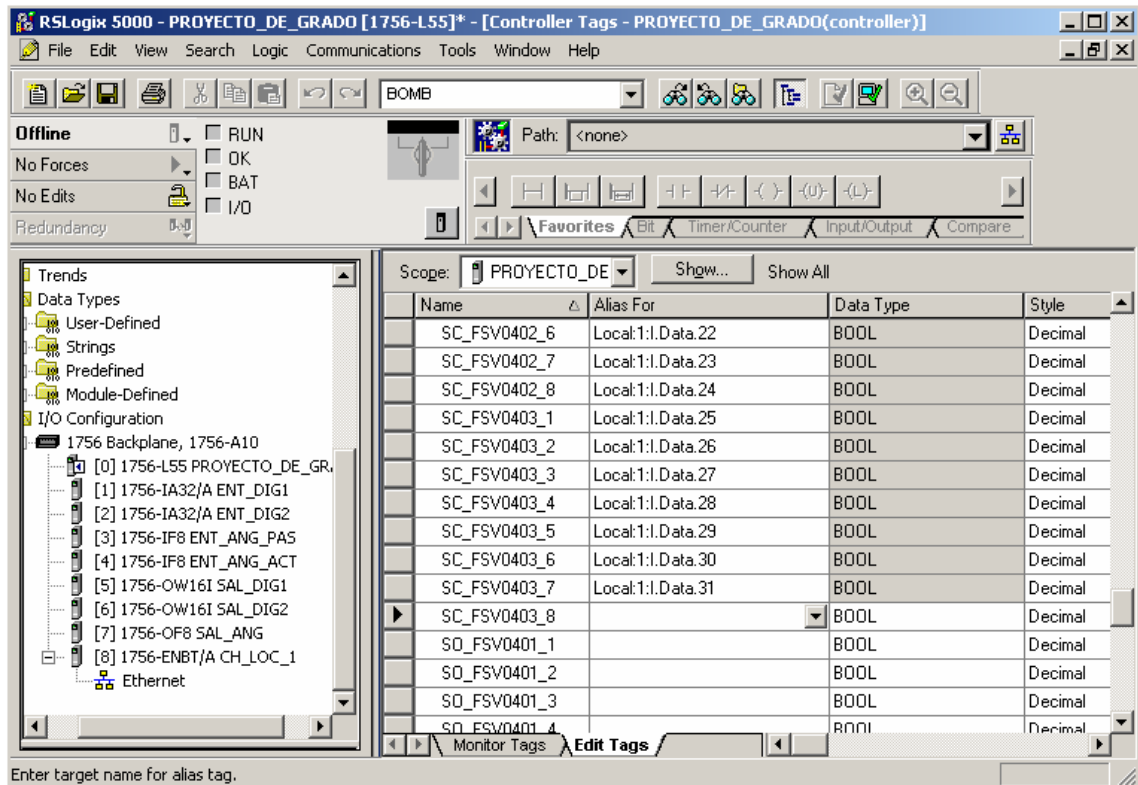
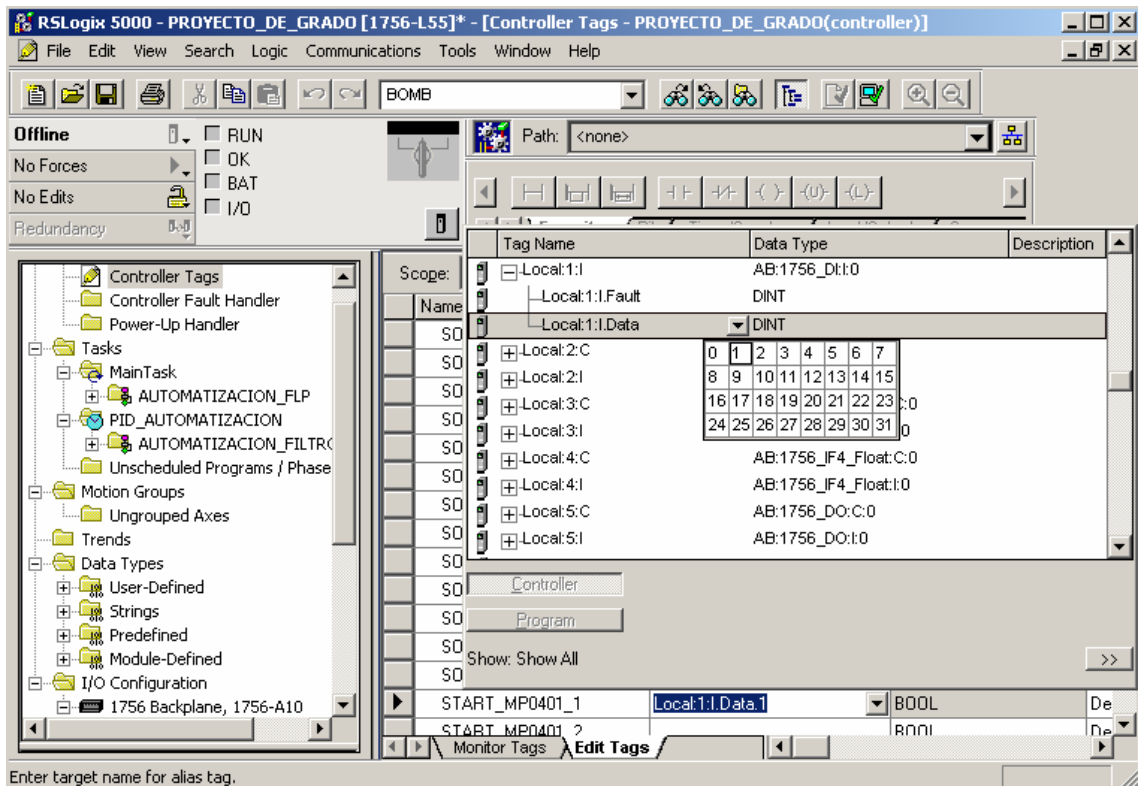


Se debe ingresar por Local 1: I, luego se escoge Local 1: I: Data donde se muestran todas las entradas que tiene el módulo.

Dependiendo del orden que se le quiera dar a los tags, a si mismo se escoge la entrada del modulo que se desea usar.

Se realizan los mismos pasos para escoger las demás entradas que se requieren.

El direccionamiento de todos los módulos es muy similar.

