



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**  
**ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**TEMA:**

---

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS  
EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA AGOYAN”

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Electrónica de Potencia

**AUTOR:** Saúl Gabriel López Naranjo

**PROFESOR REVISOR:** Ing. Edwin Morales

Ambato - Ecuador

Abril 2015

## **APROBACION DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYAN”, del Sr. Saúl Gabriel López Naranjo, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y meritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Abril 2015

EL TUTOR

---

Ing. Edwin Morales

## **Autoría**

El presente trabajo de Investigación “SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYAN”. Es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Abril 2015

---

Saúl Gabriel López Naranjo

C.C 180414156-0

## **APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO**

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYAN”, presentado por el Sr. Saul Gabriel Lopez Naranjo y conformado por el Ing. Vicente Morales Lozada Presidente del Tribunal, una vez escuchada la defensa oral, el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Vicente Morales Lozada  
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing. Patricio Córdova C.  
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. William López G.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **Dedicatoria**

Para mis padres, Saúl y Gloria quienes con su espíritu de lucha y apoyo constante, hicieron posible que llegara a alcanzar todos mis sueños y propósitos en esta vida, también a todas aquellas personas que forman parte importante de mi vida que de una u otra manera me brindaron su apoyo en los momentos que mas los necesite, ahora es el momento de regresar algo de todo lo que compartieron y otorgaron en mí.

Saúl Gabriel López Naranjo

## **Agradecimiento**

A todas aquellas personas que con su ayuda, colaboración y apoyo, depositaron su confianza en mí, especialmente a la Unidad de Negocio Agoyán y a su personal quienes me abrieron sus puertas y contribuyeron para alcanzar este logro

## ÍNDICE

Caratula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice.....	ii
Índice de Tablas.....	iv
Índice de Figuras.....	v
Índice de Ecuaciones.....	vi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2 FUNDAMENTACION TEORICA.....	7
2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL.....	7
2.2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL.....	8
2.2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO.....	8
2.2.2.2 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.....	9
2.2.2.3 CRONTROLADORES PID.....	9
2.2.3 LA CENTRAL HIDROELECTRICA AGOYAN.....	13
2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	17

<b>CAPÍTULO III</b> .....	18
<b>METODOLOGÍA</b> .....	18
3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
3.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	18
3.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	19
3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	19
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	20
<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b> .....	20
4.1 Estado de las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Agoyán.....	20
4.2 Control de desperdicios en las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.....	21
4.3 Sistema de detección de pérdida de carga en reja y sobreflujo.....	22
4.4 Elementos que componen el sistema de limpieza de las rejas.....	25
4.5 Fundamento para el diseño de la lógica de control para la limpieza de las rejas en la toma de carga.....	29
4.5.1 Reja Semiobstruida.....	31
4.5.2 Reja Obstruida.....	31
4.5.3 Sobreflujo.....	31
4.6 Diseño del sistema de control automático para la limpieza de las rejas en la toma de carga.....	33
4.7 La serie SIMATIC S7-300 de Siemens.....	34
4.7.1 Especificaciones técnicas del PLC SIMATIC S7-300.....	36
4.7.2 Descripción general del PLC SIMATIC S7-300.....	36
4.8 Desarrollo del programa para el PLC Siemens S7-300.....	51
4.8.1 Programación en el software TIA Portal v13 de Siemens.....	54
4.9 Cableado del PLC Siemens S7-300 con sus módulos.....	61
4.9.1 Conexión de la fuente de alimentación y del CPU 314.....	61
4.9.2 Conexión del modulo de entradas digitales.....	63



4.10 Implementación y montaje del Sistema de Limpieza.....	69
4.11 Costo del Proyecto.....	74

**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	76
Bibliografía.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del sensor WRD1Rittmeyer.....	23
Tabla 4.2: Elementos que componen el sistema de limpieza de las rejillas.....	25
Tabla 4.3: Parámetros que influyen para la medición de carga.....	30
Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del CPU 314.....	44
Tabla 4.5: Entradas para los módulos Siemens SM 331 y SM 321.....	51
Tabla 4.6: Salidas tipo relé del módulo Siemens SM 322.....	52
Tabla 4.7: Costo del proyecto.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema general de un Control.....	7
Figura 2.2: Sistema de control en lazo abierto .....	8
Figura 2.3: Sistema de control en lazo cerrado .....	9
Figura 2.4: Estructura general de un Controlador PID .....	10
Figura 2.5: PLC Siemens.....	13
Figura 2.6: Obra de Toma.....	16
Figura 4.1: Sensor tipo WRD1R Rittmeyer.....	22
Figura 4.2: Tarjeta tipo H4R – N2E Rittmeyer.....	24
Figura 4.3: Términos de la ecuación de Bernoulli.....	30
Figura 4.4: Diseño del sistema de limpieza de las rejas.....	33
Figura 4.5: Controlador SIMATIC S7-300.....	35
Figura 4.6: diagrama de bloques y Conexión del modulo SM321.....	37
Figura 4.7: Diagrama de bloques y de conexiones para el módulo SM331.....	39
Figura 4.8: Diagrama de conexiones para el modulo SM322.....	40
Figura 4.9: Elementos de manejo y visualización CPU 314.....	42
Figura 4.10: Ciclo del CPU 314.....	44
Figura 4 .12: Lenguaje AWL.....	49
Figura 4 .13: Esquema de funciones FUP.....	50
Figura 4 .14: Lenguaje AWL.....	50
Figura 4 .15: Diagrama de flujo del Sistema de Control.....	53
Figura 4 .16: Programa TIA Portal V13.....	54
Figura 4 .17: Selección del nuevo dispositivo.....	55
Figura 4 .18: Configuración de la CPU.....	55
Figura 4 .19: Selección del módulo SM 331.....	56
Figura 4 .20: Selección del módulo SM321.....	56
Figura 4 .21: Selección del módulo 322.....	57
Figura 4 .22: Declaración de las variables de entrada.....	57
Figura 4 .23: Declaración de las variables de salida.....	58
Figura 4 .24: Segmentos del programa.....	59

Figura 4 .26: Prueba del programa con los sensores y el PLC.....	60
Figura 4 .27: Calibración de los sensores.....	60
Figura 4 .28: Conexión de los módulos del PLC.....	61
Figura 4 .29: Conexión de la fuente de alimentación PS 307 y del CPU 314.....	62
Figura 4 .30: Fuente de alimentación PS 307.....	63
Figura 4 .31: Modulo de entradas digitales SM 321.....	63
Figura 4 .32: Conexiones del módulo SM 321.....	64
Figura 4 .33: Módulo de entradas analógicas SM 331.....	65
Figura 4 .34: Conexión para transmisores a dos hilos.....	66
Figura 4 .35: Adaptadores de margen de medida.....	66
Figura 4 .36: Conexiones del módulo SM 331.....	67
Figura 4 .37: Módulo de salidas digitales SM 322.....	68
Figura 4.38: Conexiones del módulo SM 322.....	68
Figura 4.39: Sensor de presión Rittmeyer.....	69
Figura 4.40: Motocompresor del sistema.....	69
Figura 4.41: Tuberías para el aire.....	70
Figura 4.42: Montaje de los módulos del S7-300.....	70
Figura 4.43: Ubicación del autómatas S7-300.....	71
Figura 4.44: Cableado de los módulos del PLC S7-300.....	71
Figura 4.45: Ubicación de las lámparas de alerta de estado.....	72
Figura 4.46: Interior del armario del sistema de limpieza.....	72
Figura 4.47: Lámparas indicadoras del compresor.....	73
Figura 4.48: Lámparas indicadoras de rejillas semiobstruidas.....	73
Figura 4.49: Lámparas indicadoras de rejillas obstruidas.....	73
Figura 4.50: Lámparas indicadoras de arranque y parada del compresor.....	73
Figura 4.51: Pulsadores de reposición del sistema.....	74

## Resumen

En el presente proyecto se diseña un sistema de control automático para la remoción de desperdicios que se acumulan en las rejillas de la toma de carga en la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán, las cuales impiden el ingreso de sólidos grandes por la bocatoma y que eventualmente podrían llegar a ocasionar daños importantes en los equipos de generación instalados en la casa de máquinas.

Este sistema sensa la diferencia de presión que existe a uno y otro lado de las rejillas, determinando si se encuentran o no obstruidas; y en caso de existir una excesiva acumulación de basuras en las mismas, se dispone de un sistema neumático el cual cuenta con un motocompresor para la provisión de aire comprimido, necesario para la remoción de los obstáculos hacia el canal de evacuación de escombros, proceso que se realiza una vez que se haya energizado una electroválvula que permite el paso del aire hacia las rejillas.

La información registrada por los sensores de presión diferencial es enviada hacia el armario de control por medio de unas tarjetas electrónicas transmisoras que poseen estos dispositivos, estas señales se ingresan en un módulo de entradas analógicas para ser acondicionadas y posteriormente procesadas dentro de un controlador lógico programable (PLC).

De igual manera para las señales emitidas por los switches, pulsadores y presostatos que forman parte de este sistema, se utilizó un módulo de entradas digitales. Todos estos datos que se ingresan, serán utilizados posteriormente en el proceso del sistema, del cual está encargada la unidad central de procesamiento (CPU) del PLC, en donde va estar cargada toda la programación necesaria en base a la lógica de control necesaria para su correcto funcionamiento.

Finalmente para la visualización de los estados del sistema se ubicaron lámparas indicadoras en la parte frontal del armario de control, las mismas que se encenderán según las condiciones que vaya generando el proceso de control.

## **Abstract**

This project develops and implements an automatic cleaning control system, which senses the flow pressure that goes through the bars of the feeding duct at the Hydroelectric Dam, and determines if they are clogged, and so activate a compressor which is responsible for sending air towards them by the SIMATIC S7-300 from Siemens.

The information provided by the differential pressure sensors is sent to the control cabinet by means of transmitting data from the electronic cards that have these sensors, these signals are entered on a Siemens SM 331 for analog type.

Similarly to input signals from switches, pushbuttons, switches, solenoid valves that are part of this system, a Siemens SM 321 digital signals type was used.

All these data enter the two modules that are used to make the process control system, which takes place inside the CPU 314, Siemens, where the programming will be based on the logic control.

These signals will be responsible for indicating the clogged condition and on this basis to enable or disable the cleaning system which will use the Siemens SM 322 module for relay outputs type, on which all the indicator lamps are located.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto que se detalla en este documento tiene como finalidad modernizar el sistema actual de remoción de desperdicios de las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán, mediante el uso del controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-300 para el proceso del sistema, el mismo que fue desarrollado en base a la información que se detalla a continuación.

Capítulo I, la descripción del problema, el deficiente control de la limpieza de las rejas en la toma de carga, causado por el desfase tecnológico del sistema empleado en los últimos años, lo cual provocaba la acumulación de desperdicios y taponamientos en la bocatoma. En donde el objetivo principal para la Central Agoyán fue modernizar el sistema que anteriormente se empleaba para la remoción de desperdicios de las rejas en la represa.

Capítulo II, el marco teórico muestra las bases conceptuales que van a ser el soporte teórico científico del proyecto, detallando los tipos de sistemas de control, sistemas de generación eléctrica, información de la Central Hidroeléctrica Agoyán y la descripción de los dispositivos de control que se utilizaron en este proyecto.

Capítulo III, indica la metodología que se utilizó para la investigación, detallando los métodos que se emplearon para obtener información y datos del sistema que se encontraba deshabilitado.

Capítulo IV, describe la propuesta de un Sistema de Control Automático para la remoción de desperdicios de las Rejas en la Toma de Carga de la Represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán, su diseño, creación e implementación del mismo.

Capítulo V, señala las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron durante el tiempo que duro la elaboración del proyecto, tomando en cuenta los inconvenientes y dificultades que se tuvo; y como se logró solucionar los mismos.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

#### **1.1 Tema**

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYAN”

#### **1.2 Planteamiento del problema**

La generación de energía hidroeléctrica en el mundo ha ido aumentando en un promedio de 3% anual en las cuatro décadas anteriores; en el año 2011, con una producción de 3,5 billones de kilovatios-hora, la energía hidroeléctrica alcanzó un 16% de la generación global de electricidad, producida por las 45 más grandes hidroeléctricas del mundo según datos obtenidos por la empresa Hidropower Continues Steady Growth. Hoy en día, la hidroelectricidad es producida en más de 160 países, de los cuales cuatro son los que dominan la producción hidroeléctrica; como son: China, Brasil, Canadá y los EEUU, produciendo más de la mitad de la energía hidroeléctrica del mundo. [1]

La producción de energía hidroeléctrica en América del Sur representa aproximadamente el 8,5 % de la generación total de energía en el mundo, según datos obtenidos hasta el año 2011 por la empresa Hidropower Continues Steady Growth; los grandes embalses que se forman en torno a los Andes y otras regiones con grandes desniveles topográficos y su leve impacto ambiental han llevado a que muchos países inviertan en infraestructuras y tecnologías para la generación hidroeléctrica. Brasil es el primer productor en América del Sur con 348 millones de MW, seguido de Venezuela y



Paraguay, con 79 millones de MW y 53 millones de MW, respectivamente según estadísticas obtenidas por la World Development Indicators 2010. [1]

En el Ecuador la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC E.P.) es una compañía estatal encargada de generar y de abastecer de energía eléctrica al país y bajo el control del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), creada para la producción eficiente de energía, en beneficio de todo el país.

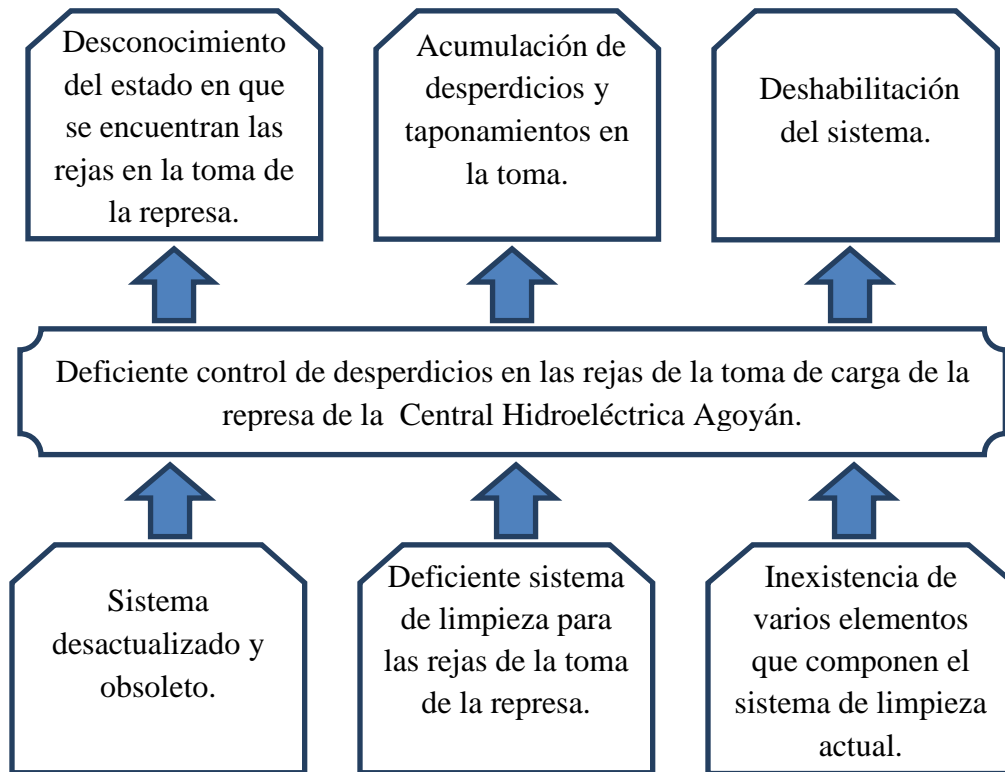
Hidroagoyán es una de las Unidades de Negocio de CELEC E.P. empresa estratégica del Estado, domiciliada en el cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua, la cual está encargada de la administración y de la producción de las centrales Agoyán, Pucará, y San Francisco, también ubicada en el cantón Baños de la Provincia de Tungurahua.