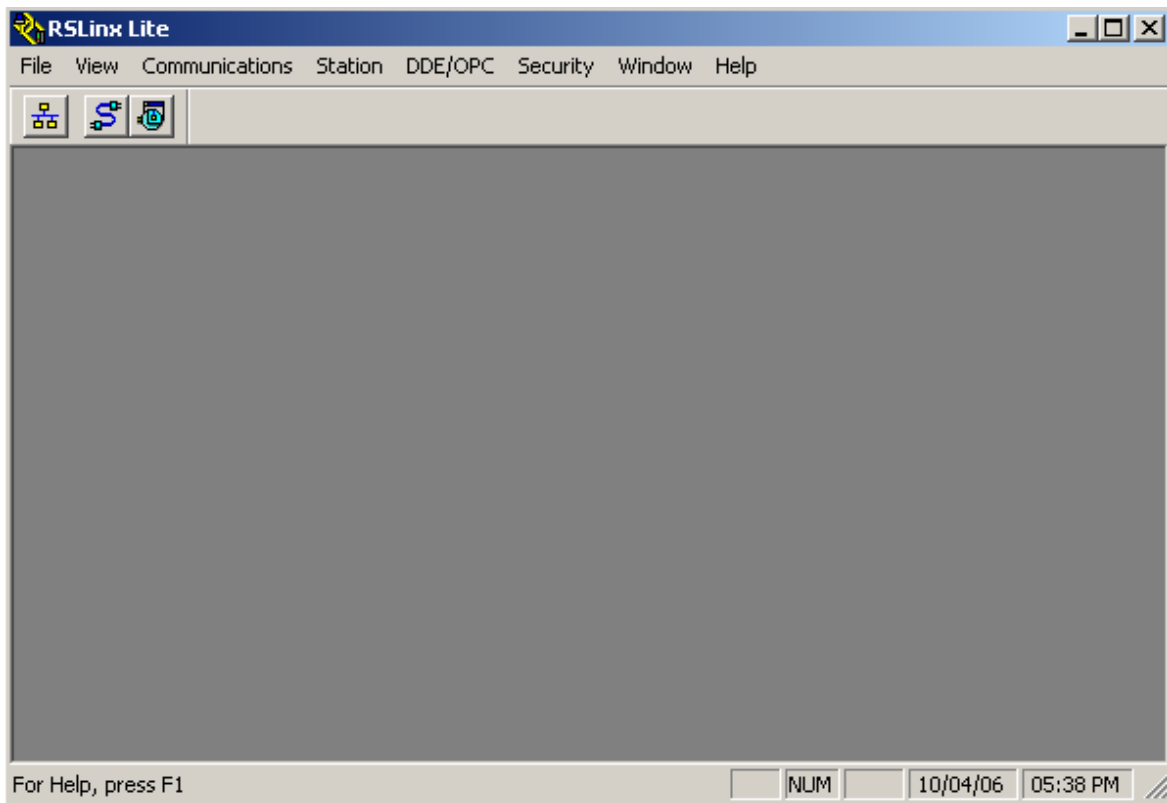


1.2 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE RSLINX LITE

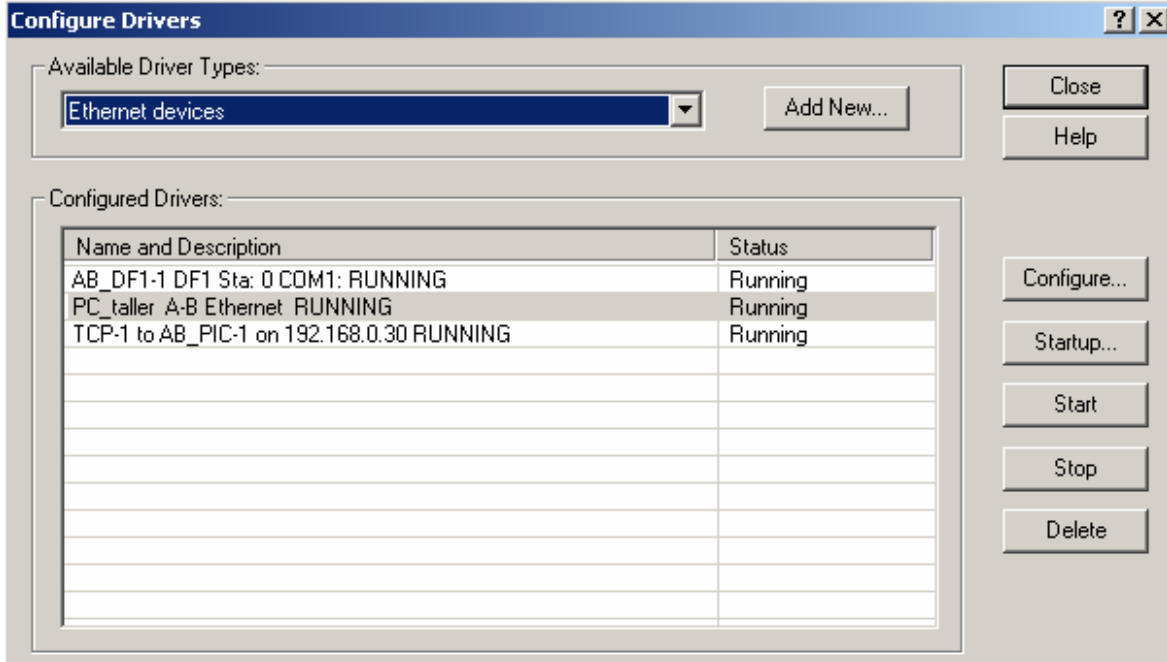
Este software es el encargado de hacer la comunicación con el PLC y poder actualizar el firmware del procesador.

También se utiliza para crear tópicos los cuales son utilizados por el software de RSView para poder realizar la comunicación del PLC con el supervisor de control.

- **Paso 1.** Se abre el software de RSLinx.



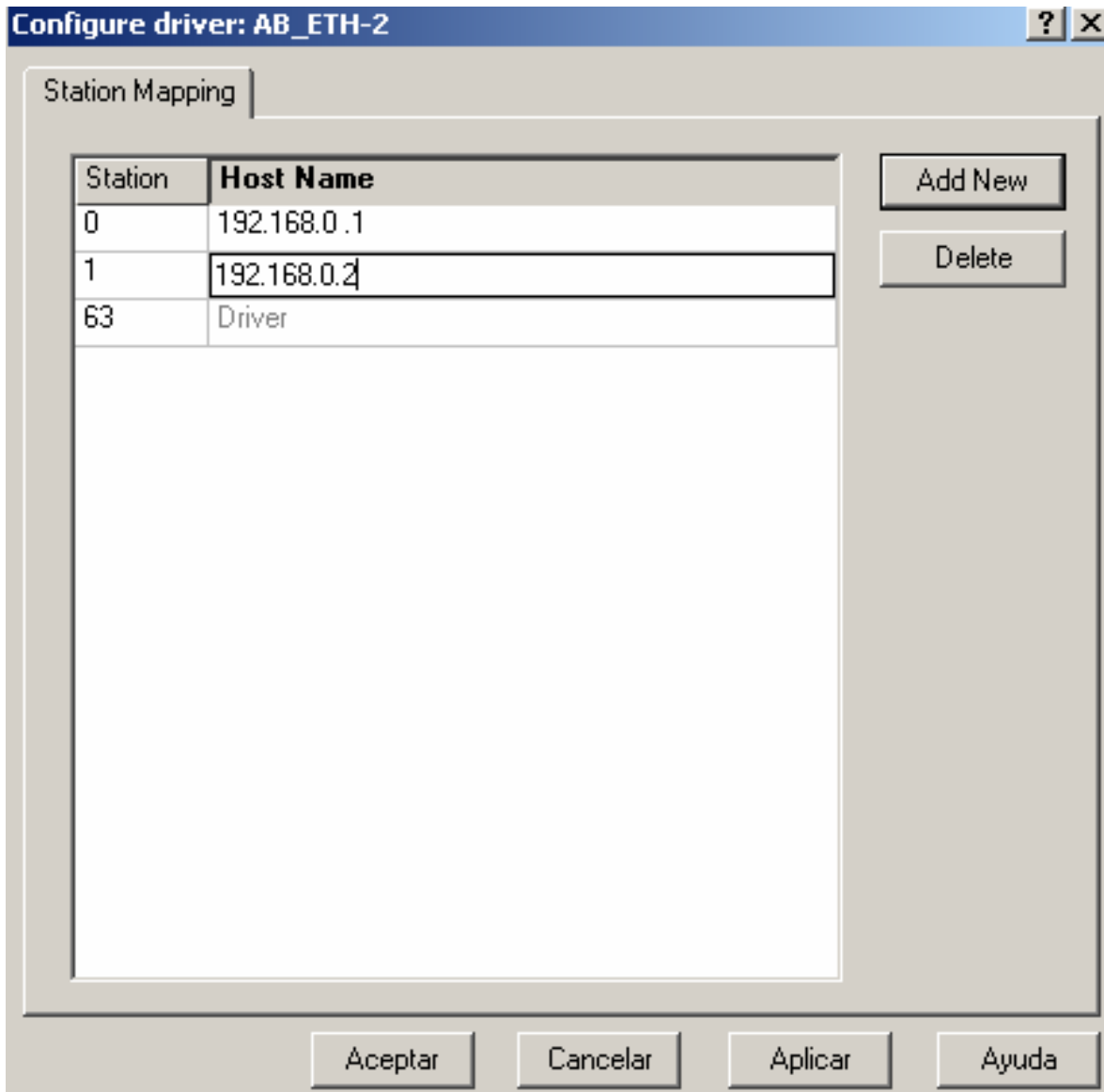
- **Paso 2.** Se da clic sobre Communications y Configure driver. Se escoge el tipo de red por donde se realizara la comunicación.



- **Paso 3.** Se da clic en Add New. Se le asigna una dirección IP al modulo y al computador que servirá de supervisorio.

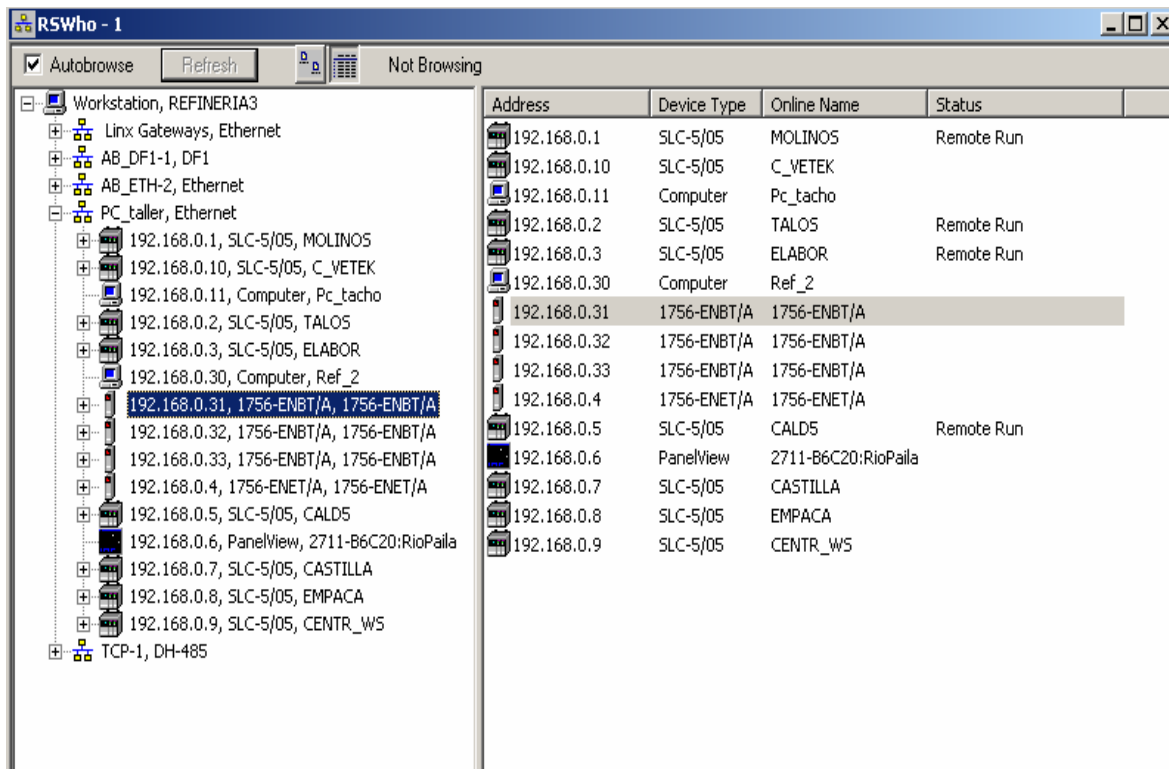
Luego se da clic en aceptar que dando configurado el nuevo driver.

Si se desean ingresar más equipos o dispositivos en la red se deben de ingresar sus respectivas direcciones IP (figura x).



- **Paso 4.** Se abre RSWho para observar los driver que se han creado.

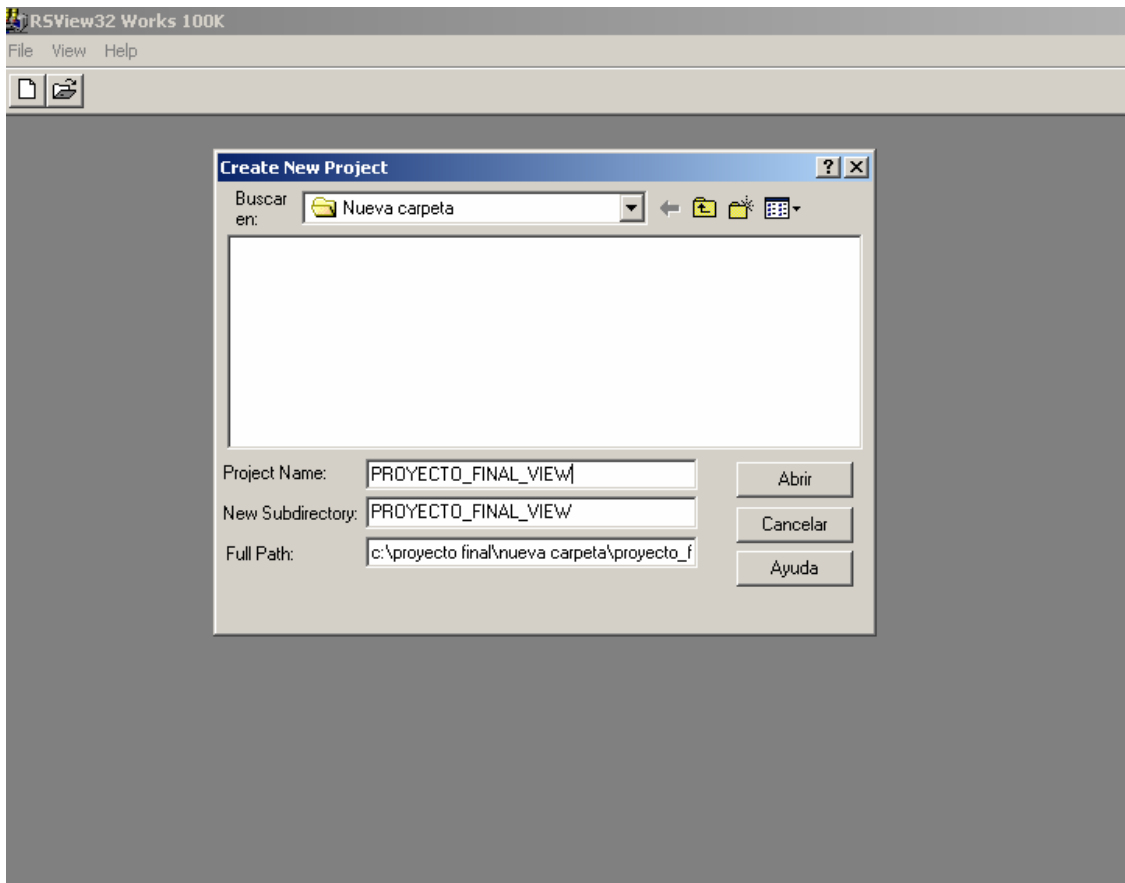
En la siguiente pantalla se observan que existen varios driver configurados, debido a que se está utilizando la red de la empresa.



1.3 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE RSVIEW

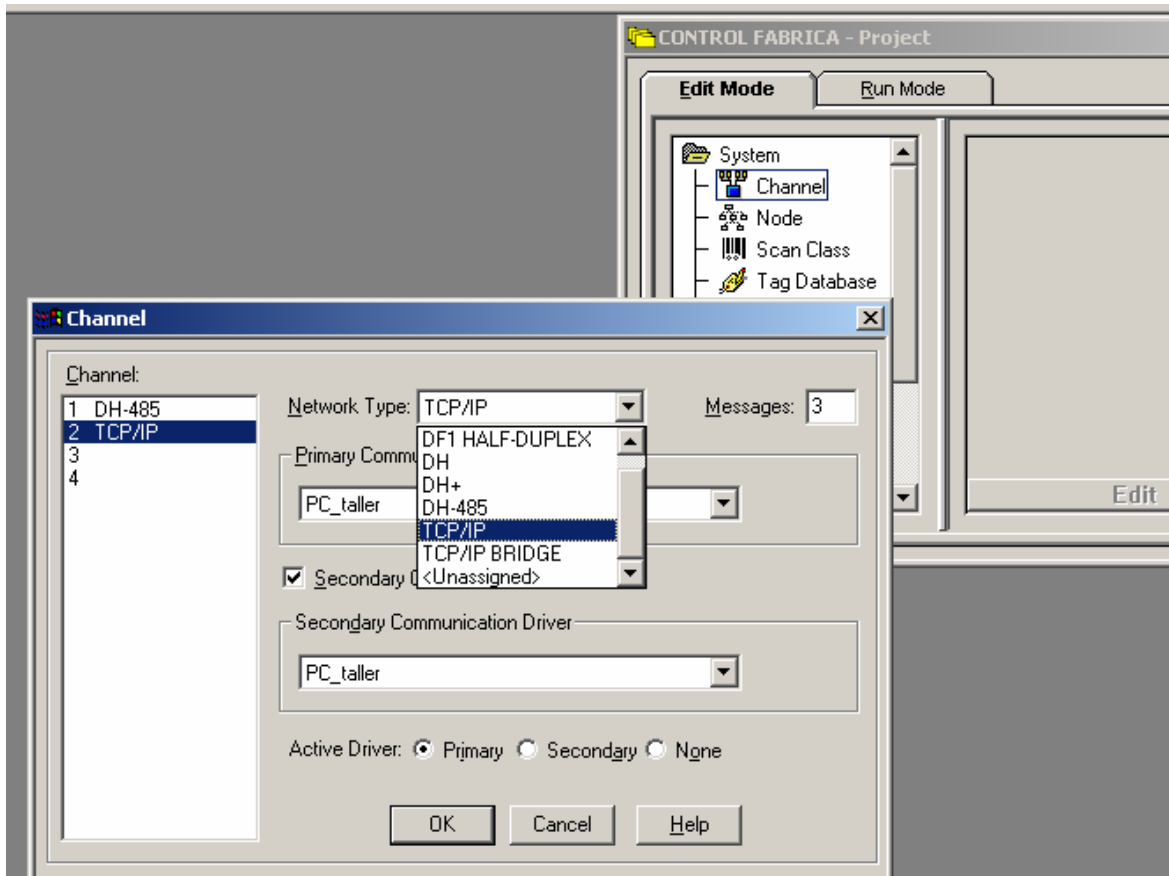
Este software sirve para crear las pantallas con las cuales se pueden visualizar y controlar el proceso.

- **Paso 1.** Se abre el software y se crea un nuevo proyecto.

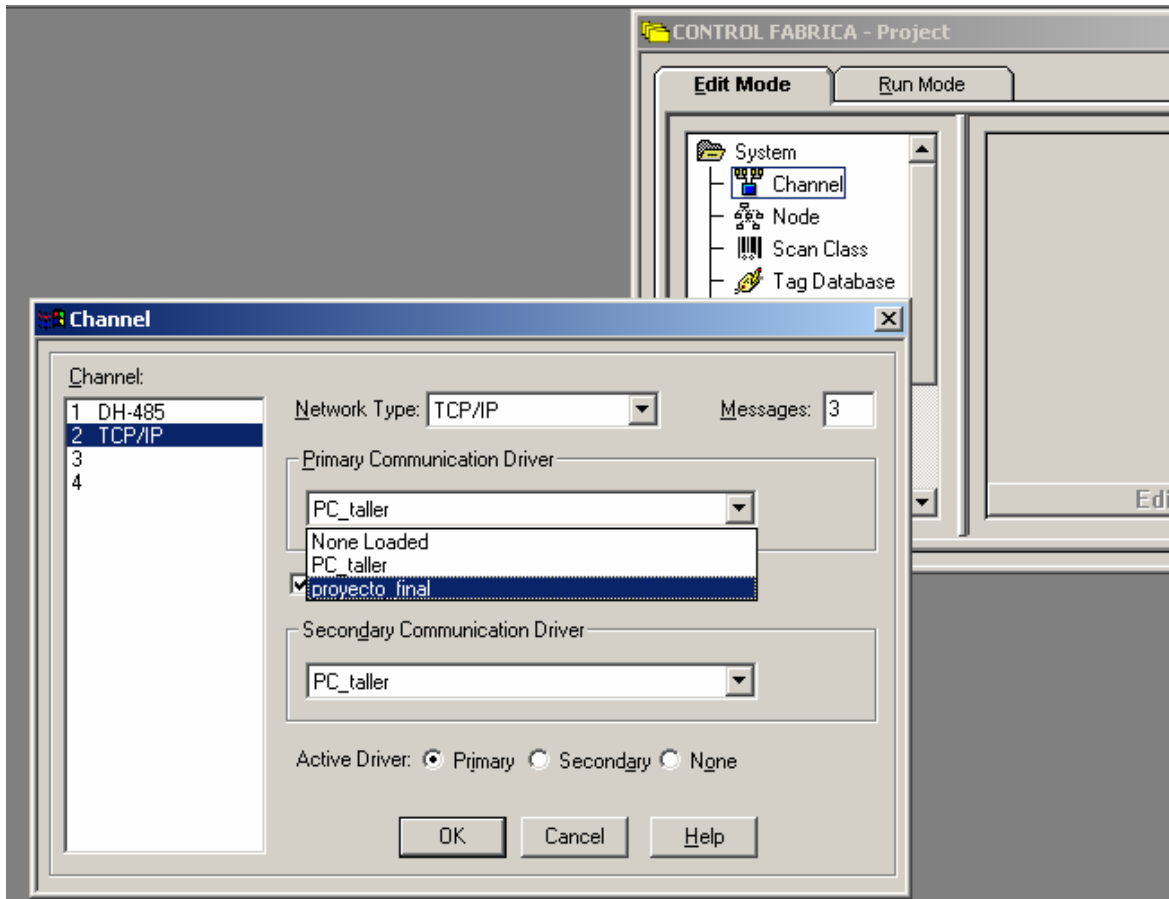


- **Paso 2.** Se ingresa a la carpeta System y luego a la subcarpeta Channel.

En la subcarpeta Channel se escoge el tipo de red con la que se va a trabajar, la cual será la TCP/IP.



- **Paso 3.** Se escoge el nombre del proyecto. Se debe desplegar varios nombres, se escoge el nombre que se le dio en el software RSLinx.



- **Paso 4.** Se ingresa a la subcarpeta Node y se escoge la opción OPC Server. La versión que se está utilizando del RSVIEW no soporta crear los drivers como drivers directos.

Se le coloca al nodo el nombre de FILTROS.

Node

Data Source: Direct Driver OPC Server DDE Server

Name: Enabled

Server:

Name: ...