La Central Hidroeléctrica Agoyán concebida para aprovechar el caudal del Río Pastaza, localizado en la provincia de Tungurahua a 180 Km al Sureste de Quito y a 5 Km al este de la ciudad de Baños en el sector denominado Agoyán de la parroquia Ulba, en la vía principal de entrada al sector amazónico ecuatoriano. [2]

Actualmente la Central Hidroeléctrica Agoyán se ha convertido en una de las más importantes centrales de generación en el país, al tener una capacidad de generación de 156MW; su operación comercial empezó en septiembre de 1987, después de cinco años de construcción. Cuenta con dos turbinas tipo Francis de eje vertical de 225 rpm acopladas a dos generadores con capacidad de 78 MW cada uno; a cada turbina ingresa un caudal de  $60m^3/s$  captado por la toma, la misma que en su ingreso está provista con un juego de rejas las cuales impiden el paso de sólidos grandes por la toma. Estos desperdicios que se acumulan, necesitan ser expulsados de las rejas y llevados hacia el canal de limpieza para su evacuación; sin embargo este proceso actualmente se encuentra deshabilitado, lo que ha generado serios problemas, principalmente por la obstrucción que se presenta en las rejas lo cual impide que fluya libremente el caudal de agua que ingresa a las turbinas para su operación; así como también la presencia de averías en los sistemas hidráulicos y mecánicos, los cuales pueden sufrir desperfectos en sus equipos en

el momento en que algún desperdicio sólido pase de las rejas e ingrese por la toma hacia estos sistemas.

Además, el largo tiempo de operación y la constante evolución de la tecnología, ha provocado que el sistema encargado de mantener limpias y sin obstáculos las rejas en la toma de carga de la represa quede obsoleto en una gran parte, principalmente los controles de mando del proceso, generando así un desconocimiento del estado en que se encuentran las rejas en el ingreso de la toma de carga, como se lo detalla en el árbol del problema de la figura 1.1; las cuales al no recibir un mantenimiento adecuado y continuo, puede presentar taponamientos parciales o totales en la toma, provocando pérdidas, tanto económicas así como también en la producción de energía eléctrica, debido a que las turbinas al no recibir el caudal de agua adecuado, su desempeño se ve disminuido según sea el porcentaje de obstrucción que presenten las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.



**Figura 1.1:** Árbol del Problema

**Fuente:** El Investigador

### 1.3 Delimitación del problema

- **Área Académica:** Física y Electrónica.
- **Línea de Investigación:** Sistemas Electrónicos.
- **Sublínea de Investigación:** Electrónica de Potencia.
- **Delimitación Espacial:** La presente investigación se desarrolló en la Central Hidroeléctrica Agoyán ubicada en el Cantón Baños Parroquia Ulba Calle Ambato S/N.
- **Delimitación Temporal:** La presente investigación se realizó en un periodo de seis meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

### 1.4 Justificación

Los sistemas de control automático hoy en día se han convertido en parte fundamental de los procesos dinámicos de plantas e industrias, las cuales pretenden disminuir las intervenciones humanas en sistemas encargados de supervisar y actuar continuamente según las necesidades, además de restablecer sus procesos en el menor tiempo posible.[3]

Cada día las exigencias técnicas por parte de las entidades encargadas de supervisar las diferentes operaciones de las empresas pretenden que su desempeño sea integro, eficiente e ininterrumpido. Pero muchos de estos factores requieren una gran inversión que en diversos casos, no es factible realizarla, por tanto se tienen que continuar con los mismos métodos de operación tradicionales, los cuales debido a su largo tiempo de uso y su retraso tecnológico, llegan a sufrir daños y desperfectos permanentes, quedando obsoletos o en otros casos deshabilitados y aislados de sus procesos, como es el caso del sistema encargado de la limpieza de las rejillas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán; el cual debido en su mayor parte a la obsolescencia tecnológica producto de los más de 25 años de operación, se encuentra deshabilitado, causando obstrucciones y taponamientos en la toma de carga, impidiendo captar el caudal adecuado para el desempeño eficiente de las turbinas. [2]

De esta manera se vio la necesidad de modernizar y habilitar en la Represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán, un sistema de control automático capaz de dar un mantenimiento adecuado a las rejas en la toma de carga de carga, por medio de sensores ubicados estratégicamente, de donde se pudo obtener información del caudal que se tiene antes y después de pasar por las rejas en la bocATOMA, datos que posteriormente son recibidos por un dispositivo de control para su comparación con los valores de referencia fijados, y en caso de existir una diferencia, el sistema procede a realizar la limpieza automática de las rejas, mediante el envío de aire comprimido para la remoción y evacuación de los desperdicios por el canal de limpieza. Y así se logró repotenciar el antiguo sistema de remoción de desperdicios, permitiendo que el caudal de agua fluya libremente y sin obstáculos por la toma de carga, para un mejor desempeño de las turbinas y de los procesos de la Central Hidroeléctrica Agoyán, la cual fue la mayor beneficiada con esta solución tecnológica, así como también la C.E.LE.C y los miles de usuarios que a diario son suministrados con la energía producida en esta central.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de control automático para la limpieza de las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico del estado en que se encuentra el sistema actual de remoción de desperdicios de las rejas.
- Determinar los elementos necesarios para modernizar el proceso del sistema de limpieza de rejas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.
- Diseñar un proceso de control mediante un controlador lógico programable (PLC), el cual sea capaz de mejorar el sistema encargado de la remoción de desperdicios de las rejas en la toma de carga.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 Antecedentes Investigativos**

En la investigación realizada en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato así como también en las revisiones realizadas en los repositorios digitales de las diferentes universidades se han encontrado los siguientes trabajos con algunas características similares a este proyecto.

Como el Sistema de Control automático y monitoreo del nivel del embalse en la Central Hidroeléctrica Agoyán, realizado por el Sr. Edwin Xavier Domínguez Gavilanes, proyecto que tiene como objetivo el diseño y la implementación de un sistema de control automático, que efectúa las labores de control comandando automáticamente el cierre y la apertura gradual de las seis compuertas de erogación de la represa, tres compuertas radiales o clapetas para el control fino y tres compuertas planas para el control grueso en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Además el Sistema de Control y Supervisión de las Compuertas del Vertedero 1 de la Represa Agoyán por medio de un Panel HMI Local, proyecto realizado por el Sr. Marcelo Francisco Gavilánez Vargas, basado en desarrollar un Sistema de Control y Supervisión por medio de un panel HMI Local, que permite la regulación fina y media del nivel de agua en la Represa Agoyán. El proyecto contempla una programación lógica en el PLC y en un panel HMI de manera que permitan la operación de las compuertas del Vertedero 1 de manera eficiente para la regulación del nivel de agua en la represa, brindando tiempos de respuesta iguales a los del control remoto que posee la Central Hidroeléctrica.

## 2.2.1 Sistemas de Control

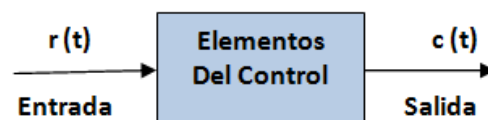
Sistema de control, es aquel sistema de regulación retroalimentado, el cual se encarga de censar variables establecidas denominadas entradas; las cuales hacen referencia a una salida establecida.

Estos sistemas están compuestos por elementos de alto rendimiento como son: plc's, sensores, actuadores y otros dispositivos, los cuales le dan al sistema la capacidad de leer un conjunto de señales que varían según el proceso y las condiciones en donde se encuentren; siendo el objetivo principal mantener estable el valor de la salida de un sistema a pesar de las perturbaciones que se puedan presentar en el mismo. [4]

Dentro de un proceso siempre se requerirá de la supervisión y control del mismo, tanto para mantener el correcto funcionamiento, como para realizar modificaciones, debido a variables inesperadas que pueden presentarse; y así dotarle de un nivel de seguridad óptimo al sistema.

La supervisión se encarga de mejorar el rendimiento del control, al seleccionar ciertos tipos de datos necesarios para el mismo, analizándolos para conocer como varían estos en función del tiempo, optimizando recursos tanto en hardware como en software.

En la figura 2.1 se puede apreciar el esquema general de un control, en donde la entrada recibe acciones externas o variables de entrada y cuyas respuestas a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Debido a que los procesos son de naturaleza dinámica siempre ocurren cambios y de no tomarse las acciones pertinentes, las variables del proceso no cumplirán con las condiciones del diseño. [4]



**Figura 2.1:** Esquema general de un Sistema de Control.

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

Estos sistemas dotan al personal humano la facilidad de monitorear el proceso de control desde cualquier lugar dentro de una empresa a través de una aplicación o herramienta informática, la cual lleve inmersa la ejecución del control, además permiten limitar el acceso a los procesos y operaciones de control.

### **2.2.2 Tipos de Sistemas de Control**

Dentro de los sistemas de control se tiene los siguientes tipos: sistemas de control en lazo abierto, lazo cerrado y los controladores PID.

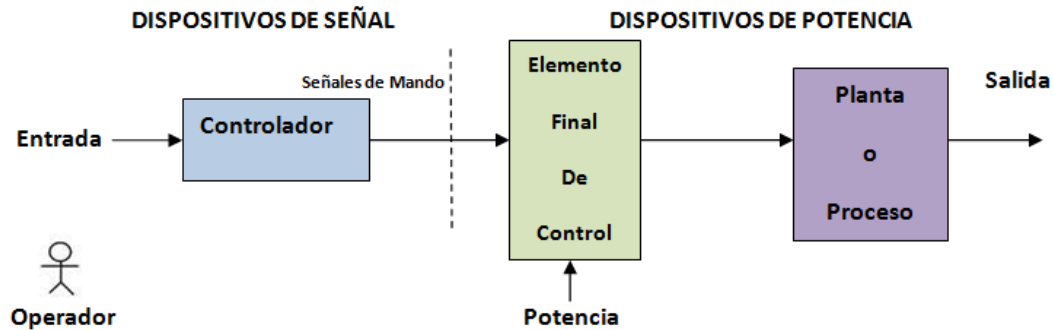
### **2.2.3 Sistemas de Control en Lazo Abierto**

Los sistemas de control en lazo abierto son aquellos en los cuales la salida no influye sobre la acción de control, es decir la salida no tiene efecto sobre la señal de control.

Por lo tanto a cada entrada de referencia le puede corresponder una condición de operación fija, la precisión del sistema depende de la calibración, un sistema de control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida.

Estos sistemas de control tienen buena confiabilidad no presentan problemas de estabilidad y la exactitud de este sistema depende de las calibraciones, mientras mayor se calibre el sistema mejor será la exactitud [4].

En estos sistemas lo único que actúa sobre la señal de entrada es el proceso, generando una señal de salida independiente, es decir que la señal de salida no se convierte en señal de referencia para el controlador como se lo puede ver en el siguiente diagrama de bloques de la figura 2.2.



**Figura 2.2:** Sistema de control en lazo abierto

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

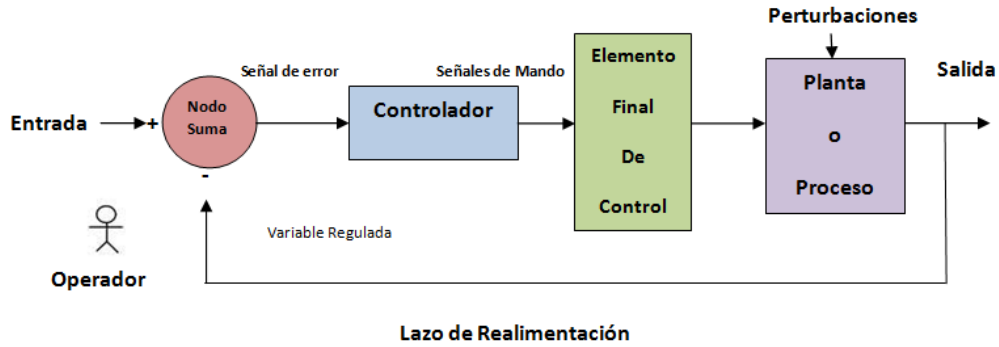
### 2.2.4 Sistemas de Control en Lazo Cerrado

Un sistema de control en lazo cerrado es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. [3]

También se denominan sistemas de control realimentados, en este tipo de sistemas se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. [3]

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación entre la señal de entrada y la señal de salida de realimentación, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El esquema de bloques que define esto se lo puede apreciar en la figura 2.3. [3]





**Figura 2.3:** Sistema de control en lazo cerrado

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

Este sistema de control reduce considerablemente el error (debido a perturbaciones), tiene mayor exactitud que el sistema de lazo abierto mejorando así el desempeño del sistema de control. Presenta mayor complejidad que el sistema de lazo abierto por lograr minimizar la inestabilidad del sistema. [3]

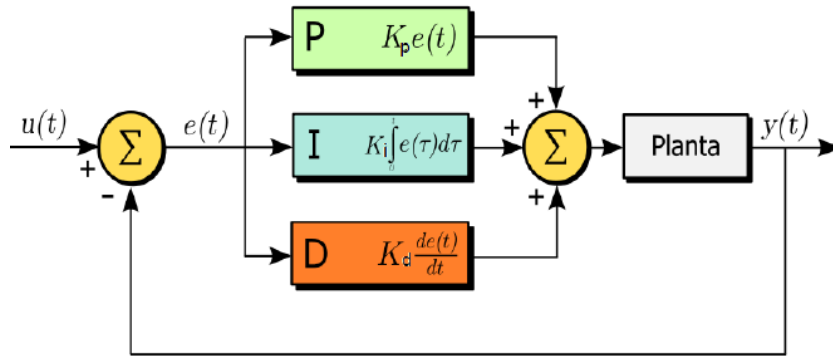
### 2.2.5 Controladores PID

Un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) corrige la diferencia entre el valor medido y el valor que se quiere obtener, calculando el error y luego sacando una acción correctiva con el fin de ajustar la salida del proceso dentro del valor deseado. [6]

La idea básica del controlador PID es simple y similar a la toma de decisiones del ser humano que se basa en su conocimiento del pasado, presente y en su capacidad para predecir el futuro. El controlador PID hace lo mismo para el control automático; da tres términos:

1. Un término proporcional que genera una reacción al error presente.
2. Un término integral que genera una reacción basada en la suma de errores recientes.
3. Un término derivativo que representa la predicción a futuros errores, reaccionando de acuerdo a la tasa de variación actual del error.

Es por esto que el algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo de manera general como se lo puede apreciar en la fig. 2.4. [6]



**Figura 2.4:** Estructura de un Controlador PID

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales generando la siguiente ecuación para un controlador mediante:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

**Ecuación 2.1:** Ecuación general para un Controlador PID

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

Donde:

$u(t)$  es la señal de control

$e(t)$  es el error entre la diferencia y el valor real

$K_p$  es la ganancia proporcional

$K_i$  es la ganancia integral

$K_d$  es la ganancia derivativa

Esta ecuación indica que la suma de las acciones proporcional, integral y derivativa es usada adecuadamente por el controlador que luego ajusta el proceso con los correspondientes elementos de control. [6]

### **2.2.6 Controlador Lógico Programable (PLC)**

Hace no mucho tiempo el control de procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. [6]

Además cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y una mayor inversión económica.