Type: In-Process Local Remote

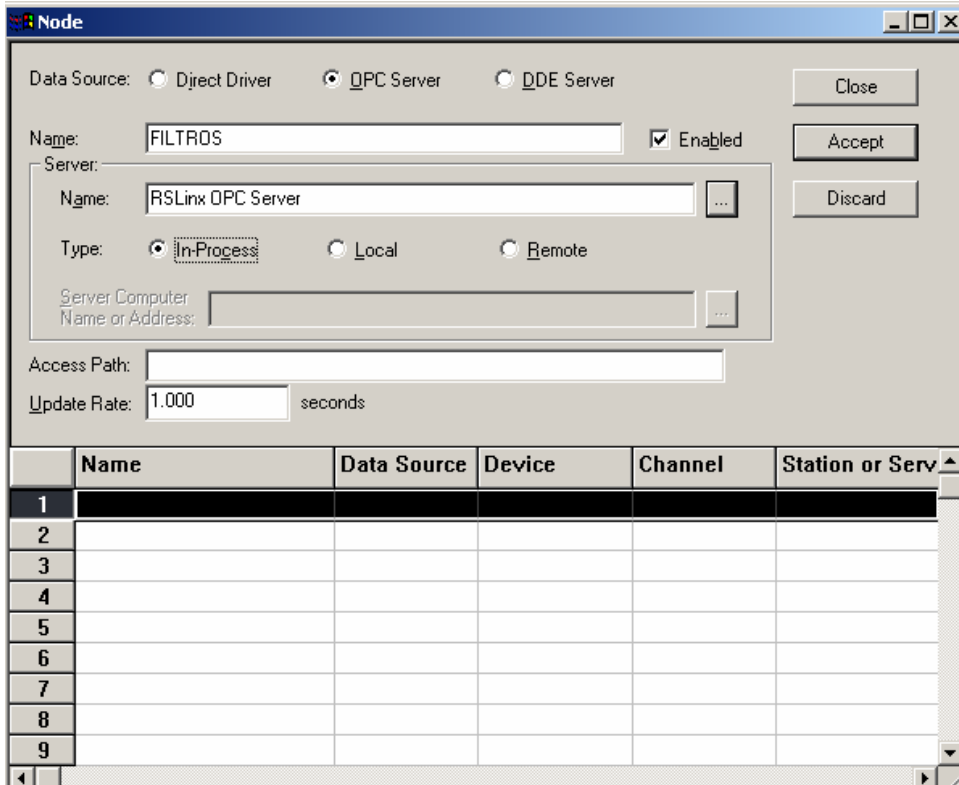
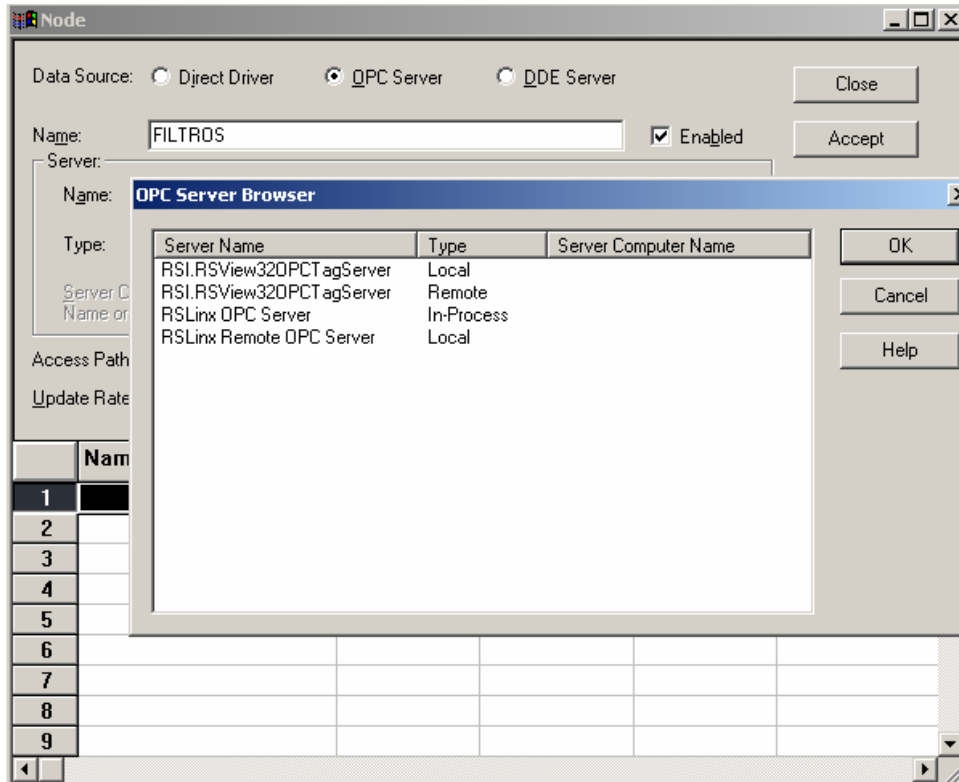
Server Computer Name or Address: ...

Access Path:

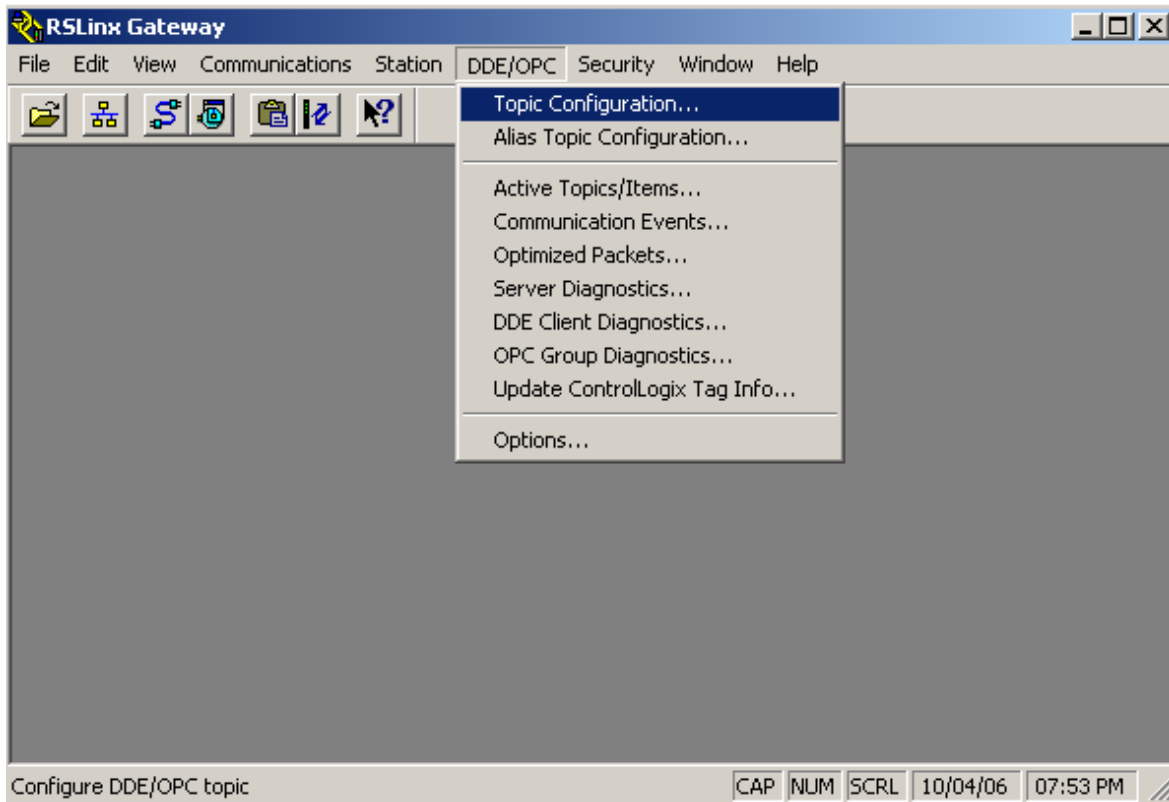
Update Rate: seconds

	Name	Data Source	Device	Channel	Station or Serv
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

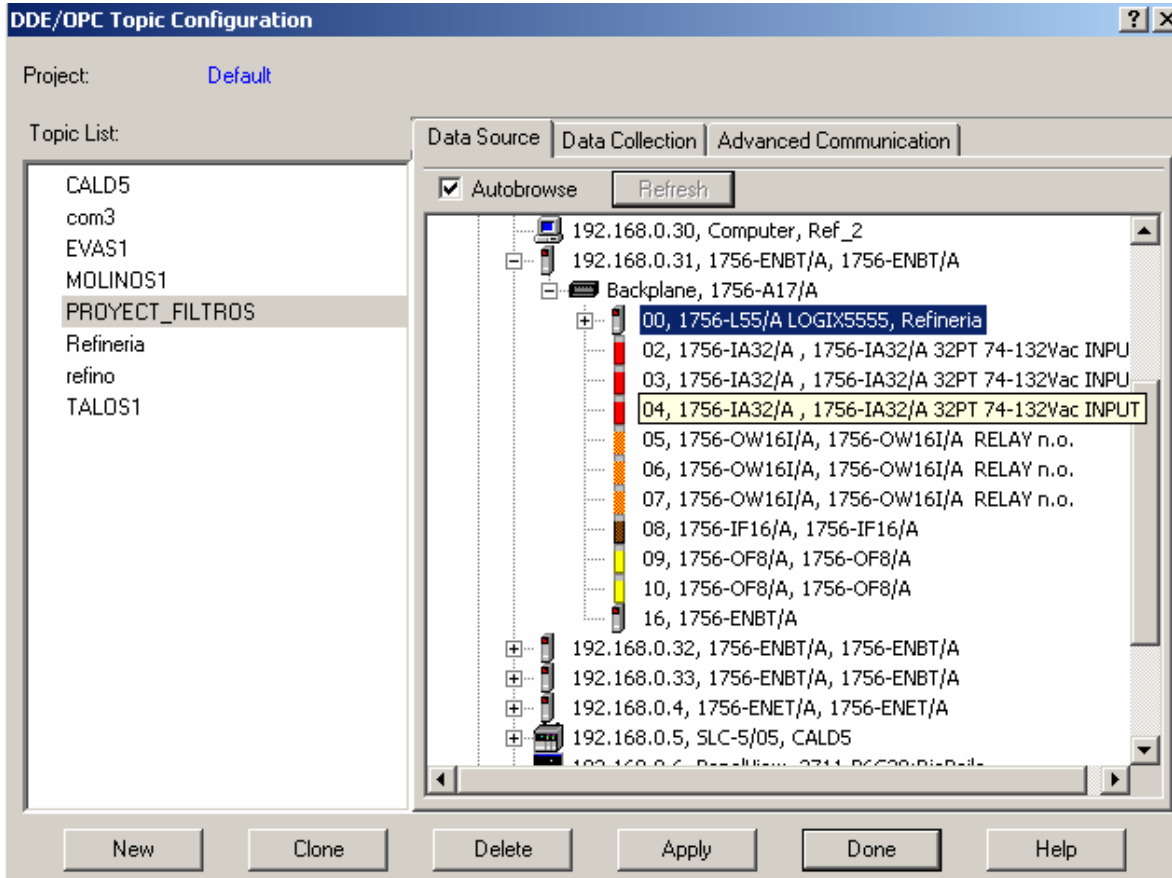
- **Paso 5.** Se seleccionan en la opción Name el RSLinx OPC Server el cual hace la conexión con el RSLinx



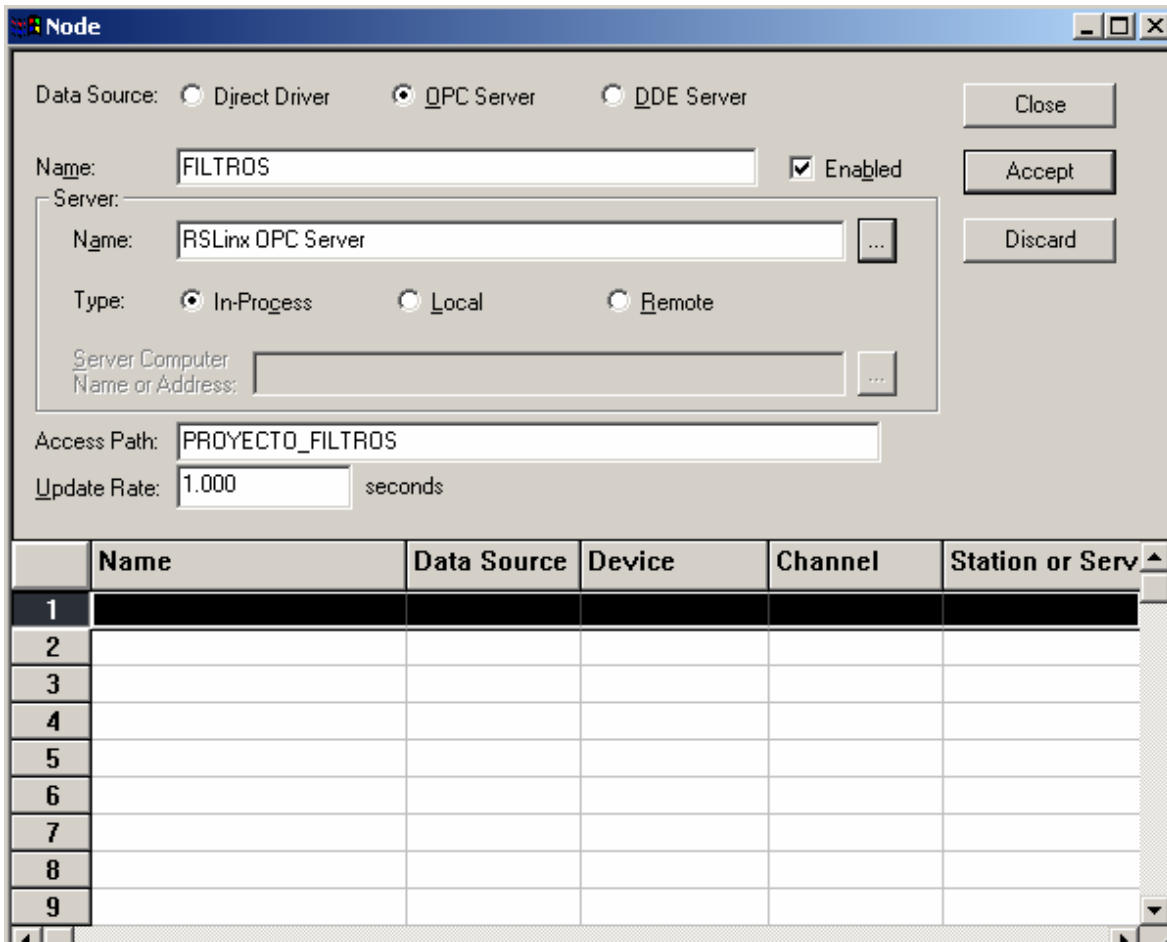
- **Paso 6.** Se ingresa al software de RSLinx y se crea un t3pico con el nombre “PROYECTO_FILTROS”



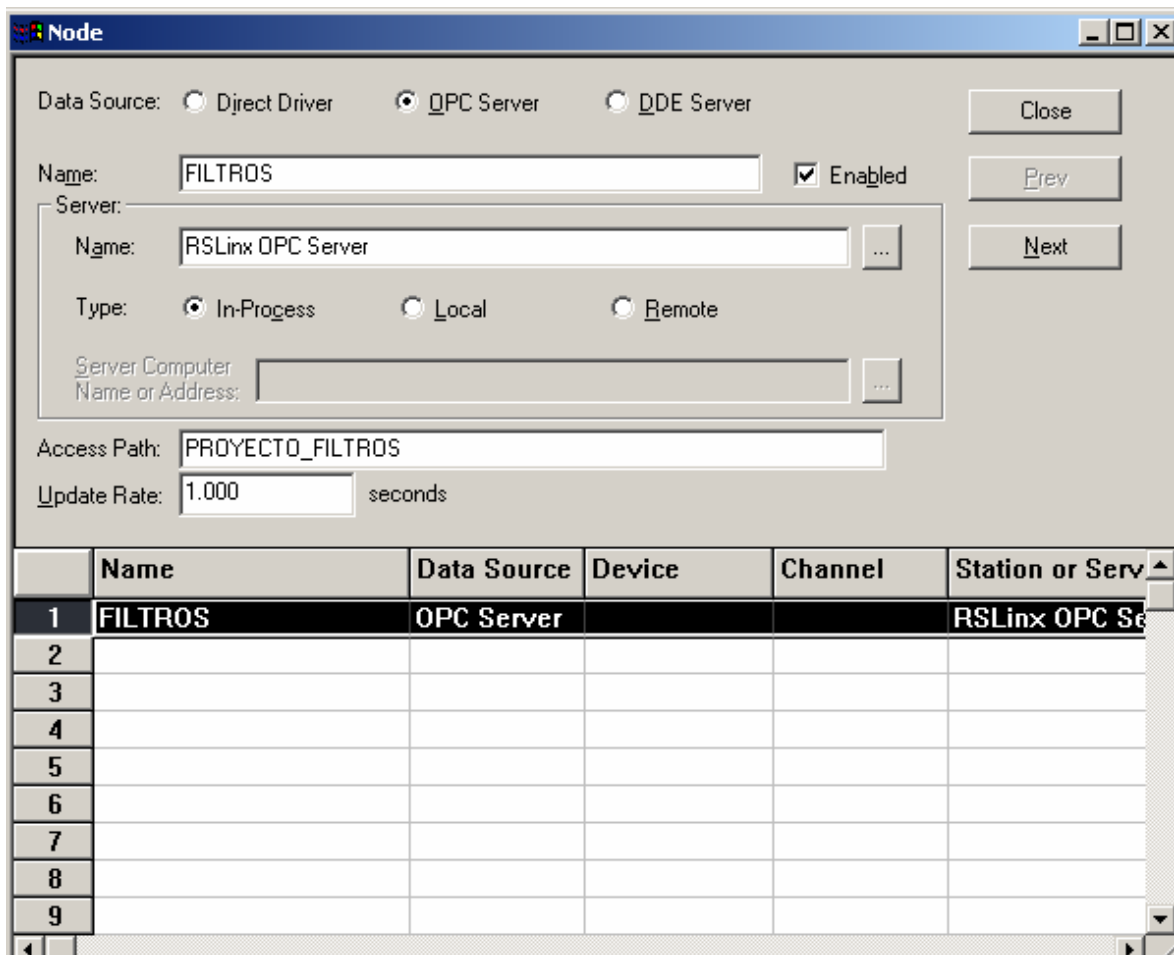
- **Paso 7.** Se escoge la ruta con la cual se hará el puente, en el caso de este proyecto será el modulo de comunicación del PLC el cual a través del Backplane muestran todos los módulos que pertenecen a este chasis.