El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control. Esto comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada se requería una estricta mantenimiento planificada. Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento. [6]

Los Controladores Lógicos Controlables o PLC's se introdujeron en la industria principalmente para eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores, pero además de costos se optimizó espacio, tiempo de respuesta, seguridad y fiabilidad en procesos de gran complejidad. [6]



**Figura 2.5:** PLC Siemens

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

### **2.2.7 Sistemas de Generación de Energía Eléctrica**

La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica o lumínica, entre otras), en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. [7]

Desde que se descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han creado sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en

todo el planeta. Así, los países industrializados o del primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países en vías de desarrollo apenas disfrutan de sus ventajas. [7]

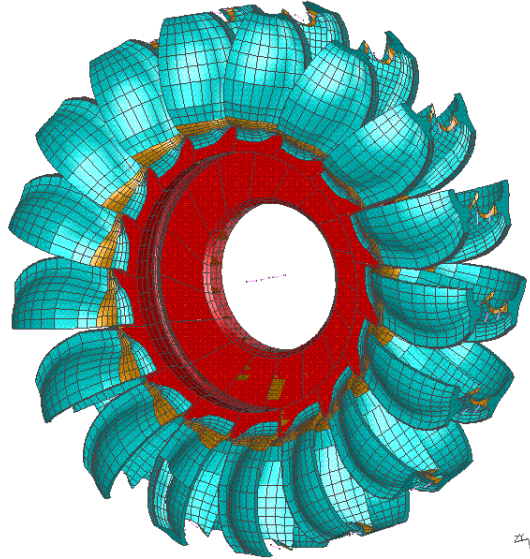
La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentadores de agua instalados en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos.[7]

En general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que está planificado que sean utilizados; se consideran de base la nuclear y la eólica, de valle la termoeléctrica de combustibles fósiles, y de pico la hidroeléctrica principalmente.

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en químicas cuando se utilizan plantas de radioactividad, que generan energía eléctrica con el contacto de esta, termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales nombrados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador de corriente, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada. [7]

### 2.2.8 Centrales hidroeléctricas

La central hidroeléctrica para la generación de energía eléctrica aprovecha la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a un nivel más alto que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. [7]



**Figura 2.6:** Rotor de una turbina de una central hidroeléctrica.

**Fuente:** <http://electronicaunimag.blogspot.com/p/clases-de-control-i.html>

La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos MW, hasta varios GW. Hasta 10 MW se consideran minicentrales. [7]

Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador.

- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

### **2.2.9 La Central Hidroeléctrica Agoyán**

Central Hidroeléctrica ubicada en la parte central del país, cerca a la ciudad de Baños, en la provincia de Tungurahua. Aprovecha el caudal de las aguas del río Pastaza, y es la tercera generadora hidroeléctrica más importante del país, está compuesta por: el embalse, la represa, la casa de máquinas, la subestación. La represa se encuentra constituida por 18 bloques en donde se encuentran ubicados los vertederos, el desarenador, desagües de fondo, y la obra de toma.

Central Hidroeléctrica con una capacidad de generación de 156 MW, por lo cual requiere una demanda de agua en el túnel de carga de 120 m<sup>3</sup>/s, es decir 60 por cada turbina; dicha demanda se le suministra y controla mediante la represa.

Para que la Central Hidroeléctrica se encuentre operando el embalse debe tener un nivel mínimo de 1646 m.s.n.m. y máximo de 1651 m.s.n.m. A su vez el caudal de agua mínimo que deba atravesar el túnel de carga debe ser de con el cual se produce una potencia mínima de 30 MW y máxima de 120 para producir 156 MW. [8]

Por último, conviene mencionar que para incrementar en algo el caudal afluente del embalse, se han derivado hacia el mismo las aguas de dos quebradas llamadas Santa Rosa y Chaguaryacu las cuales aportan con un caudal de 1,00 y 0,35 m<sup>3</sup>/s respectivamente. [8]

### **2.2.10 Descripción Técnica de la Represa Agoyán**

La Represa Agoyán tiene una longitud aproximada de 2000 metros y con un ancho del orden de 100 metros excepto en el área de la Represa donde se amplía hasta tener un ancho de 300 metros. [8]

Estas características representa un volumen útil de 750 000 y una variación en el nivel del embalse de unos cuantos centímetros ocasiona que se deje de erogar o a su vez erogar mayor cantidad de agua. Afectando así la capacidad de generación de la Central. [8]

El tipo de la represa es de hormigón a gravedad, su corona está situada en la cota 1653 m.s.n.m. y está constituida por dos tramos rectos; el primero con un azimut de  $13^\circ$  y una longitud de 155,25 metros y el segundo con un azimut  $354,2021^\circ$  y una longitud de 147,13 metros. [8]

El cuerpo de la presa está dividido en 18 bloques, de los cuales 10 corresponden a bloques normales (del 1 al 4 el 11 y del 14 al 18) y tienen una longitud de 16 metros excepto el bloque 1 que tiene 20,21 metros y el 18 que tiene 17,13 metros. [8]

Los bloques restantes son bloques específicos que cumplen funciones especiales tales como: Los bloques 5,8 y 9 que tienen una longitud de 19 metros albergan los 3 Vertederos, los cuales están compuestos por la compuerta plana y clapeta cada uno. La capacidad de descarga desde la cota 1651 para los 3 Vertederos es de 3600 m<sup>3</sup>/s. [8]

Los bloques 6 y 7 tienen una longitud de 13 metros y constituyen los desagües de fondo del embalse, cada bloque tiene un vano cuadrado de 9x9 provistos de una compuerta radial para operación y una compuerta plana para mantenimiento, la capacidad máxima de descarga para los desagües de fondo es de 2000 m<sup>3</sup>/s. [8]

El bloque 10, con una longitud de 16 metros es el punto de cruce del túnel de carga con la represa y contiene la estructura de la compuerta plana de la toma, aguas debajo de la cual existe un pozo de acceso y aeración al túnel de carga.

El bloque 12 también con una longitud de 16 metros contiene una pequeña compuerta de 2x2 , seguida de una rápida que facilita la evacuación de los cuerpos flotantes que se acumulan frente a la toma, además por este bloque se accede a la plataforma de operación del equipo de limpieza de la rejilla de la toma. El bloque 12 está atravesado por un ducto



que proviene del canal de evacuación de basura del sistema de limpiearejas y descarga en la rápida antes mencionada.

El bloque 13 con una longitud de 16 metros sirve como desagüe de fondo del desarenador, tiene un vano de 4 metros de ancho por 5 metros de altura, provisto de una compuerta radial para operación y una compuerta plana para mantenimiento, la capacidad de descarga es de 300 m<sup>3</sup>/s. [8]

La ataguía sumergida, ubicada 150 metros aguas arriba de la represa está conformada por un muro de hormigón a gravedad y por un muro de hormigón en arco. Esta ataguía limita el estanque desarenador que tiene 150 metros de largo y 90 metros de ancho y cuyo objeto es favorecer la sedimentación de partículas finas de las aguas a ser turbinadas. [8]

### **2.2.11 Obra De Toma**

La obra de toma permite captar los 120 m<sup>3</sup>/s con los que opera la central Agoyán entre el nivel mínimo (1645 m.s.n.m.) y máximo (1651 m.s.n.m.) de operación normal del embalse; Esta captación de agua es conducida desde la Represa hacia Casa de Maquinas por un tubo de acero tal como se muestra en la figura 2.6. [8]

Se encuentra ubicada en el bloque 12 de la presa y está conformada por tres aberturas de 8 m por 6 m. Las tres aberturas están provistas de rejillas sobre las cuales opera un equipo limpia rejillas que evacua las basuras en un canal de limpieza. [8]

Una pequeña compuerta sirve de toma de agua para la evacuación de la basura que es recogida en un canal y luego transportada a la compuerta de cuerpos flotantes para ser descargada aguas abajo de la presa.



**Figura 2.7:** Obra de Toma

**Fuente:** <http://www.hidroagoyan.com/index.php>

La obra de toma está compuesta por los siguientes elementos:

- Rejillas
- Sistema limpiarejas
- Sistema de evacuación de materiales recogidos por el limpiarejas
- Compuerta de toma con su respectivo sistema de izaje
- Sistema de detección de obstrucción de las rejillas y del sobreflujo
- Sistema de mando de los equipos

### **2.2.12 Rejillas**

Son rejillas metálicas cuyo objetivo es la retención de cuerpos sólidos grandes los cuales podrían entrar al sistema hidráulico y causar obstrucciones o averías en los equipos instalados en la casa de máquinas, las mismas que se las puede observar en la figura 2.7. Las rejillas están formadas por pletinas inclinadas 74,5 grados sobre la horizontal, de 50 x 20 mm de sección transversal. Estas se encuentran espaciadas 98,9 entre ejes (formando paneles de 1.920 x 3130 mm). [8]



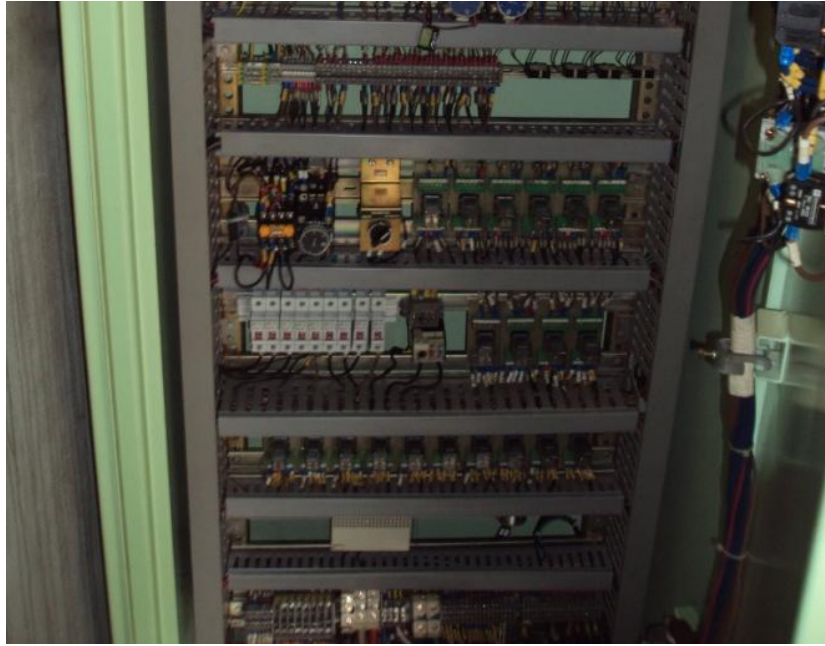
**Figura 2.8:** Rejillas

**Fuente:** <http://www.hidroagoyan.com/index.php>

### **2.2.13 Sistema Limpia Rejas:**

La función de este sistema limpia Rejas es la de realizar una limpieza de las mismas, llevando la basura recogida al canal de limpieza, todo este proceso se lo realiza desde el armario de control, el cual se o puede apreciar en la figura 2.8 y está compuesto por los siguientes elementos.

- Este sistema se compone de:
- Estructura tipo pórtico
- Sistema de traslación
- Rampa móvil
- Carro Limpia rejas
- Sistema de Izaje principal y secundario
- Sistema Neumático con 3 cilindros
- Cabina de comando, lámparas reflectoras



**Figura 2.9:** Armario de control del Sistema de limpieza anterior

**Fuente:** <http://www.hidroagoyan.com/index.php>

### **2.3 Propuesta de Solución**

El desarrollo de un sistema de control automático, permitirá tener un mejor control de la limpieza de las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán, y así aprovechar por completo el caudal de agua que se necesita para la operación adecuada de las turbinas de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

En el presente proyecto de investigación la modalidad que se empleó fue: investigación aplicada, ya que se dio soluciones reales al problema, por medio de una propuesta práctica, que permitió aprovechar al máximo los recursos hídricos necesarios para la generación de energía eléctrica, por medio de un sistema de control automático, capaz de sensor y controlar el estado de las rejas en la toma de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

De igual manera se puso en práctica la investigación de campo, ya que fue necesario acudir al sitio donde están ubicados los equipos y elementos del Sistema, para el estudio y análisis de su funcionamiento.

Además se utilizó la investigación bibliográfica-documental en gran medida, ya que se obtuvo información de libros, revistas, fichas técnicas de manuales y documentos acerca de los Sistemas de Control de Limpieza y de los elementos y procesos que los componen, lo cual fue necesario para el desarrollo de la investigación.

### **3.2 Recolección de la Información**

Las técnicas que se utilizaron para la recolección de la información en el presente proyecto de investigación fueron la observación, que se realizó en las instalaciones de la central y los documentos como manuales de operación y hojas de datos, las cuales contenían planos y diagramas del sistema que se modernizó.

### **3.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Después de haber obtenido la información necesaria se realizó un proceso de análisis estadístico y técnico el cual consistió en lo siguiente:

- Revisión de la información recolectada.
- Procesamiento y análisis de datos obtenidos de los registros de trabajo.

### **3.4 Desarrollo del Proyecto**

1. Descripción de las rejillas ubicadas en el ingreso de la toma de carga de la represa.
2. Análisis del sistema empleado para el control de desperdicios en las rejillas.
3. Estudio del proceso para el sensado de presión o pérdida de carga en las rejillas.
4. Verificación de la existencia y funcionamiento, de los elementos pertenecientes al sistema de limpieza que se utilizaba en la represa.
5. Determinación de los nuevos elementos de control que se van a integrar al sistema para su modernización.
6. Revisión de manuales acerca de los procesos de control que pueden realizarse con el controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-300.
7. Diseño del sistema de control con el PLC.
8. Creación del programa para el proceso del sistema de control.
9. Implementación de los nuevos dispositivos de control en el sistema.
10. Realización de pruebas para verificar el funcionamiento del sistema.
11. Desarrollo del informe final para la operación del sistema de control automático.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

A continuación se describe el desarrollo de la propuesta en base a los objetivos planteados.

#### **4.1 Estado de las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.**

La bocatoma de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán está formada por tres aberturas, cada una de ellas posee un juego de 8 rejas que impiden el ingreso de sólidos grandes, que eventualmente podrían ocasionar daños importantes en los equipos de generación instalados en la casa de maquinas.

Son suministradas un total de 24 rejas, ubicadas en el bloque 12 de la represa, las que se reparten en 3 aberturas de 8 m por 6 m en la bocatoma; cada una de ellas es una estructura de acero TISTE 36, en espesores variables de 8 a 20 mm y de dimensiones 1900 x 3130 x 200mm. [8]

Las rejas están ancladas al umbral, viga intermedia y dintel, estas últimas constituyen las piezas fijas de segunda etapa. Su peso aproximado es de 842 Kg, con un nivel de umbral de 1637 m.s.n.m. y un nivel de dintel de 1642,769 m.s.n.m. Para su vinculación se han previsto vástagos inoxidable roscados en las piezas fijas y mediante tuercas y arandelas se fijan los paños de la reja. [8]

En las rejas la distancia entre centros de pletinas es de 98,9 mm que aseguran la retención de sólidos.

Una pequeña compuerta sirve de toma de agua para la evacuación de la basura que es recogida sobre las cuales opera un equipo limpia rejas que evacua las basuras en un canal de limpieza y luego transportada a la compuerta de cuerpos flotantes para ser descargada aguas abajo de la presa.

Para mantener en condiciones óptimas de trabajo a las rejas, permitiendo el libre desplazamiento del carro limpia rejas, se recomienda verificar periódicamente lo siguiente:

- a) Todas las tuercas de fijación a las piezas fijas de segunda etapa, deben estar ajustadas correctamente.
- b) Los rieles deben estar libres de daños o acumulación de basuras, de manera que se efectúe un movimiento adecuado del carro limpia rejas.

#### **4.2 Control de desperdicios en las rejas en la toma de carga de la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán.**

La contaminación de los ríos es una problemática que ha ido creciendo con el aumento de la población de la ciudad, las cuales han nacido y establecido a las orillas de los mismos; la mayoría de estos desperdicios que se acumulan en los ríos son conducidos hacia sus desembocaduras, en este caso como la represa de la Central Hidroeléctrica Agoyán se encuentra ubicada en el Rio Pastaza, esta central aprovecha el caudal de las aguas de este río, llenando así su embalse para una posterior evacuación.

La toma de carga de la represa es la encargada de transportar el caudal de agua necesario para el funcionamiento de las turbinas, esta toma esta protegida por un juego de tres rejas



las cuales impiden el paso de sólidos grandes; estos desperdicios se van acumulando poco a poco en las rejillas produciendo un taponamiento parcial o total en las mismas.

Por este motivo se procedió a habilitar el sistema encargado de la limpieza de las rejillas, el cual para detectar el nivel de obstrucción realiza una medición de carga en base al caudal existente antes y después de las rejillas, calculando la pérdida de carga que se produce en la toma cuando se encuentre obstruida.

#### **4.3 Sistema de detección de pérdida de carga en reja y sobreflujo.**

Las presiones a un lado y otro lado de la reja y en el túnel de toma de carga, producen una señal de corriente proporcional al diferencial de las mismas. Estas presiones diferenciales son captadas por un sensor tipo WRD1R (Rittmeyer), que se lo puede observar en la figura 4.1, y al cual se lo describe técnicamente en la tabla 4.1.



**Figura 4.1:** Sensor tipo WRD1R Rittmeyer

**Fuente:** CELEC E.P. Hidroagoyán, “Unidad de Generación Hidroeléctrica”, 2010,  
<http://www.hidroagoyan.com/index.php?option>

La medición de pérdida de carga en las rejillas, se obtiene de la diferencia de presión que existe a uno y otro lado de las mismas.

**Tabla 4.1:** Especificaciones técnicas del sensor WRD1R Rittmeyer.

WRD1R	Diferencia de Nivel				Diferencia de Presión			
	1	2	3		1	2	3	
Rango de medición ajustable max. $\Delta p$	0.8	4	20	m	0.08	0.4	2	bar
Rango de medición ajustable min. $\Delta p$	0.12	0.6	3	m	0.012	0.06	0.3	bar
Señal de salida	4 – 20 mA							
Entrada auxiliar	24 VDC – 45 VDC				Normal y remota.			
Precisión	+- 0.2 %							
Estabilidad	+- 0.25 %				Durante 6 meses.			
Influencia de los cambios de presión atmosférica	-150.....-250 ppm/bar							
Presión ambiente max.	140 bar							
Peso	5.5 Kg							
Tipo de protección	IP54 DIN 400 50							

**Elaborado por:** El Investigador

El equipo electrónico está compuesto por: tres transmisores de presión diferencial, el transmisor 1 para la medición del sobreflujo, el transmisor 2 y 3 para la medición de pérdida de carga en las rejillas 2 y 3 respectivamente, todo este equipo electrónico es alimentado con tensión de 48 VCC.

Los transmisores entregan una señal eléctrica de 4 – 20 mA correspondiente a un variación de altura  $\Delta h$  de 0 – 1m; estos equipos son de funcionamiento a dos hilos, es decir que por los mismos alambres que reciben la alimentación se está enviando la señal de corriente.

La señal de 4 – 20 mA se introduce en una tarjeta tipo H4R – N2E (Rittmeyer), que se encuentra dentro del mismo dispositivo como se lo puede observar en la figura 4.2, la cual compara esta señal con 2 valores de referencia ajustables en el frente de la tarjeta, de 0 a 100%, pudiendo darse en un caso la señal de reja semiobstruida (por ejemplo para el 60%) y de reja obstruida (para el 80%), produciendo en cada caso la actuación de sendos comparadores los cuales excitaran 2 relés que al cerrar sus contactos excitaran 2 relés mas, que darán las señales para las alarmas correspondientes, las que quedaran disponibles unas en regleta como señales libres de potencial y otras serán señalizadas en el tablero local mediante señalización luminosa. La alimentación del circuito de señalización es de 48 VCC, el que está protegido por medio de fusibles.



**Figura 4.2:** Tarjeta tipo H4R – N2E Rittmeyer

**Fuente:** CELEC E.P. Hidroagoyán, “Unidad de Generación Hidroeléctrica”, 2010,  
<http://www.hidroagoyan.com/index.php?option>

Un rack con plaquetas electrónicas reciben dichas señales y por comparación con un valor preajustado dará la señal del estado de la carga de las rejas, las cuales son semiobstruida y obstruida. Para el sensado de sobreflujo la señal es comparada con los sensores ubicados, en la tubería de toma de carga, los cuales nos darán una señal de alarma y otra señal de disparo. Estas dos son ajustables y están reguladas para el 80% del valor de referencia. Estos valores de ajustes están dados como ejemplo los cuales podrán ser ajustados en cualquier valor de 0 a 100%.

#### 4.4 Elementos que componen el sistema de limpieza de las rejás.

Los elementos que se detallan a continuación en la tabla 4.2 componen el sistema de limpieza de las rejás, se describe su nomenclatura y la función que realiza cada uno de estos.

**Tabla 4.2:** Elementos que componen el sistema de limpieza de las rejás

<b>Referencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Función</b>
1B10	Medidor de presión diferencial rittmeyer	Transmisor de presión diferencial reja1(sobreflujo)
2B10	Medidor de presión diferencial rittmeyer	Transmisor de presión diferencial reja 2
3B10	Medidor de presión diferencial rittmeyer	Transmisor de presión diferencial reja 3
B12	Termostato	Termostato de calefacción del tablero
F1...3	Fusibles	Fusible de protección del transformador T1
F5-6	Fusibles	Fusible de protección del circuito de comando, señalización y alarma
F100	Fusible	Fusible de protección de la luz H100
F15...17	Fusibles	Fusible de protección del transformador T2
H6	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de sobrecarga del motor M1
H7	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de falta de tensión de 127VCA
H8	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de presión anormal del compresor
H21	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de la reja 2 obstruida

<b>Referencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Función</b>
H31	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de la reja 3 obstruida
H22	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de la reja 2 semiobstruida
H32	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de la reja 3 semiobstruida
H41	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de disparo por sobreflujo reja 1
H42	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de alarma por sobreflujo reja 1
H50	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de motocompresor M1 parado
H51	Lámpara 48VCC	Luz indicadora de motocompresor M1 en marcha
H100	Lámpara 48VCC	Luz para la iluminación interior del panel
KA3	Contactador auxiliar marca telemecanique ref. CA2-DN122 bobina	Contactador auxiliar de falta de tensión 127 VCA
KA82-83	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de los presostatos S82- S83
KM1		Contactador de arranque del motor M1
KA31-32	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarma H6
KA41-42	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarma H7
KA51-52	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarma H8
KA61...64	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarmas reja 2

<b>Referencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Función</b>
KA65...68	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarmas reja 3
KA69...72	Relé camsa RE6010 bobina 48VCC	Relé auxiliar de alarmas y disparo por sobreflujo reja 1
M1	Motocompresor del sistema P=1,5KW 480V-60HZ	Motocompresor para la provisión de aire comprimido M1
P12	Equipo de medición rittmeyer	Equipo de medición rittmeyer
Q1	Guardamotor tripolar automático marca siemens tipo 3VE1 510-2K REG. 4-6,3A	Guardamotor del motor M1
RC1-30	Block antiparásito telemecanique ref. LA1-D22	Block antiparásito
R17	Resistencia de calefacción para interior de tablero en forma de U largo máximo=300mm P=200W UN=220V-60HZ	Resistencia de calefacción del tablero
S07	Botón giratorio de llave 2 posiciones fijas telemecanique ref. XB2-BG21	Selector de 2 posiciones, 0- automatico, 1-mantenimiento
S8	Unidad de mando telemecanique ref. XB2-BA42 color rojo	Pulsador de cancelar alarmas
S10	Unidad de mando telemecanique ref. XB2-BA42 color negro	Pulsador de prueba de lámparas
S12	Unidad de mando telemecanique ref. XB2-BA42 color rojo	Pulsador para reposición de la electroválvula Y1
S17	Botón giratorio telemecanique ref. LA9-D09 980	Selectora de calefacción del tablero
S50	Pulsador NC	Pulsador de parada del motocompresor

<b>Referencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Función</b>
S51	Pulsador NA	Pulsador de arranque del motocompresor
S81	Detector de presión honeywell L404A	Presostato de accionamiento del equipo compresor
S82	Presostato norri modelo estanco 342	Presostato de muy alta presión del compresor
S83	Presostato norri modelo estanco 342	Presostato de muy baja presión del compresor
S100	Fin de carrera neuman serie X-1	Fin de carrera de la luz H100
T1	Transformador 480/127V - 60HZ - 200VA con derivación de +-5% en el primario	Transformador de comando
T2	Transformador 480/127V - 60HZ - 200VA con derivación de +-5% en el primario	Transformador de calefacción
V50-51	Bornera portadiodos marca zoloda tipo GSK-SD con diodo 400V.1A	Diodo para prueba de lámparas
X1	Bornera zoloda tipo SSK-110	Bornera de potencia
X2	Bornera zoloda tipo SSK/N 0525-L/B1	Bornera de comando e interconexión de equipos impsa
X3	Bornera zoloda tipo SSK/N 0525-L/B1	Bornera de señales emitidas para el tablero
XP	Bornera zoloda tipo SSK/N 0525-L/B1	Bornera de interconexión con la puerta del tablero
Y1	Electroválvula direccional a solenoide tipo EL-10B 48VCC servicio continuo	Electroválvula de habilitación del tanque del N2

**Elaborado por:** El Investigador

### **4.3 Fundamento para el diseño de la lógica de control para la limpieza de las rejjas en la toma de carga.**

La lógica de control está encaminada a mantener convenientemente sin desperdicios las rejjas que protegen el ingreso de la toma de carga, con el fin de captar el mayor porcentaje de caudal de agua posible.

Es así que, la tarea más importante consiste en mantener el flujo de agua dentro de un rango establecido de acuerdo al requerimiento de las turbinas. Esta operación debe llevarse a cabo con el fin de maximizar la energía producida por la Central a través del adecuado aprovechamiento del agua de la represa. [9]

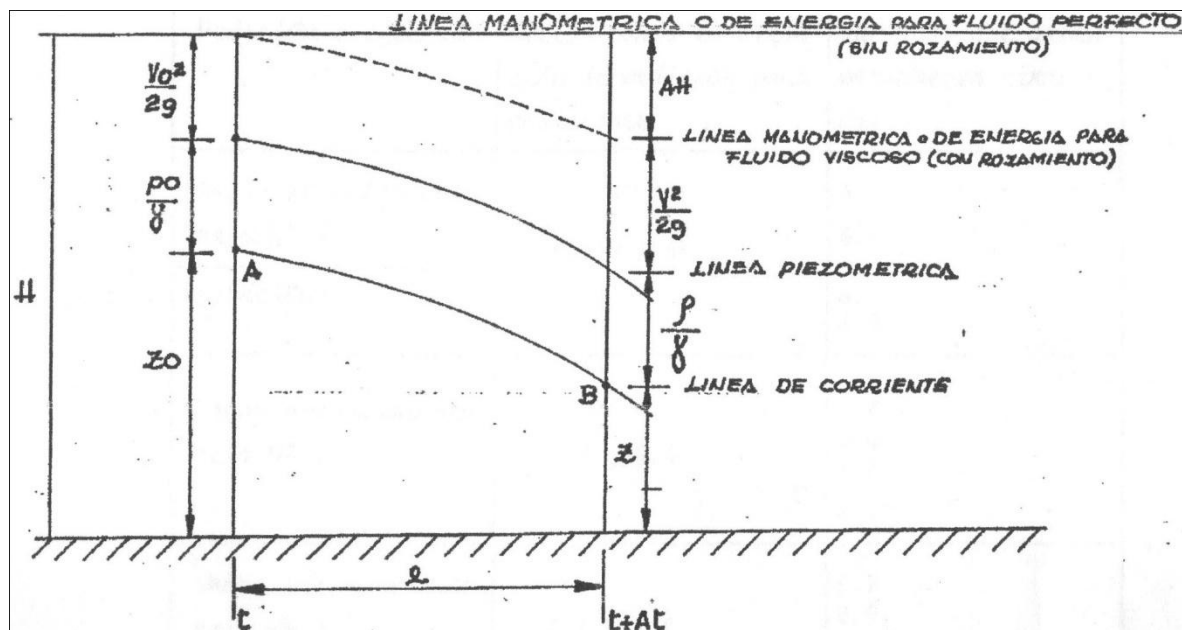
En vista de las consideraciones mencionadas, se ha diseñado una lógica de control confiable que no deje al azar las acciones necesarias para controlar la acumulación de desperdicios.

Cabe mencionar, que el personal de la central ha facilitado registros de una lógica para el control automático de la limpieza de las rejjas que habría sido implementada y probada en el año 1987 con equipos y elementos antiguos; pero debido al paso de los años y con la evolución de la tecnología, han quedado deshabilitados y expuestos a una mejora. [9]

El funcionamiento del sistema se basa en una simple determinación de pérdida de energía (o de carga) entre dos puntos A y B, entre los cuales pasa el flujo sucesivamente y donde se encuentra una pérdida localizada o distribuida. [9]

En la figura 4.3 se han representado los términos para la ecuación de Bernoulli para movimientos laminares como es el caudal de agua, en donde el valor de  $\Delta H/1$  (pendiente piezométrica), es proporcional a la velocidad del fluido por la tubería. [9]





**Figura 4.3:** Términos de la ecuación de Bernoulli

**Fuente:** INECEL, “Manual del Operador de la Central Agoyán”. 1987.

Si entre A y B está ubicado un elemento con un parámetro específico cuyo estado origine pérdidas de energía (o carga) proporcionales se podrá medir ese parámetro si se determina la pérdida de energía correspondiente. Así tenemos la tabla 4.3:

**Tabla 4.3:** Parámetros que influye para la medición de carga

Elemento	Parámetro	Estado
Reja	Suciedad	Grado de suciedad
Flujo de agua	Velocidad	Sobrevelocidad

**Elaborado por:** El Investigador

Dada la altura de carga sobre el umbral de las rejillas (14 metros), se determina la presión en el secundario de la válvula reductora de presión. Como el criterio es que la presión de aire venza a la máxima carga aceptable por el nivel de agua del embalse, se hace el cálculo descrito en la ecuación 4.1: [9]

Presión de aire en el lado secundario estimada:

$$P = 1,1 \times 1,4 \text{ kg/cm}^2 = 1,54 \text{ kg/cm}^2$$

**Ecuación 4.1:** Presión estimada

**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.3.1 Reja Semiobstruida**

Mediante el selector de dos posiciones S07 en la posición 0 = automático, a través del transmisor de presión diferencial 2B10, ubicado en las rejas 2 y 3 (central y derecha, visto desde aguas arriba), esta condición es sensada por el equipo de medición P12, que emite las señales -2K18(-3K18, para reja 3) que a su vez energizan a los: relés auxiliar de alarmas reja 2(3), KA63 (KA67) y KA64 (KA68), que al autoretenerse permiten que se encienda la luz indicadora de la reja 2 (3) semiobstruida, H22 (H32).

Estas señales (-2K18 ó -3K18), son las que llegan hasta el sistema limpiarrejas e inician las secuencias para la limpieza en todas las rejas, como se lo aprecia en el esquema del anexo 1.

#### **4.3.2 Reja Obstruida**

Al igual que el caso anterior, esta condición se puede detectar en las rejas 2 ó 3, y las señales emitidas por el equipo de medición P12, serán las -2K22 (-3K22), que energizaran a los: relé auxiliar de alarmas reja (3), KA61 y KA62 (KA65 y KA66), que al autoretenerse, encienden la luz indicadora de la reja 2 (3) obstruida, H21 (H31), como se lo observa en el anexo 1.