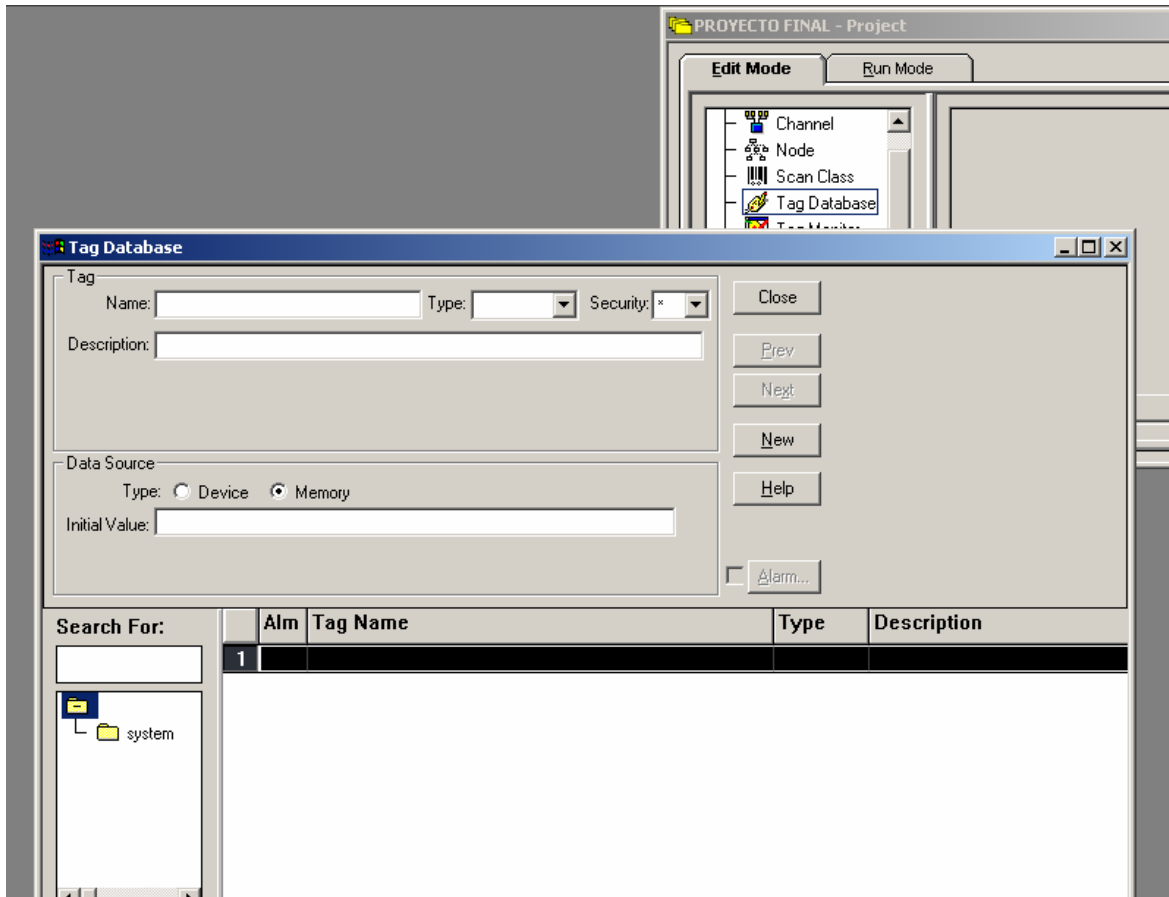
- **Paso 8.** Se vuelve al software de RSView y se deja la opción Type por defecto y en la opción Access Path se coloca el nombre que se le dio al OPC Server en el RSLinx.



- **Paso 9.** Se coloca el nombre de la ruta del OPC Server.



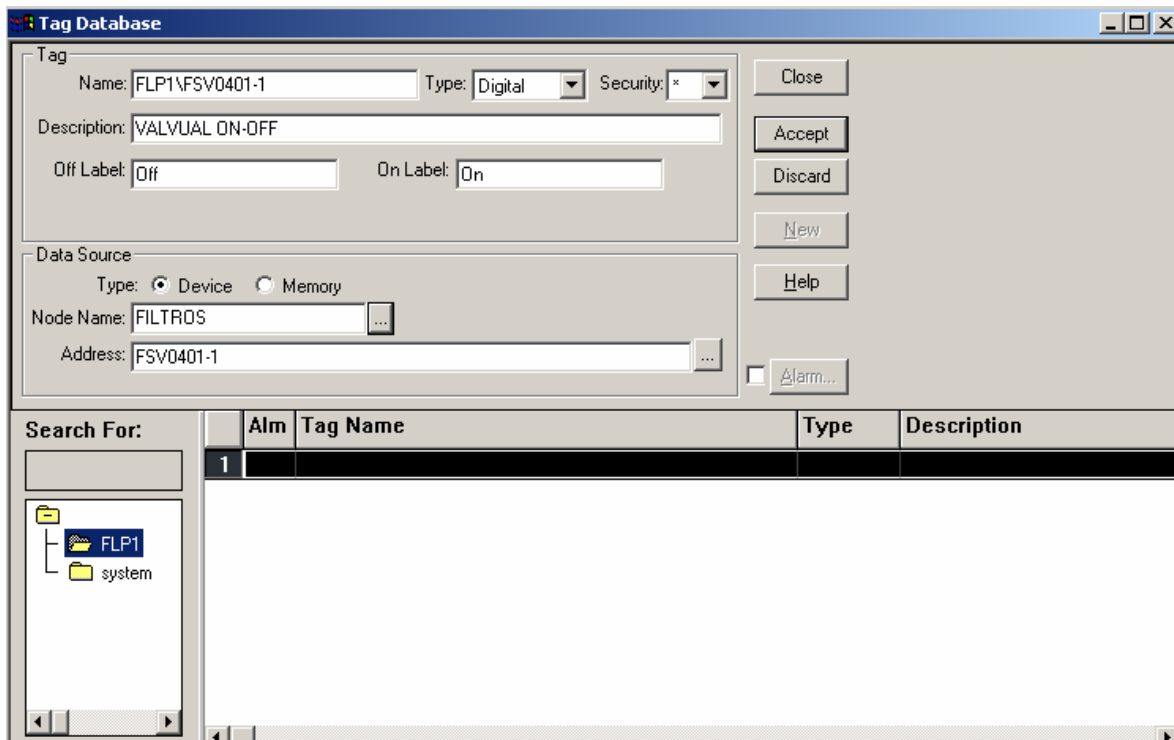
- **Paso 10.** Se ingresa a la subcarpeta Tag Database y se crea un nuevo f3lder.



- **Paso 11.** Se coloca el nombre del tag, puede ser el mismo que se colocó en el RSLogix, se escoge el tipo de señal puede ser análoga, digital etc.

Cuando se escoge la señal tipo digital a parece automáticamente Off Label en Off y On Label en On.

En Node Name se busca el nodo que se creó en el View, y en Address se coloca el Tag que se le asignó en el Logix.



Se realiza lo mismo para cada señal que se desee observar y controlar en el View o supervisorio.

Después de configurado el software se realiza el supervisorio de control y monitoreo, en la figura x se puede observar la pantalla de monitoreo de los filtros de lecho profundo.

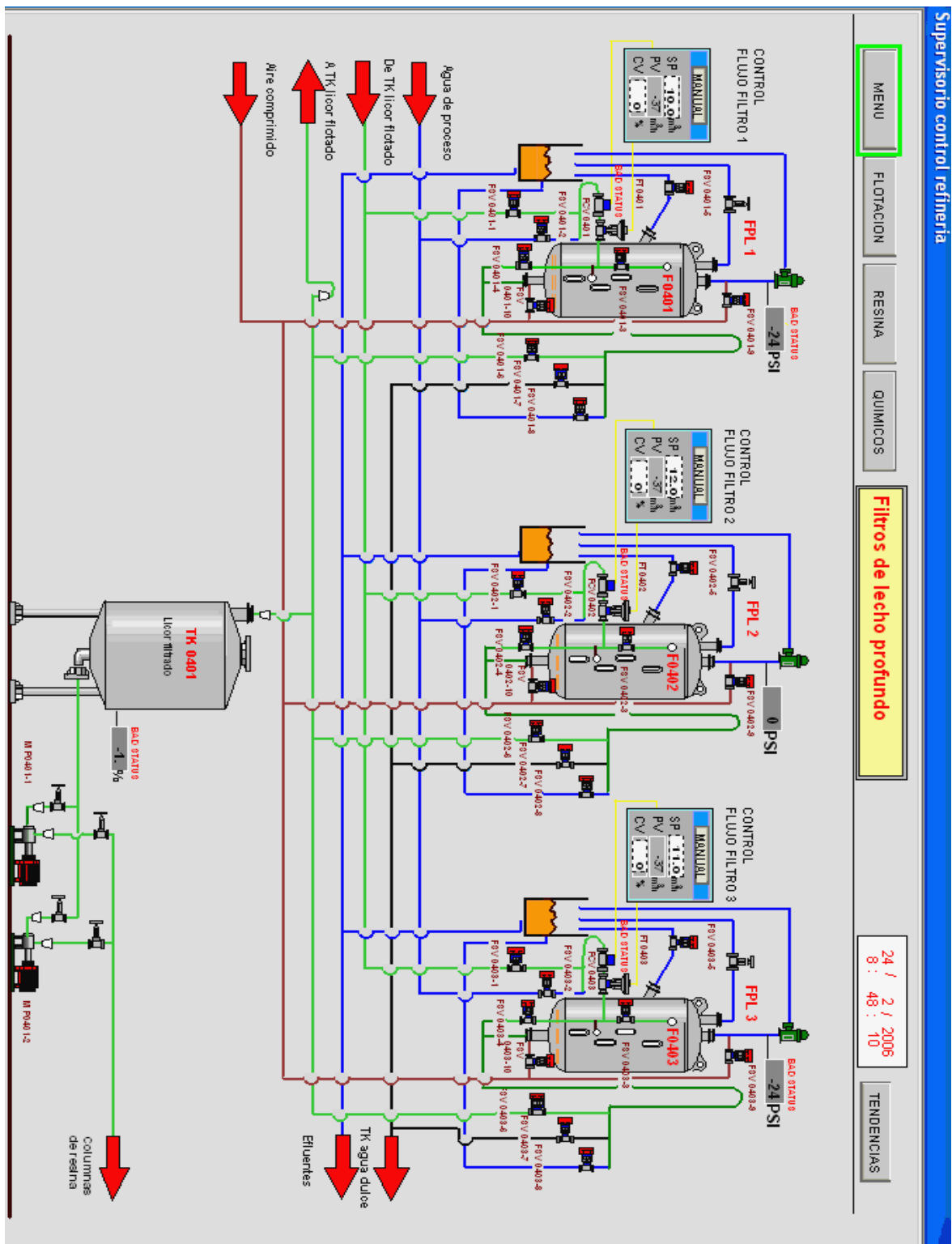


Figura. X: Pantalla de control y monitoreo de los filtros de lecho profundo.

Anexo C.

AUTOMATIZACION DE LOS FILTROS DE LECHO PROFUNDO DE LA REFINERIA DE AZUCAR DEL INGENIO CASTILLA INDUSTRIAL

Leonardo Fabio García Sanclemente

*Universidad Autónoma de Occidente
Calle 25 # 115- 85 Kilómetro 2 Vía Cali Jamundi. Colombia.
PBX 3188000, e-mail: lg976126@cuaao.edu.co*

Abstract: Con el presente proyecto se pretende la automatización de los filtros de lecho profundo de la refinería de azúcar del Ingenio Castilla Industrial, mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC). La importancia que tienen los filtros en la producción de azúcar refinada hace que el ingenio invierta en tecnología para mejorarlos, pues de la función que estos realizan dependen en un alto porcentaje el color y la turbiedad del azúcar refinado que son características determinantes en la calidad de la misma.