### 4.3.3 Sobreflujo

Esta condición es también sensada por el equipo de medición P12, que emite la señal - 1K18, que energizan los: relé auxiliar de alarmas sobreflujo, KA71 y KA72, los que al autoretenerse, producen el encendido de la luz indicadora de alarma por sobreflujo, H42.

Si la condición se mantiene durante 180sg, el equipo de medición P12, emite la señal - 1K22, que excita los: relé auxiliar de alarmas sobreflujo, KA69 y KA70, que al autoretenerse, producen el encendido de la luz indicadora de disparo por sobreflujo, H41.

Además, por excitarse el relé auxiliar de alarmas sobreflujo, KA70, esta señal es enviada hasta el control de la compuerta de la toma, iniciándose entonces un descenso de emergencia.

Durante el desarrollo de estas operaciones para la provisión de aire comprimido, M1, está en condiciones de entrar en acción en cuanto así lo indique el presostato de accionamiento del equipo compresor, S81, la carga del pulmón continuara, condición que se señala mediante la luz indicadora de motocompresor en marcha H51, hasta tanto no se supera el valor de presión máxima establecida en el S81.

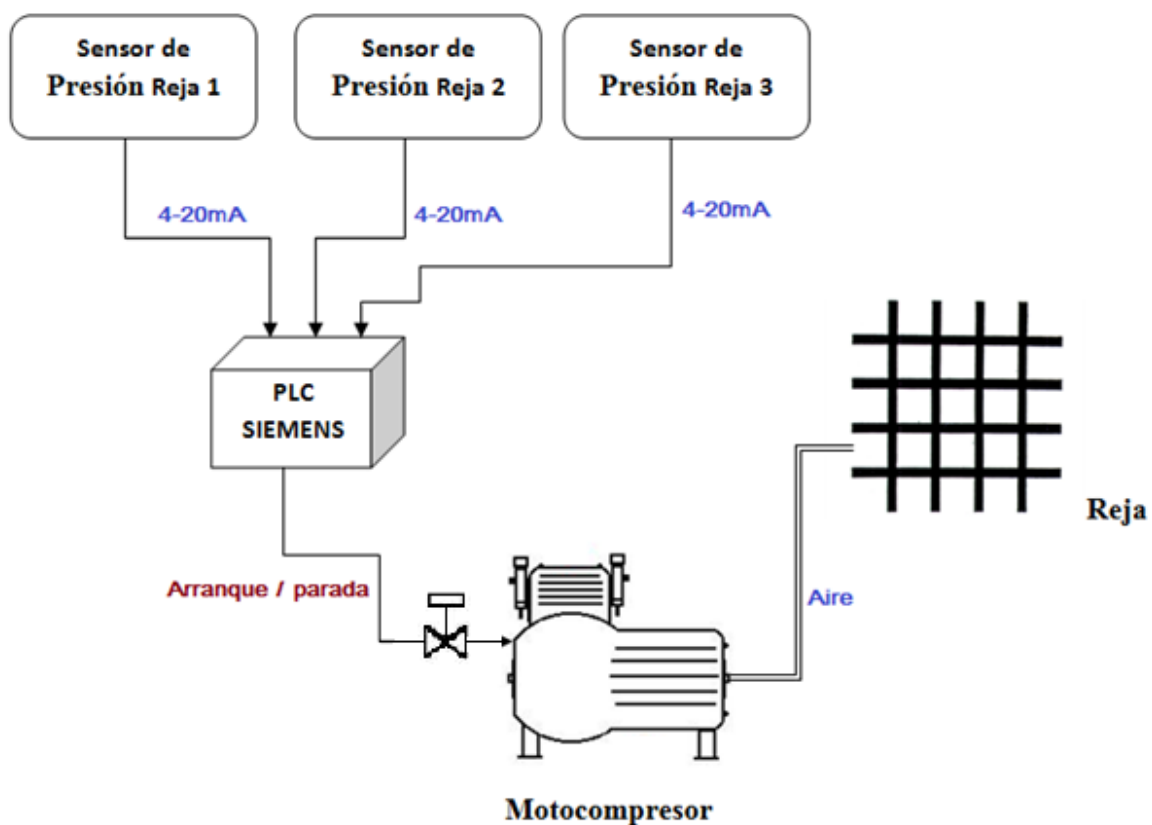
Si este valor es superado por acción del presostato de muy alta presión del compresor, S82, que a su vez excitara el relé auxiliar del presostato S82, KA82, que desexcita al contactor de arranque del motor M1, KM1, produciéndose la detención del motocompresor para la provisión de aire comprimido, M1, apagándose entonces la H1 y encendiéndose la luz indicadora de motocompresor parado, H50.

Si la presión en el pulmón del motocompresor disminuye hasta llegar hacer actuar el presostato de muy baja presión del compresor, S83, se excitara el relé auxiliar del presostato S83, KA83, el que al quedar autoretenido, excitara a la electroválvula de habilitación del tanque del N2, Y1, iniciándose entonces el reemplazo del gas comprimido del pulmón, por el de N2.

Sea que actúe el S82 ó S83, que excitan a los: relé auxiliar de los presostatos S82 – S83, KA82, KA83, estos producirán la excitación de los: relé auxiliar de alarma H8, KA51 y KA52, que al autoretenerse, permitirán el encendido de la luz indicadora de presión normal del compresor, H8, lo cual se lo puede apreciar en el anexo 1.

#### 4.4 Diseño del sistema de control automático para la limpieza de las rejjas en la toma de carga.

Para el diseño del sistema se empleara un controlador lógico programable (PLC) Siemens SIMATIC S7-300. En donde este dispositivo es el encargado de recibir las señales analógicas que envían las tarjetas transmisoras de los sensores, y en base a los datos recibidos realizar un proceso que controle la acción del motocompresor, el cual es el encargado de enviar aire hacia todas las rejjas, para empujar los desperdicios que se acumulan en estas, como se puede observar en la figura 4.4.



**Figura 4.4:** Diseño del sistema de limpieza de las rejjas

**Fuente:** El Investigador

Los dispositivos SIMATIC se hallan muy difundidos en la industria nacional e internacional, en un sinnúmero de ámbitos de aplicación. En el área de la ingeniería estos equipos son conocidos por sus propiedades de comunicación, diagnóstico, seguridad y larga vida útil.

En el caso de los controladores modulares SIMATIC tienen un diseño optimizado para las tareas de control y están concebidos especialmente para su robustez y disponibilidad a largo plazo. Pueden ampliarse en cualquier momento de forma flexible, por medio de módulos de E/S y módulos de comunicación que se acoplan al dispositivo.

Según el tamaño de la aplicación puede seleccionarse el controlador adecuado dentro de una amplia gama según el rendimiento, la especificación de insumos y las interfaces de comunicación. Los controladores modulares pueden utilizarse también como sistemas de alta disponibilidad o de seguridad.

#### **4.5 La serie SIMATIC S7-300 de Siemens**

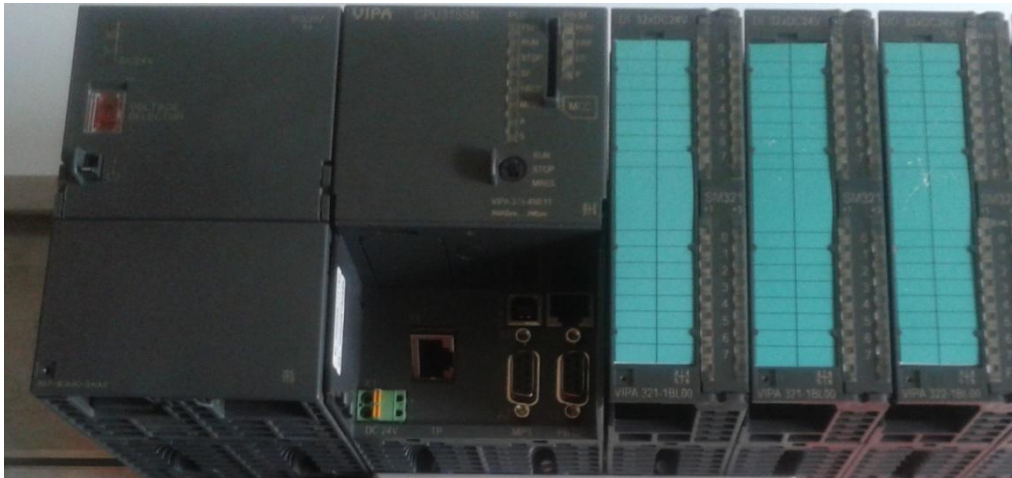
Específicamente hablando, la serie S7-300 tiene una alta variedad de controladores para la industria, con especial énfasis en tecnología de fabricación y en aplicaciones en estructuras centralizadas y descentralizadas. Sus características más destacadas son las siguientes:

- Potentes módulos centrales con interfaz Industrial Ethernet/PROFINET provistos de funciones tecnológicas integradas con versiones de seguridad en un sistema coherente que evita inversiones adicionales. [10]
- El S7-300 se puede configurar de forma modular; no hay ninguna regla de asignación de slots para los módulos periféricos. Hay disponible una amplia gama de módulos, tanto para estructuras centralizadas como para estructuras descentralizadas. [10]

- El uso de una Micro Memory Card como memoria de datos y programa , ahorra costos de mantenimiento. Además, en esta tarjeta de memoria se puede guardar un proyecto asociado con símbolos y comentarios para simplificar el trabajo del servicio técnico. [10]
- Con la automatización estándar, en un S7-300 también se pueden integrar funciones de seguridad en equipos para condiciones ambientales extremas. [10]

Si la tarea de automatización requiere emplear más de 8 módulos, se puede ampliar la unidad central del S7-300 con unidades de ampliación. En total se puede utilizar un máximo de 32 módulos de forma centralizada: hasta 8 módulos por cada unidad de ampliación. Así la comunicación entre los diversos equipos se desarrolla de forma totalmente autónoma a través de éstos módulos de interfaz como se lo observa en la figura 4.5. [10]

De este modo, se puede tener una configuración máxima de hasta 1024 Entradas/Salidas. Por otro lado, en una configuración descentralizada con PROFIBUS DP son posibles 65536 conexiones de Entradas/Salidas. [10]



**Figura 4.5:** Controlador SIMATIC S7-300

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

#### **4.5.1 Especificaciones técnicas del PLC SIMATIC S7-300**

Las especificaciones técnicas para el PLC de marca Siemens que se va a emplear en este proyecto son las siguientes: [10]

- PLC marca: SIEMENS
- Versión: S7-300
- CPU: 314-1AE04-0AB0
- Modulo de Comunicaciones: IM 365 SEND/RECEIVE
- Modulo de entradas digitales: DI 32xDC 24V SM321-1BL00-0AA0
- Modulo de entradas análogas: AI 8x12Bit SM 331-7KF02-0AB0
- Modulo de salidas digitales: DO 16xRelAC120V SM322-1HH00-0AA0
- Alimentación: 220/110 Vca. 50/60 Hz.
- Tolerancia de Fuente: +/- 10%
- Modelos de corriente continua: 12Vcc 110/48/24 Vcc.
- Tolerancia de Fuente: +/- 30%
- Tiempo de reposición apagado/encendido: 3 a 5 seg.
- Microcorte de alimentación: 10ms.
- Temperatura de Trabajo: 0 a 60 grados centígrados.
- Fuente incluida: 24Vcc no regulada.
- Carga máxima: protección con corte a 300mA.

#### **4.5.2 Descripción general del PLC SIMATIC S7-300:**

##### **4.5.3 Entradas:**

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores que pueden ser análogos o digitales. [10]

#### 4.5.4 Entradas Digitales:

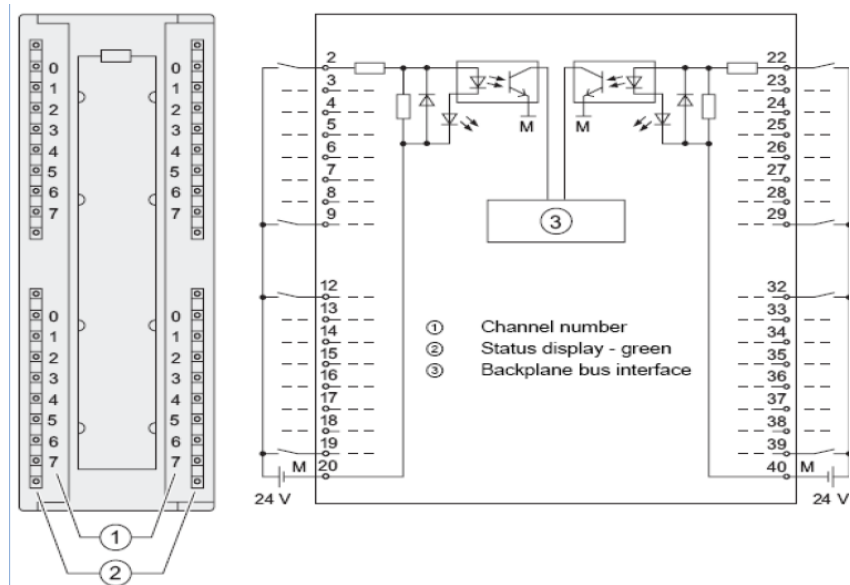
Estos módulos trabajan con señales de tensión, es decir que cuando por una vía del modulo de entradas digitales se tiene la presencia de 24 voltios se interpreta como un "1" lógico y cuando llega 0 voltios se interpreta como un "0" lógico. [10]

El proceso de adquisición de la señal consta de varias etapas, como son:

- La protección contra sobretensiones.
- Filtrado.
- Puesta en forma de la Onda o Acondicionamiento.
- Aislamiento galvánico.

#### 4.5.5 Módulo de entradas digitales

Para ingresar señales digitales al autómeta, se cuenta con el módulo SM321 DI32xDC24V. El cuenta con 32 entradas digitales a 24 Vdc. El modo de cableado de este módulo se muestra en la Figura 4.6. [10]



**Figura 4.6:** diagrama de bloques y Conexión del modulo SM321 D13Xdc24

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>



#### **4.5.6 Entradas Análogas:**

Los módulos de entrada analógicos permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo análogo como son temperatura, presión, nivel, caudal etc.

El funcionamiento de estos módulos es convertir una magnitud analógica en un número, que se deposita en una variable interna del autómata. Debido a que el autómata solamente trabaja con señales de tipo digital, lo que realiza este modulo de entradas analógicas es realizar una conversión A/D (análoga / digital). [10]

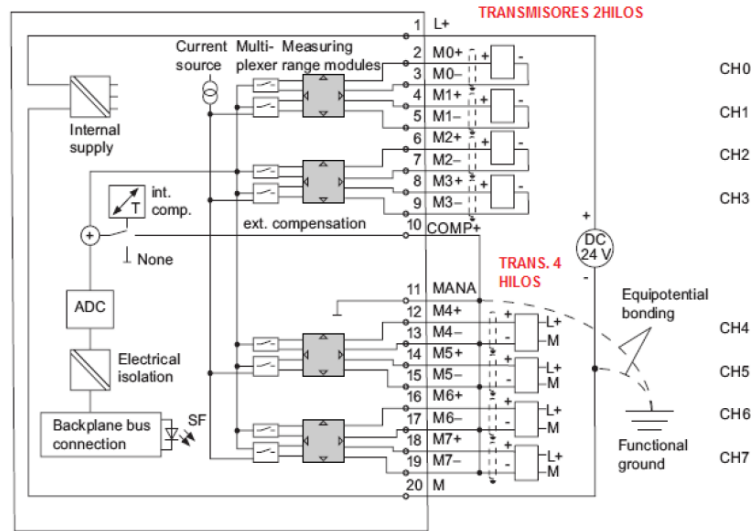
Esta conversión se la realiza con una precisión o resolución determinada (numero de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo). Estos módulos pueden leer tensión o intensidad, dependiendo de la configuración con la cual se encuentre el modulo. [10]

De igual forma el proceso de adquisición consta de varias etapas en las que tenemos:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria

#### **4.5.7 Módulo de entradas analógicas**

Para el ingreso de señales analógicas al autómata, se cuenta con el módulo de entradas análogas SM331 AI8x12bit que se lo puede observar en la figura 4.7. Al cual se pueden cablear hasta 8 entradas, configurables para medir rangos de voltaje, corriente para transmisores a 2 o 4 hilos y resistencias en el caso de utilizar RTD's (Resistance Temperature Detector), para cuando se desee medir temperatura. [10]



**Figura 4.7:** Diagrama de bloques y de conexiones para el módulo SM331 AI8x12bit

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

#### 4.5.8 SALIDAS:

De igual forma como se tiene entradas digitales y análogas, también se tiene salidas digitales y análogas.