Keywords: Lecho profundo, Flóculos, Filtración, Flotación, Licor filtrado, Licor flotado, ControlLogix 5000.

1. INTRODUCCIÓN

En la producción de azúcar refinada se requieren de varios procesos de los cuales depende la calidad, pureza y color del

refino. Los Filtros de Lecho Profundo son parte indispensable y crítica en dicho proceso.

Al aplicar las técnicas de automatización para mejorar el funcionamiento de los filtros se espera que los resultados que se obtengan sirvan para que el ingenio alcance el nivel que requiere para poder seguir compitiendo a nivel nacional e internacional.

1.1.Aplicaciones.

Al automatizar los filtros de lecho profundo con un PLC se aprovechan las ventajas que este mismo proporciona, como, sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior utilización y la modificación o alteración de los mismos.

El proceso de filtrado de lecho profundo funciona de forma continua, esta es una de las razones por la que se aprovecha los beneficios que otorga el poder utilizar un PLC, al cual se le pueden programar tareas continuas o periódicas, permitiendo que la operación del proceso se convierta en una labor muy fácil de realizar por el operario.

1.2.Propósito.

Con la automatización de los filtros de lecho profundo se mejora el color y la turbiedad del producto; los resultados que se obtienen sirven para que el ingenio compita con otros ingenios en calidad y costo del mismo.

Académicamente este proyecto podrá ser guía clave para quienes quieran profundizar en este campo de la electrónica, el cual trae consigo muchos beneficios para las empresas regionales y nacionales, aportando así un granito de arena a la competitividad de las empresas del país.

1.3.Justificación.

La calidad, el costo del producto y la confiabilidad del filtrado de lecho profundo,

se puede mejorar gracias a la automatización. Estos beneficios traen para el ingenio mayores ganancias y mejora el nivel competitivo ante otros ingenios.

2. AUTOMATIZACIÓN DE LOS FILTROS

La propuesta esta basada en un sistema ControlLogix 5000.

Al tener en cuenta las necesidades de expansión, interconexión, redundancia, capacidad de intercambio de módulos en caliente y la utilización en proyectos anteriores por el ingenio castilla industrial, se sugiere la implementación de un sistema de control de la serie ControlLogix de Allen Bradley.

Las características de este controlador lo hace la solución ideal para aquellas aplicaciones secuenciales y continuas programables de rango alto.

Adicionalmente a su flexibilidad, los controladores ControlLogix tienen la capacidad de comunicarse a través de la red local de información Ethernet TCP/IP, Remote I/O y DH+; permitiendo así un eficiente medio de monitoreo y control desde una consola de operación, la cual puede ser un computador personal compatible.

3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

En esta parte del trabajo se describen todos los parámetros necesarios para realizar la automatización.

Se debe tener en cuenta que este proyecto se inicia con los filtros ya construidos y acondicionados con sus respectivas tuberías en las cuales están ubicadas las válvulas de control automático y manual, que corresponden a las diferentes entradas y

salidas del proceso, estos parámetros los entrega el fabricante. El área de instrumentación se encarga de constatar que el arreglo original sea el mas apropiado para el buen funcionamiento del proceso, dentro de estas labores esta la de reubicar instrumentos.

3.1. Instrumentación.

Los equipos de instrumentación que requiere la Automatización de los FLP son parte clave en el éxito del proyecto.

Cada filtro utiliza los siguientes equipos:

- * Ocho válvulas automáticas ON-OFF.
- * Una válvula de control automático.
- * Cinco válvulas manuales de mariposa.
- * Un transmisor de flujo.
- * Un medidor de flujo.
- * Un transmisor de presión.
- * Un manómetro.
- * Una válvula de seguridad.

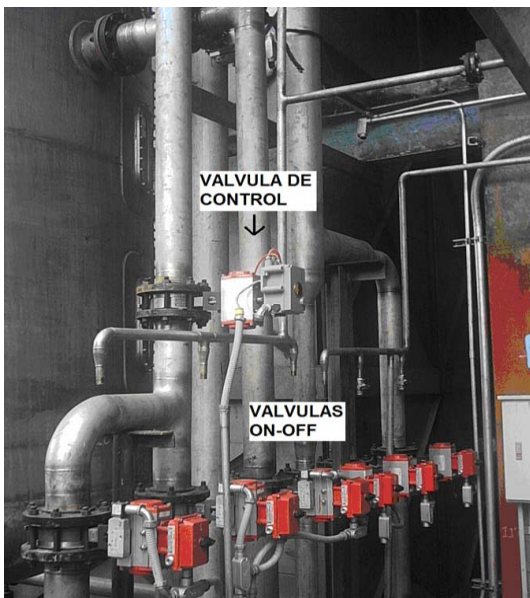


Fig. 1: Válvulas automáticas y de control.

3.2 Identificación de entradas y salidas del proceso.

Al identificar las entradas y salidas del proceso se establecen la cantidad de señales que se van a utilizar para así poder escoger los módulos del PLC que cumplan con estos requerimientos.

Se tienen 56 entradas digitales las cuales son enviadas por los sensores de confirmación (válvulas abiertas y cerradas) y las señales que manejan los dos motores (start, stop, térmico y auxiliar).

Se tienen 8 entradas análogas las cuales son enviadas por, los transmisores de presión, de flujo y de nivel.

Se tienen 26 salidas digitales las cuales controlan las válvulas on-off y los arranques de los motores.

Se tienen 3 salidas análogas las cuales controlan las válvulas automáticas.

3.3. Tipos de módulos.

Para las entradas digitales se utilizan dos módulos, de referencia 1756-IB32. La capacidad de cada modulo es de 32 entradas digitales a un voltaje de 120 Voltios AC.

Para las entradas análogas se utilizan dos módulos, uno para los transmisores activos y el otro para los transmisores pasivos. La referencia es 1756-IF8 con una capacidad de 8 entradas análogas a una corriente de 4 a 20 mA, esta capacidad depende del tipo de configuración que se haga (singlen-enden o diferencial).

Para las salidas digitales se utilizan dos módulos, de referencia es 1756-OW16I, que tienen una capacidad de 16 salidas accionadas por rele con un voltaje de 24 a 120 Voltios AC.

Para las salidas análogas se utiliza un modulo, de referencia 1756-OF8 con una

capacidad de 8 salidas a una corriente de 4 a 20 mA.

Para el modulo de comunicaciones se utiliza la referencia 1756-ENBT que se comunica a una velocidad de 10/100 Mb.

3.4. Tipo de procesador.

El procesador de control que cumple con las necesidades que se requieren en la automatización de los filtros es el L55.

Para calcular la capacidad de memoria del procesador se deben realizar algunos cálculos.

Inicialmente partimos de una constante de 43000 bytes, que es la recomendada por el fabricante.

Se debe tener en cuenta cuantas tareas se van a utilizar. Para este proyecto se utilizan dos tareas (continua y periódica).

Tareas = 2

La cantidad de memoria requerida por tarea = 4000 bytes.

El total de memoria requerida por las dos tareas es 8000 bytes.

$$2 * 4000 \text{ bytes} = 8000 \text{ bytes}$$

Se debe tener en cuenta cuantos puntos digitales se van a utilizar. Se utiliza dos módulos digitales con una capacidad de 32 entradas cada uno.

$$2 * 32 = 64 \text{ Entradas digitales}$$

Dos módulos digitales con una capacidad de 16 Salidas cada uno.

$$2 * 16 = 32 \text{ Salidas digitales}$$

La cantidad total de puntos digitales es de 96.

$$64 + 32 = 96$$

La cantidad de memoria requerida por cada punto es de 400 bytes.

La cantidad total de memoria requerida por los puntos es de 38400 bytes.

$$86 * 400 = 38400 \text{ bytes}$$

Se debe tener en cuenta cuantos puntos análogos se van a utilizar. Se utiliza dos módulos análogos con una capacidad de 8 entradas cada uno.

$$2 * 8 = 16 \text{ Entradas análogas}$$

Un modulo análogo con una capacidad de 8 salidas.

$$1 * 8 = 8 \text{ Salidas análogas}$$

La cantidad total de puntos análogos es de 24.

$$16 + 8 = 24$$

La cantidad de memoria requerida por cada punto es de 2600 bytes.

El total de memoria requerida por los puntos es de 62400 bytes.

$$24 * 2600 = 62400 \text{ bytes}$$

Para el modulo de comunicación se utiliza una memoria de 2000 bytes.

$$1 * 2000 = 2000 \text{ bytes}$$

Se suman el total de todas las condiciones incluyendo el valor del sistema operativo.

$$43000 + 8000 + 38400 + 62400 + 2000 = 153800 \text{ bytes.}$$

Total = 153800 bytes

Esta es la capacidad mínima que debe tener la memoria del procesador.

Se debe tener en cuenta futuras ampliaciones, entonces se multiplica la cantidad dada por dos y luego se busca la referencia que corresponda a ese valor o mayor.

Total = 153800 * 2 = 307600 bytes

En nuestro caso la memoria más próxima a este valor es de 750 kbytes que es más que suficiente para el proyecto.

La referencia de la memoria a la que corresponde este valor es 1756-L55M12.

3.5 Tipo de fuente.

Para escoger el tipo de fuente se deben sumar todas las corrientes de operación en línea de los módulos los cuales se deben consultar en los manuales del fabricante.

La corriente mínima que debe tener la fuente para un voltaje de 5 Voltios es de 1230 mA y para un voltaje de 24 Voltios es de 14 mA.

Se escoge la referencia PA que soporta corrientes de 13 Amperios para 5 Voltios y corrientes de 2.8 Amperios para 24 Voltios.

3.6. Tipo de chasis.

La capacidad de slots o ranuras del chasis dependen de la cantidad de módulos que se van a utilizar.

Para el proyecto de automatización de los filtros de lecho profundo se utilizan 9 módulos, correspondientes a 7 módulos de entradas y salidas (análogas, digitales), un modulo de comunicaciones y un modulo para el procesador.

La referencia del chasis que se utilizo es la 1756-A10 que tiene una capacidad para 10 módulos.