#### 4.5.9 Salidas digitales:

Este modulo de salidas digitales permite al autómatas actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admiten ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de la salida digital se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómatas en el caso de módulos de salida a relé. En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al modulo. [10]

Los módulos de salida estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre los elementos que trabajan a la misma tensión; en cambio los módulos de salida electromecánicos al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones diferentes. [10]

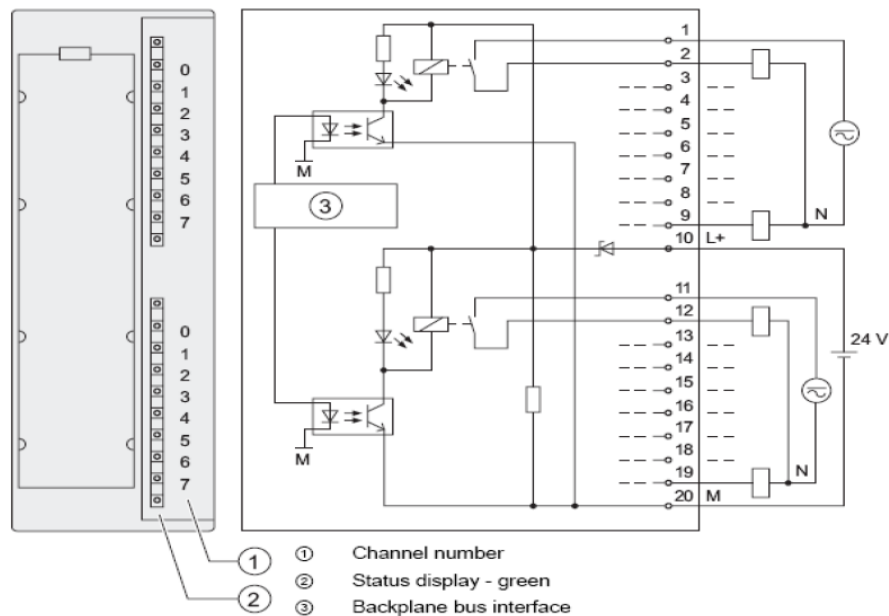
El proceso de envío de la señal digital consta de las siguientes etapas:

- Puesta en forma (acondicionamiento)
- Aislamiento
- Circuito de mando (relé interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos

#### 4.5.10 Módulos de salidas digitales

Para enviar las salidas digitales se cuenta con los módulos SM322 DO16xREL.AC120/230V. El cual maneja hasta 16 salidas, que se encuentran eléctricamente aisladas en dos grupos de 8. El voltaje de la carga empleado a la salida puede ser de 24Vdc a 120 Vdc ó de 48 Vac a 230 Vac. [10]

El diagrama de conexiones de éste módulo se muestra en la Figura 4.8.



**Figura 4.8:** Diagrama de conexiones para el modulo SM322 DO16Xrel.ac 120/230v.

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

#### **4.5.11 Salidas análogas:**

Estos módulos permiten que el valor de una variable numérica del autómatas se convierta en intensidad o tensión según la necesidad del actuador.

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como puede ser los variadores de velocidad, funciones de control y regulación de procesos continuos, etc. [10]

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 salida.

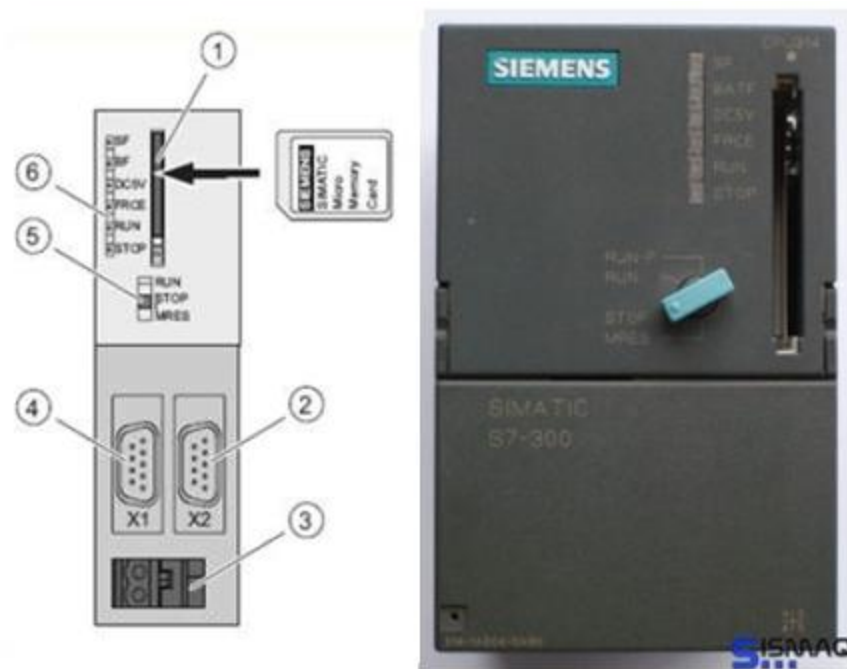
Estos módulos de entrada / salida analógicos tienen un gran proceso de adaptación; las funciones de conversión analógico/digital y digital/análogo son esenciales. Por ello los módulos de entrada/salida analógicos se consideran módulos especiales.

#### **4.5.12 CPU 314**

El CPU 314 es el cerebro del sistema autómatas. Es ideal para tareas que demandan alta velocidad de procesamiento con un número mediano-alto de entradas/salidas. La CPU 314, que se observa en la figura 4.9, presenta los siguientes elementos de manejo y visualización: [10]

1. Ranura de la Micro Memory Card SIMATIC con expulsor
2. Dos interfaces X2 (solo en la CPU 215-2 DP)
3. Conexión para la fuente de alimentación
4. Una interfaz X1 (MPI)
5. Selector de modo

## 6. Indicador de estado y error



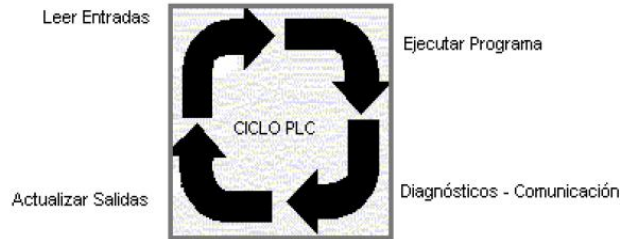
**Figura 4.9:** Elementos de manejo y visualización CPU 314

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

Por medio de la observación de los indicadores de estado y error se puede conocer el funcionamiento operativo normal o erróneo del CPU. Además se puede emplear una Memory Card para utilizarla como dispositivo de carga o de respaldo. [10]

En lo que tiene que ver al funcionamiento del CPU, al comenzar el ciclo, éste lee el estado de las entradas y luego ejecuta el programa. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan finalmente las salidas, este proceso se lo puede observar en la figura 4.10. [10]

El tiempo de ciclo del CPU 314 depende del tamaño del programa, del número de entradas/salidas y del volumen de comunicación requerida.



**Figura 4.10:** Ciclo del CPU 314

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

Las características más importantes del CPU 314 se describen en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4:** Especificaciones técnicas del CPU 314

<b>Especificaciones técnicas del CPU 314</b>	
<b>Memoria de trabajo</b>	
Integrada	96 KB
Ampliable	No
Tamaño máximo de la memoria remanente	64 KB
Memoria de carga	Insertable mediante Micro Memory Card (máximo 8 MB)
<b>Tiempos de ejecución</b>	
Operación de bits	Min. 0,1 $\mu$ s
Operación de palabras	Min. 0,2 $\mu$ s
<b>Datos técnicos</b>	
Aritmética en coma fija	Min. 2,0 $\mu$ s
Aritmética en coma flotante	Min. 3 $\mu$ s
<b>Temporizadores/contadores y su remanencia-programación</b>	
Contadores	256
Temporizadores	256
Marcas	256
Tamaño de bloques de datos	16 KB

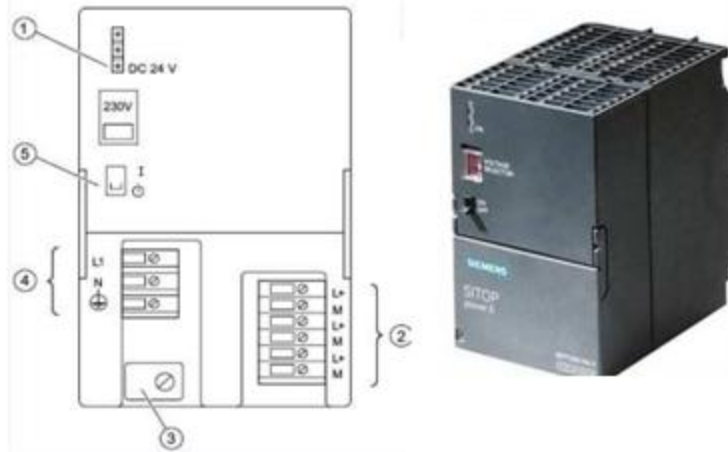
<b>Temporizadores/contadores y su remanencia-programación</b>	
Reloj de tiempo real	Si
Tipo de programación	Lineal, estructurada
Tipos de bloques de programación	OF, FB, FC, DB, SFC, SFB
<b>Configuración</b>	
Bastidores	Máximo 4
Modulo por cada bastidor	8
<b>Interfaces</b>	
Tipo de interfaz	Interfaz RS 485 integrada
MPI (Interface Multipunto – Siemens)	Si
PROFIBUS DP	No
<b>Polarización</b>	
Nominal	
Rango permitido	20.4 – 28.8 Vdc
Consumo de corriente	1 A

**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.5.13 Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación (Power Supply) PS 307 5A, es capaz de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de todos los demás módulos del autómata. La fuente PS 307 5A que se lo observa en la figura 4.11, presenta los siguientes elementos: [10]

1. Indicador de tensión de salida de 24 V DC aplicada
2. Bornes para tensión de salida 24 V DC
3. Alivio de tracción
4. Bornes para tensión de red y conductor de protección
5. Interruptor On/Off para 24 V DC
6. Selector de tensión de red



**Figura 4 .11:** Fuente de alimentación PS 307 5A

**Fuente:** <http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

#### 4.5.14 Interfaces de comunicación

La interfaz multipunto (MPI) está integrada en la CPU 314 del PLC Siemens SIMATIC S7-300, la cual permite tener comunicación con otros autómatas, por medio del terminal de programación o con medios de visualización, como lo son paneles de operador. [10]

#### 4.5.15 Mecanismos de comunicación

El autómata SIMATIC S7-300 posee varios mecanismos de comunicación como:

- Intercambio cíclico del conjunto de datos entre redes de CPU mediante la comunicación global de datos. [10]
- Comunicación de resultado transmitido por las redes utilizando bloques de comunicación. [10]
- Mediante el servicio de comunicación global de datos, las redes de CPU pueden intercambiar datos cíclicamente con cada una de las otras unidades centrales de procesamiento. Esto permite a una CPU acceder a la memoria de datos de otra CPU. [10]

La comunicación global de datos solo puede ser enviada vía interfaces multipunto.



#### **4.5.16 Funciones de comunicación**

El PLC al ser uno de los principales elementos en la automatización y control, que tiene como finalidad aumentar la productividad y disminuir los tiempos en ejecución de procesos de producción.

Esto amerita a que el PLC siempre tendrá que estar comunicado, de una manera eficiente para que los cambios realizados tomen efecto en el menor tiempo posible. En particular el S7-300 viene dotado de 3 interfaces para trabajar en equipo o en red: [10]

- a) Interfaz MPI (Interfaz Multipunto)
- b) Interfaz PPI (Interfaz Punto a Punto)
- c) Interfaz Profibus-DP

#### **4.5.17 Lenguaje de programación**

Para toda la familia de programadores lógicos controlables de la gama SIEMENS SIMATIC S7-300, se emplea el lenguaje STEP 7, que puede representarse de tres formas que son: KOP (esquema de contactos), AWL (lista de instrucciones) y FUP (diagrama de funciones).

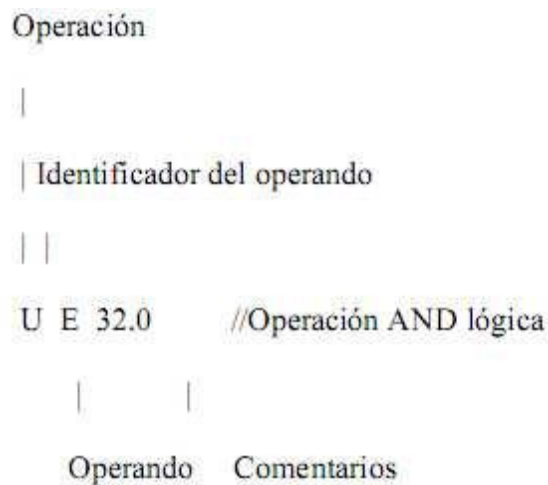
Internamente el autómeta solo trabaja con lista de instrucciones; KOP y FUP es traducido a AWL por Step7. Estas instrucciones son órdenes lógicas elementales que el sistema debe obedecer. Suelen ocupar una línea de programa (dos en algunas instrucciones), y no pueden escindirse en instrucciones parciales.

**a) Lista de instrucciones (AWL):**

Es apropiada para usuarios que provienen del campo de la informática, las instrucciones AWL se dividen en:

- OPERACIÓN: indica la instrucción que se ha de realizar (ej. AND).
- OPERANDO: indica una constante o dirección con la que debe trabajar la operación. Si se trata de una dirección se puede manejar en modo bit, byte o palabra.

En la figura 4.12 se presenta un ejemplo de instrucciones en lenguaje AWL.



**Figura 4 .12:** Lenguaje AWL

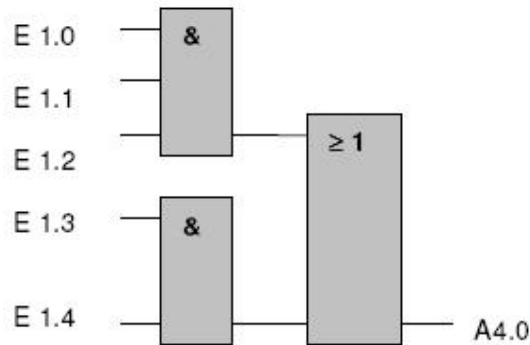
**Fuente:** <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/17473828>

Una instrucción puede no contener operando (ej. NOT). El operando puede ser sustituido por un nombre simbólico por ejemplo (MOTOR\_ON), el cual debe ser especificado al comienzo del programa para indicar a que entrada o salida equivale.

### b) Esquema de funciones (FUP)

Se representa gráficamente con símbolos lógicos. Es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros de algebra booleana para representar la lógica, es apropiado para usuarios que manejen técnicas de circuitería.

En los esquemas FUP se utilizan símbolos normalizados para representar las operaciones, como por ejemplo el esquema de la figura 4.13.