3.7. Conexiones eléctricas.

Motor 1

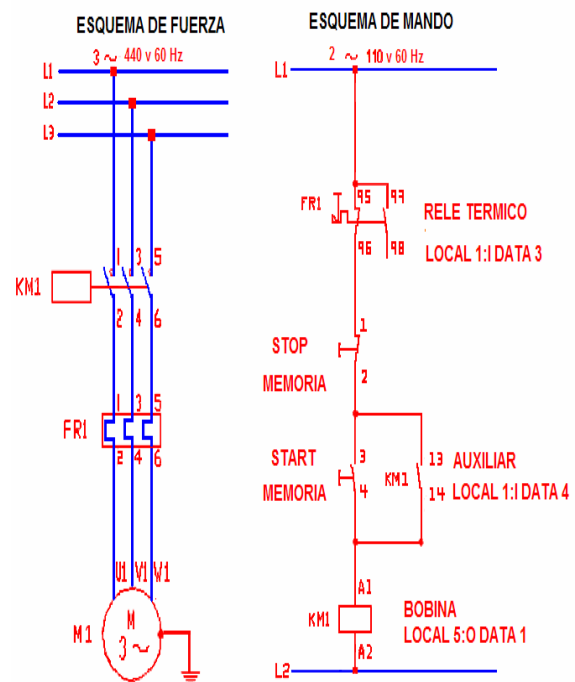


Fig. 2: Esquema de fuerza y mando del motor de la bomba 1.

Motor 2

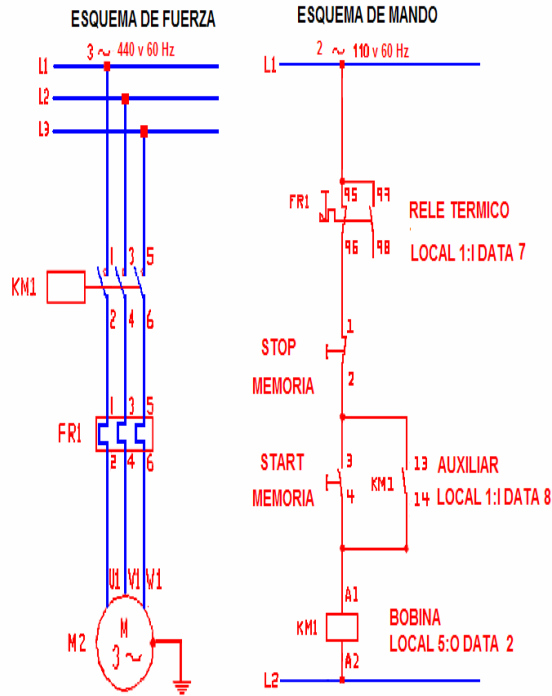


Fig. 3: Esquema de fuerza y mando del motor de la bomba 2.

3.8. Diagrama de bloques de las entradas y salidas del PLC.

Ver Figura 4.

4. PROGRAMACIÓN.

La programación se realizó a través del software RSLogix 5000. La funcionalidad del software permitió que la automatización de los filtros se realizara de una manera fácil y rápida gracias a que se ingresaron los datos de las diferentes señales sin necesidad de tener en línea el PLC dejando para lo último el direccionamiento de los módulos.

El ladder se realizó para que el operario pueda controlar el proceso abriendo o cerrando las válvulas en el momento en que se requiera. Se ha programado una segunda etapa del proyecto en la cual se realizará el proceso de forma secuencial.

Se utilizó el software RSView 32 para la realización de la pantalla de control y monitoreo. En esta pantalla el operario puede observar, los estados de las válvulas (si están abiertas o cerradas), el flujo del licor y la presión interna de los filtros, ver Figura 5.

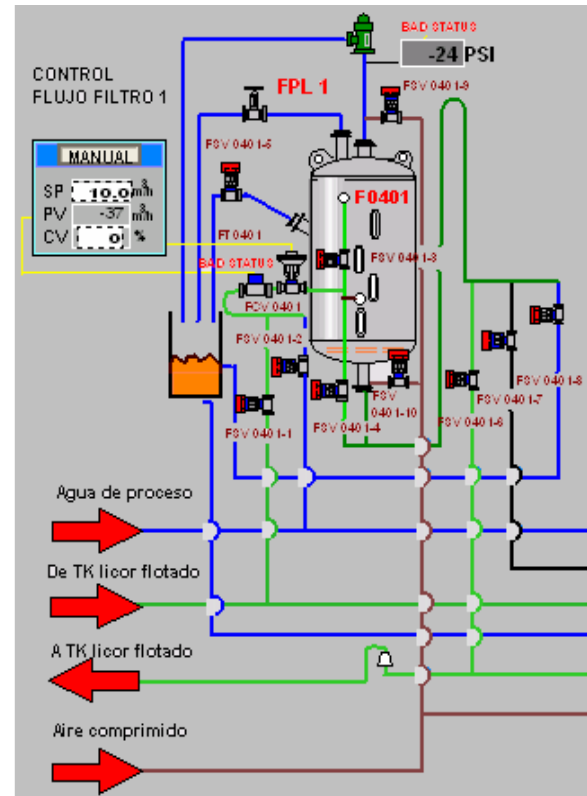


Figura. 5: Supervisor de control y monitoreo filtro de lecho profundo 1.

Por último se utilizó el software RSLinx el cual sirvió para realizar la conectividad de dispositivos a nivel de la planta y para configurar los diferentes nodos de la red Ethernet.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Con la automatización de los filtros de lecho profundo se logró reducir de manera significativa las pérdidas de materiales y se alcanzó el objetivo principal el cual consistía en disminuir la turbiedad del licor que proviene de la etapa de flotación.

Con la reducción de partículas y floculos en el licor se mejoro el color del azúcar refinado, el cual es requisito indispensable para los estándares de calidad del producto. Anteriormente se obtenía un color en el producto de 40 UI (ICUMSA), después de la automatización se logro un color hasta de 10 UI; este resultado significa para el ingenio más utilidades, pues se está ofreciendo un producto de excelente calidad a un costo de producción muy bajo.

Una razón importante de la utilización en el ingenio castilla industrial de filtros de lecho profundo automatizados es que el filtrado tradicional que se realiza en otros ingenios requiere de un material que tiene un costo aproximado de 150 millones de pesos al año, en cambio el utilizado para los filtros de lecho profundo no supera los 7.5 millones de pesos anuales, lo que genera para Castilla Industrial una gran ventaja competitiva en cuanto a costos, pues en el proceso de filtrado está gastando solo un 5% de lo que gastan otros ingenios en el mismo proceso.

6. CONCLUSIONES

En el trabajo se muestran los parámetros que se deben de tener en cuenta a la hora de realizar la automatización del proceso de filtrado.

Con los resultados obtenidos, se puede evaluar satisfactoriamente las ventajas que proporciona el utilizar un PLC para el control de procesos.

La utilización de software para el control y monitoreo de procesos, se convierte en una herramienta útil para el operario ya que mejora la capacidad de reacción a la hora de tener imprevistos y con esto la productividad del mismo.

En una segunda etapa del proyecto se pondrá en funcionamiento los filtros de forma secuencial.

REFERENCIAS

- [1]. COBO QUINTERO, JOSE ELMAR y otros. Diseño de la automatización de las centrifugas azucareras de primera y el sincronismo entre ellas por un PLC. Tesis. Universidad Autónoma de Occidente.
- [2]. FAMILIA CONTROLLOGIX 5000 de ALLEN BRADLEY. Familia de controladores lógicos programables.
- [3]. MEADE Y SPENCER. Manual del azúcar de caña.
- [4]. OMNICON. Curso de entrenamiento. Manual del estudiante.

ANEXOS

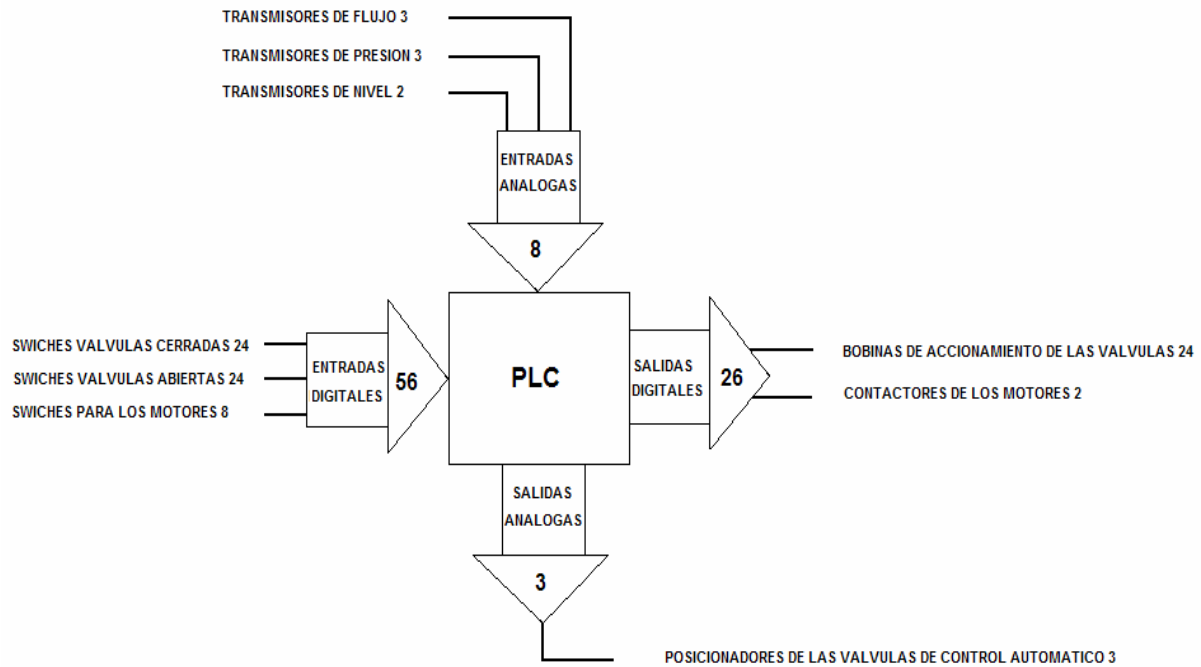


Fig. 4: Diagrama de bloques de las conexiones del PLC.

Fig. 6: Supervisorio de control de los filtros de lecho profundo.