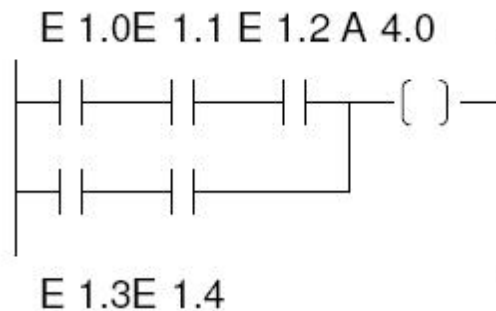


**Figura 4 .13:** Esquema de funciones FUP

**Fuente:** <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/17473828>

### c) Esquema de contactos (KOP)

Se representa gráficamente con símbolos eléctricos como se lo mira en la figura 4.14. Este tipo de representación también es conocida como “Diagrama Escalera” o “Ladder”.



**Figura 4 .14:** Lenguaje AWL

**Fuente:** <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/17473828>

#### 4.6 Desarrollo del programa para el PLC Siemens S7-300

Para la programación del autómata, es necesario identificar todas las entradas y salidas, tanto analógicas como digitales que se necesitan usar para el control de este sistema.

En este caso como se está recibiendo datos por parte de los 3 sensores de presión, estas señales deben ingresar a un modulo de entradas analógicas. Los switches, pulsadores, las señales que llegan de los dos presostatos y la señal de la electroválvula son de tipo digital, las cuales ingresan a un modulo de entradas digitales, y para las salidas del sistema se va a utilizar un modulo de salidas tipo relé; todas estas señales se las detalla a continuación en la tabla 4.5 y 4.6.

**Tabla 4.5:** Entradas analógicas para los módulos Siemens SM 331 y SM 321

<b>Entradas Analógicas SM 331</b>	
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
1B10	Sobreflujo
2B10	Presión reja 2
3B10	Presión reja 3
<b>Entradas Digitales SM 321</b>	
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
Q1	Guardamotor del compresor
S07	Selector automático-manual
S8	Pulsador sobrecarga del motor
S12	Pulsador muy baja presión del compresor
S50	Pulsador arranque motocompresor M1
S51	Pulsador parada motocompresor M1
S81	Señal detector de presión
S82	Señal presostato muy alta presión
S83	Señal presostato muy baja presión

**Elaborado por:** El investigador

**Tabla 4.6:** Salidas tipo relé del modulo Siemens SM 322

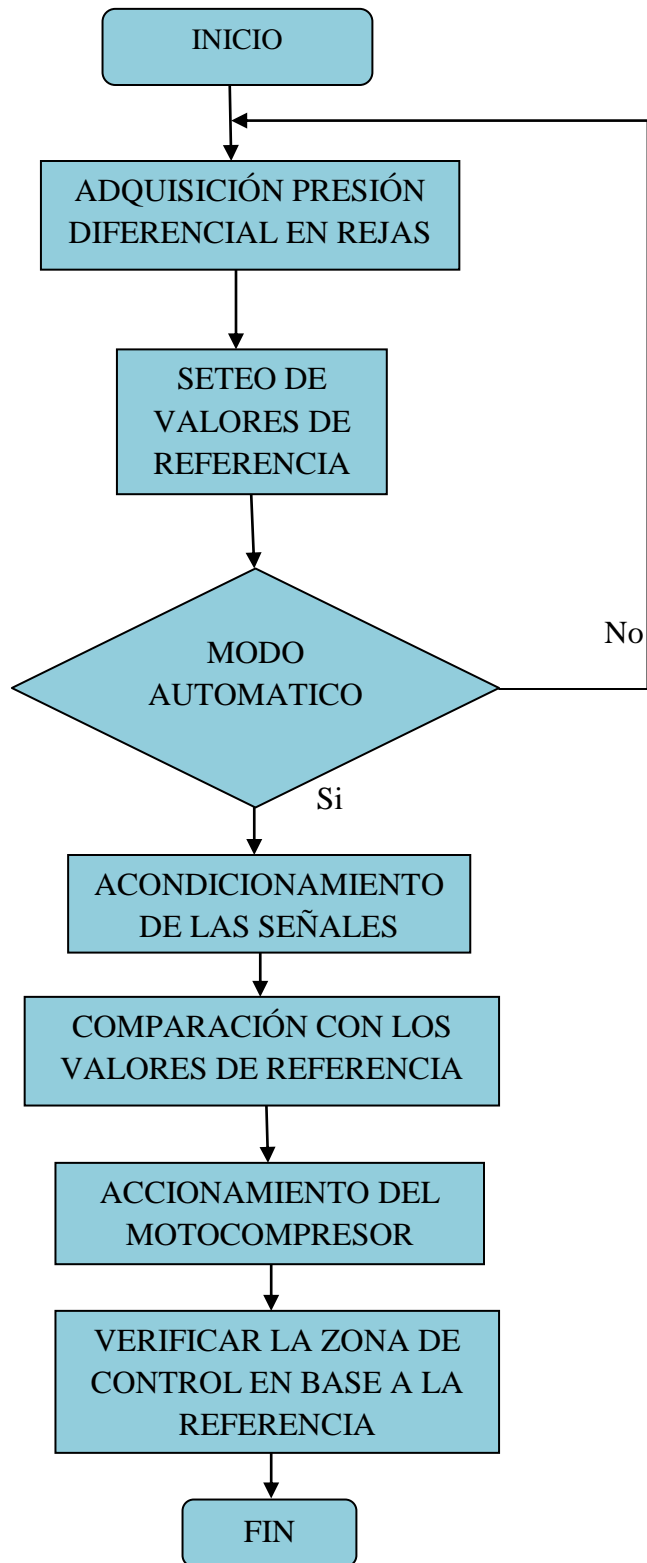
<b>Salidas Tipo Relé SM 322</b>	
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
H8	Presión anormal del compresor
H42	Alarma por sobreflujo
H41	Disparo por sobreflujo
H22	Reja 2 semiobstruida
H21	Reja 2 obstruida
H32	Reja 3 semiobstruida
H31	Reja 3 obstruida
H50	Motocompresor parado
H51	Motocompresor en marcha

**Elaborado por:** El investigador

Después de tener identificadas las entradas y salidas que se necesitan para este sistema, se procede a elaborar un diagrama de flujo, en base a las condiciones y requerimientos para que el sistema controle al motocompresor.

De modo general, cuando arranque el programa se debe leer la información de los tres transmisores de presión diferencial ubicados en las rejillas, debido a que estos sensores proporcionan señales de tipo analógicas las cuales varían de 4 – 20mA, es necesario realizar un acondicionamiento del valor para poder procesarlo en el programa.

Posteriormente se debe comparar con los valores de referencia o setpoint. Posteriormente en base a los valores de referencia se procede a tomar las acciones, las cuales son arranque y parada del motocompresor, como se lo puede apreciar en la figura 4.15 que corresponde al diagrama de flujo para la elaboración del programa.



**Figura 4 .15:** Diagrama de flujo del Sistema de Control

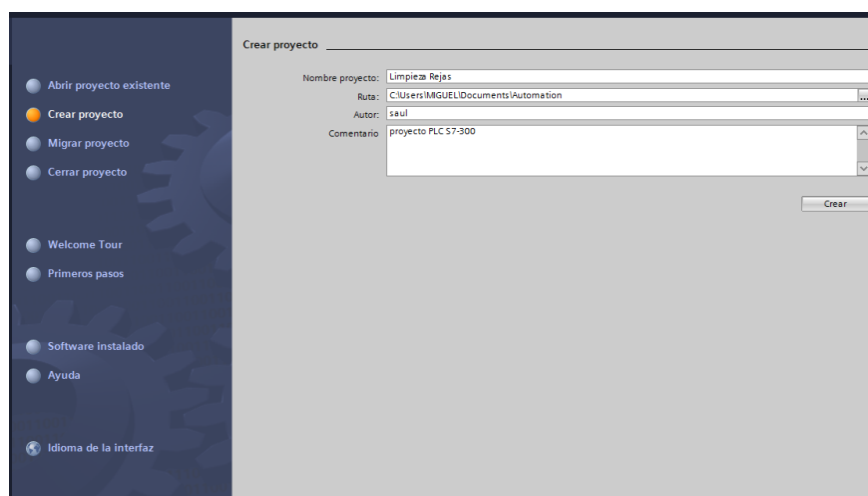
**Elaborado por:** El Investigador

#### 4.6.1 Programación en el software TIA Portal v13 de Siemens

Una vez realizada la lógica de control, para implementarla se utilizara el programa TIA(Totally Integrated Automation) Portal v13 de Siemens. Herramienta líder en el mundo de la automatización industrial, este software de ingeniería tiene el potencial de optimizar todos los procedimientos de planificación, procesos y maquinaria, al unificar el SIMATIC STEP 7, SIMATIC WinCC y SINAMICS StarDrive.

Una integración de software sin límites, que dará como resultado una mayor eficiencia al desarrollar proyectos de automatización. Para crear un nuevo proyecto en este software debemos tener instalada la versión que contenga el PLC que vamos a utilizar, en este caso la versión 13 nos permite programar el autómatas Siemens S7-300.

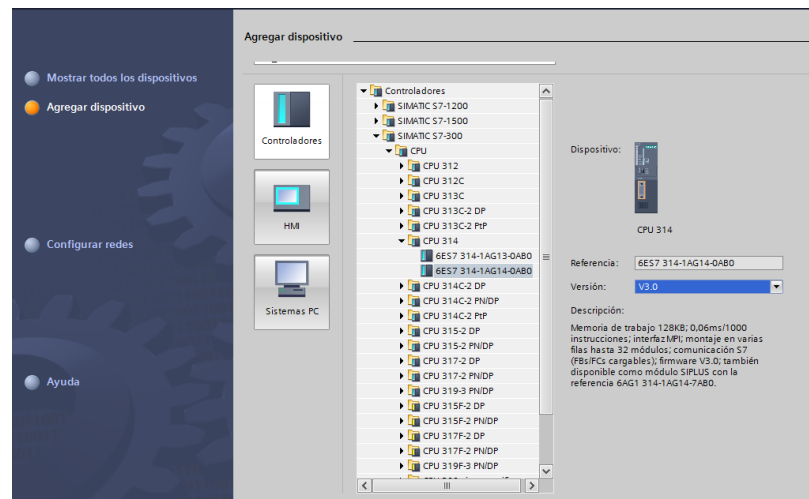
Para este proyecto se va a instalar la versión profesional 13 de esta aplicación, la cual cuenta con el modelo de PLC que vamos a emplear, cabe mencionar que es necesario contar con el sistema operativo adecuado para su instalación y funcionamiento. Una vez ya instalado, ejecutamos el programa y para crear un nuevo proyecto definimos el nombre, el lugar donde vamos a almacenarlo y el comentario como se lo puede apreciar en la figura 4.16.



**Figura 4 .16:** Programa TIA Portal V13

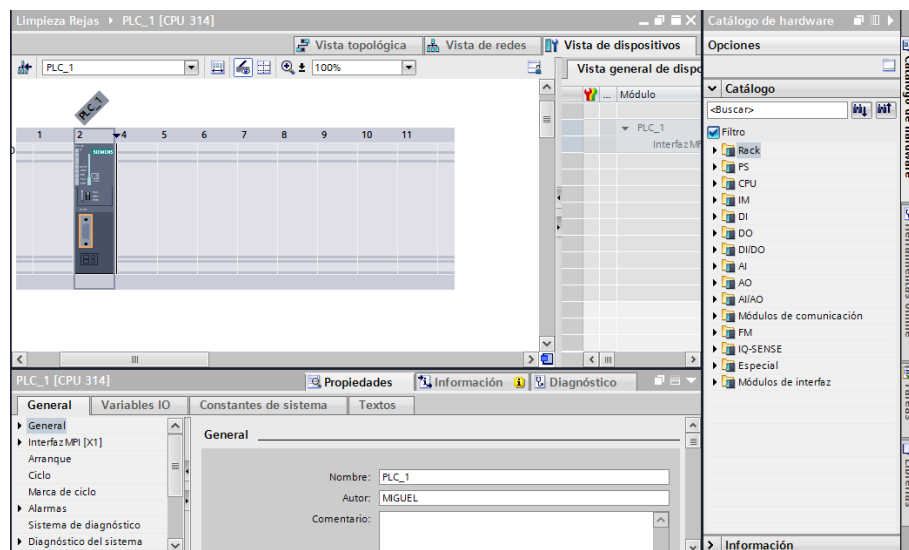
**Elaborado por:** El Investigador

Ya creado el nuevo proyecto seleccionamos agregar un dispositivo, en donde debemos seleccionar el modelo exacto de CPU que vamos a utilizar para este proyecto, en este caso escogemos la CPU 314-1AG14-0AB0 versión 3.0, una vez seleccionado en la parte inferior se despliega una ventana con la información general del mismo y entonces en la ventana de configuración del dispositivo ya se observa el módulo de la CPU, como se ve en las figura 4.17 y 4.18.



**Figura 4.17:** Selección del nuevo dispositivo

**Elaborado por:** El Investigador

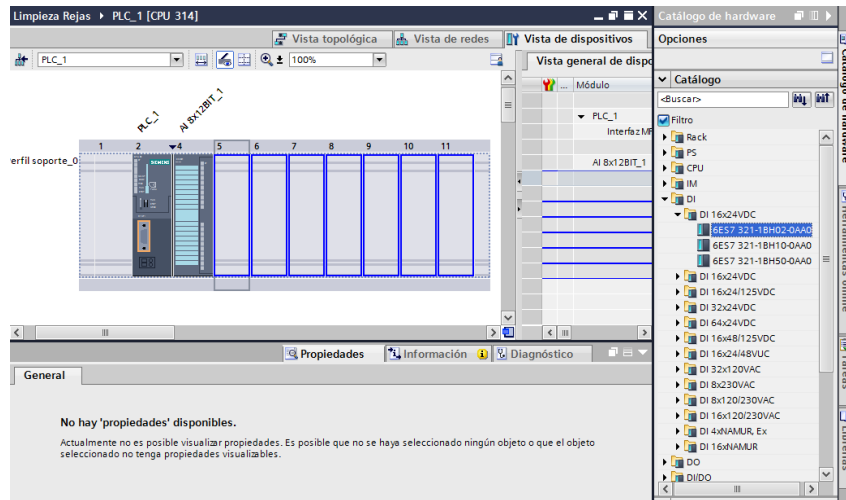


**Figura 4.18:** Configuración de la CPU

**Elaborado por:** El Investigador



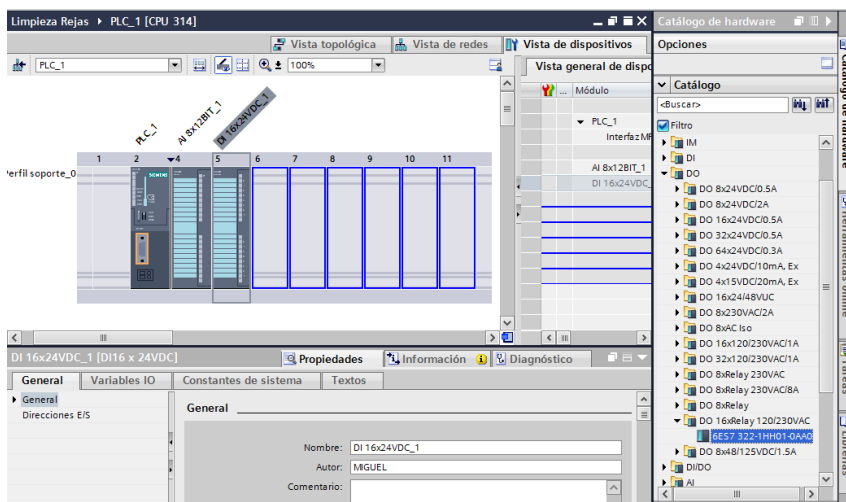
Después de haber elegido la CPU, nos ubicamos en la carpeta de los módulos de entradas digitales y seleccionamos el modulo SM 331-7KF02-0AB0 AI 8x12BIT y lo arrastramos hasta ubicarla junto a la CPU, tal como se lo aprecia en la figura 4.19, con este módulo podremos ingresar las señales provenientes de los sensores de presión.



**Figura 4 .19:** Selección del módulo SM 331

**Elaborado por:** El Investigador

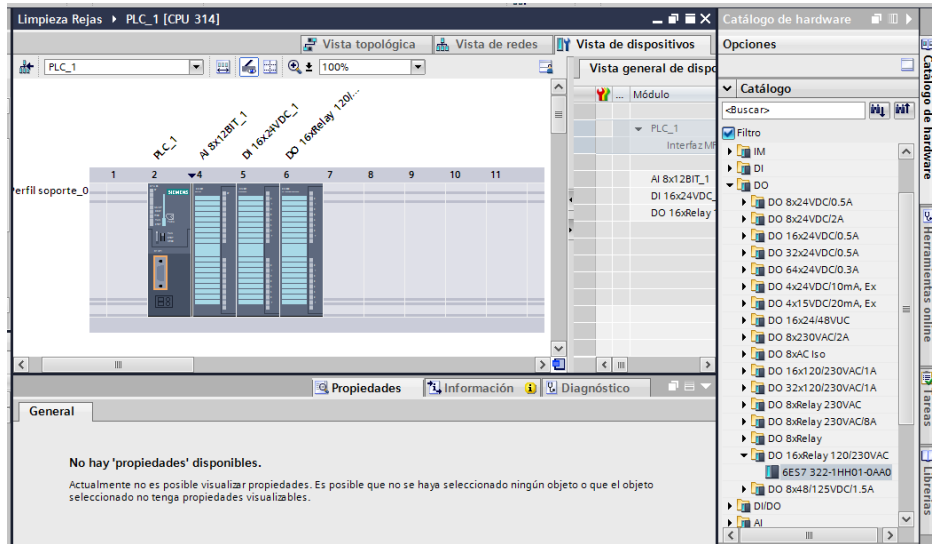
De igual manera seleccionamos y ubicamos en el programa el modulo SM 321 para el ingreso de las señales digitales al sistema, como se muestra en la figura 4.20.



**Figura 4 .20:** Selección del módulo SM321

**Elaborado por:** El Investigador

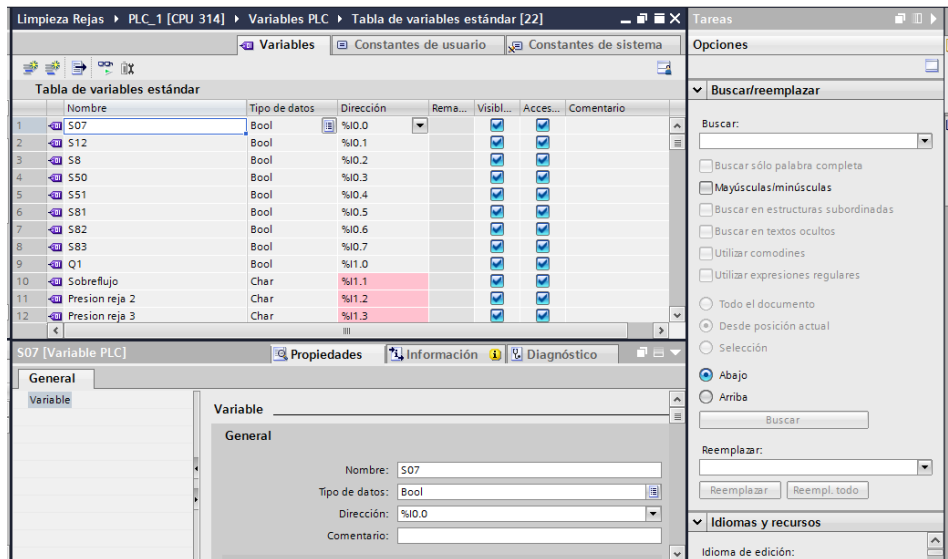
Finalmente seleccionamos el módulo de salidas tipo relé Siemens 16xREL SM 322-1HH01-00AA0 120/230V y lo colocamos a continuación, así como en la figura 4.21.



**Figura 4.21:** Selección del módulo 322

**Elaborado por:** El Investigador

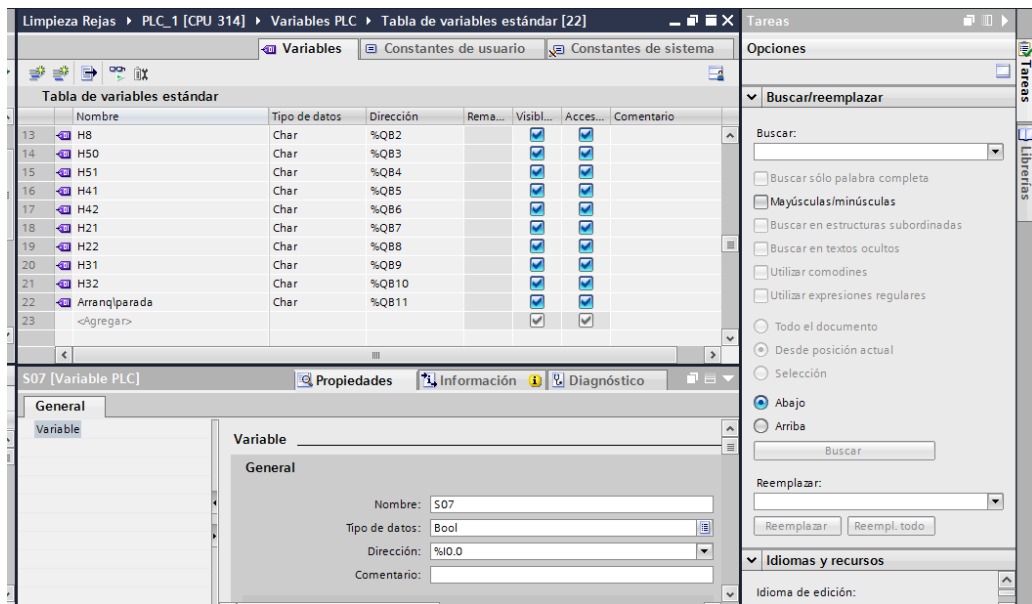
Posteriormente declaramos todas las variables de entrada que vamos a tener en el sistema, así como se muestra en la figura 4.22.



**Figura 4.22:** Declaración de las variables de entrada

**Elaborado por:** El Investigador

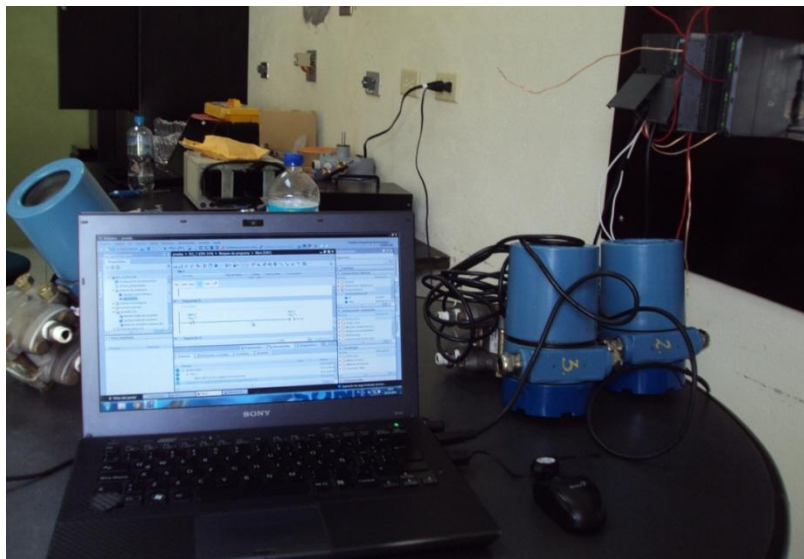
De igual manera que el caso anterior declaramos las variables para las salidas que vamos a obtener, como en la figura 4.23.



**Figura 4 .23:** Declaración de las variables de salida

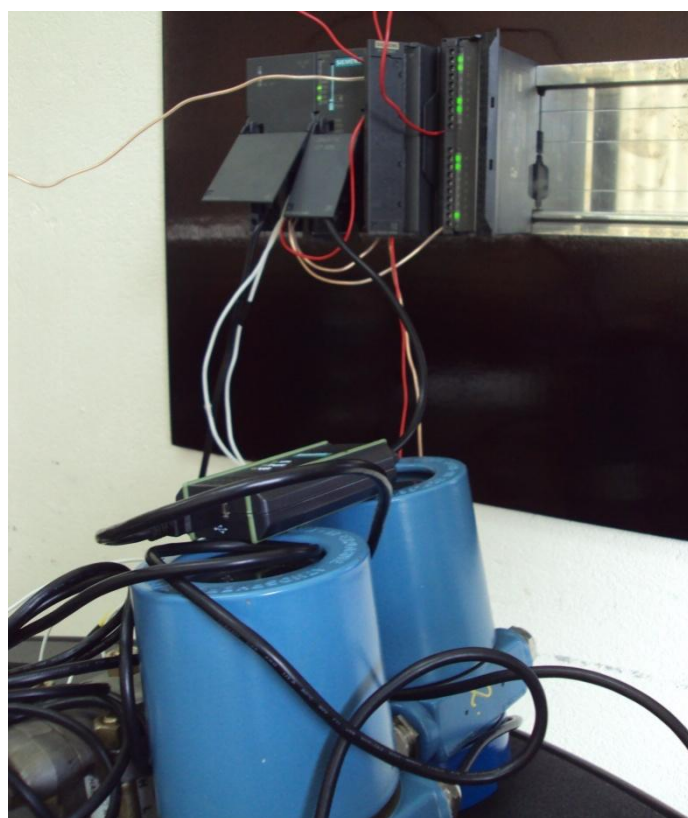
**Elaborado por:** El Investigador

Con todas las variables ya declaradas e identificadas, procedemos a realizar la programación, basada en el proceso que deben realizar los elementos del sistema, como se muestra en el anexo 2.



**Figura 4 .25:** Carga del programa en el PLC

**Elaborado por:** El Investigador



**Figura 4 .26:** Prueba del programa con los sensores y el PLC

**Elaborado por:** El Investigador

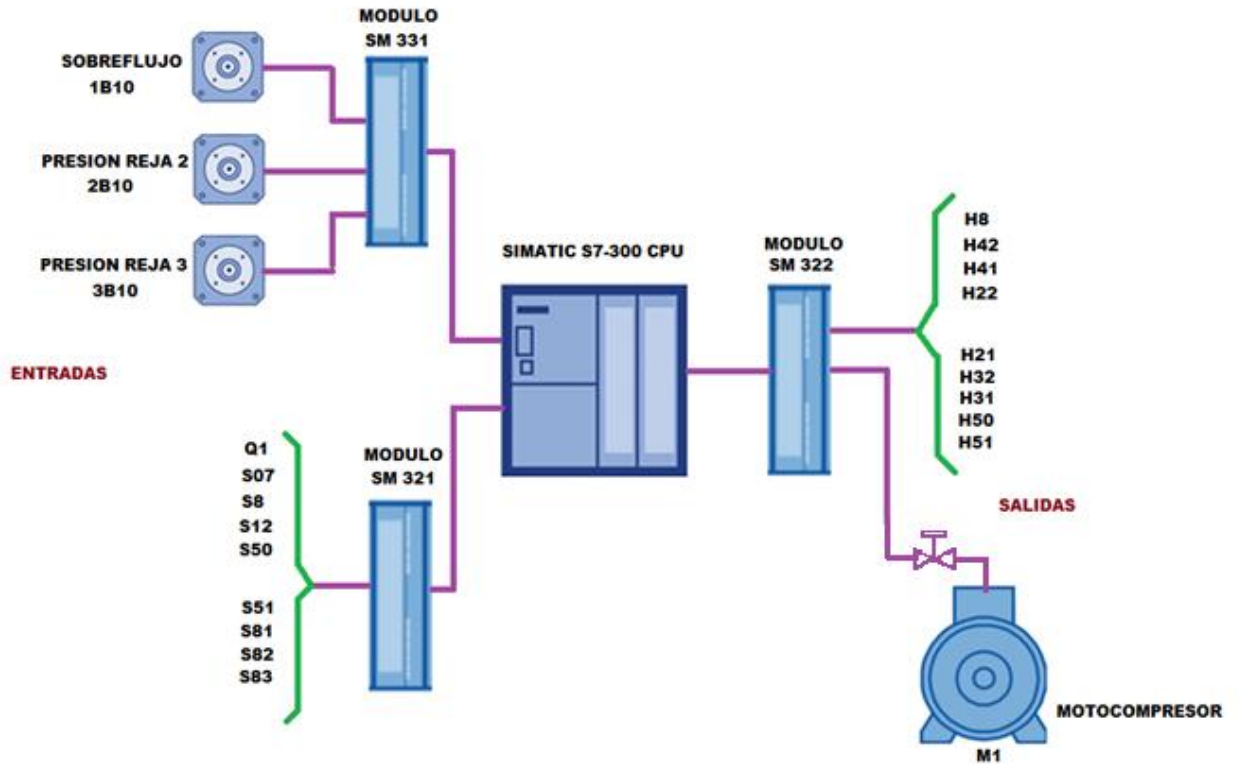


**Figura 4 .27:** Calibración de los sensores

**Elaborado por:** El Investigador

#### **4.7 Cableado del PLC Siemens S7-300 con sus módulos**

En este ítem se describe las conexiones eléctricas de las diferentes partes y módulos del autómata que se va a implementar en el sistema; a continuación en la figura 4.28 se muestra el diagrama para la conexión de los módulos de entrada SM 331, SM 321 y salida SM 322, con el CPU del autómata, las entradas y salidas que se indican, están detalladas anteriormente en las tablas 4.5 y 4.6.



**Figura 4 .28:** Conexión de los módulos del PLC

**Elaborado por:** El Investigador

#### 4.7.1 Conexión de la fuente de alimentación y del CPU 314

Para alimentar los módulos y el CPU del sistema del S7-300 se cuenta con una fuente Siemens tipo PS 307 1EA01-0AA0 de 5A y 24V DC, la cual se la puede observar en la figura 4.29, al igual que la CPU 314-1AG14-0AB0.



**Figura 4 .29:** Conexión de la fuente de alimentación PS 307 y del CPU 314

**Fuente:** El Investigador

La fuente de alimentación PS 307; 5 A tiene las siguientes propiedades:

- Intensidad de salida 5 A
- Tensión nominal de salida 24 V DC, estabilizada a prueba de cortocircuitos
- Acometida monofásica (tensión nominal de entrada 120/230 V AC, 50/60 Hz)
- Separación eléctrica segura según NE 60 950
- Puede utilizarse como fuente de alimentación de carga

Para el cableado de la fuente de alimentación debemos tomar en cuenta las diferentes partes de este módulo, las cuales se describen en la figura 4.30.

1. Indicador de tensión de salida 24 V DC aplicada
2. Bornes para tensión de salida 24 V DC
3. Alivio de tracción
4. Bornes para tensión de red y conductor de protección
5. Interruptor On/Off para 24 V DC
6. Selector de tensión de red

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

#### **4.7.2 Conexión del modulo de entradas digitales**

Los módulos de entradas digitales son los encargados de convertir las señales digitales externas del proceso, al nivel interno del autómata. Se debe elegir el módulo de entrada de 24 Voltios que ofrece 16 o 32 entradas y conecta los sensores con separación galvánica en grupos de 8 entradas con contacto común. En este caso se va utilizar el Modulo Siemens SM321 1BH02-0AA0, el que se lo puede apreciar en la figura 4.31.

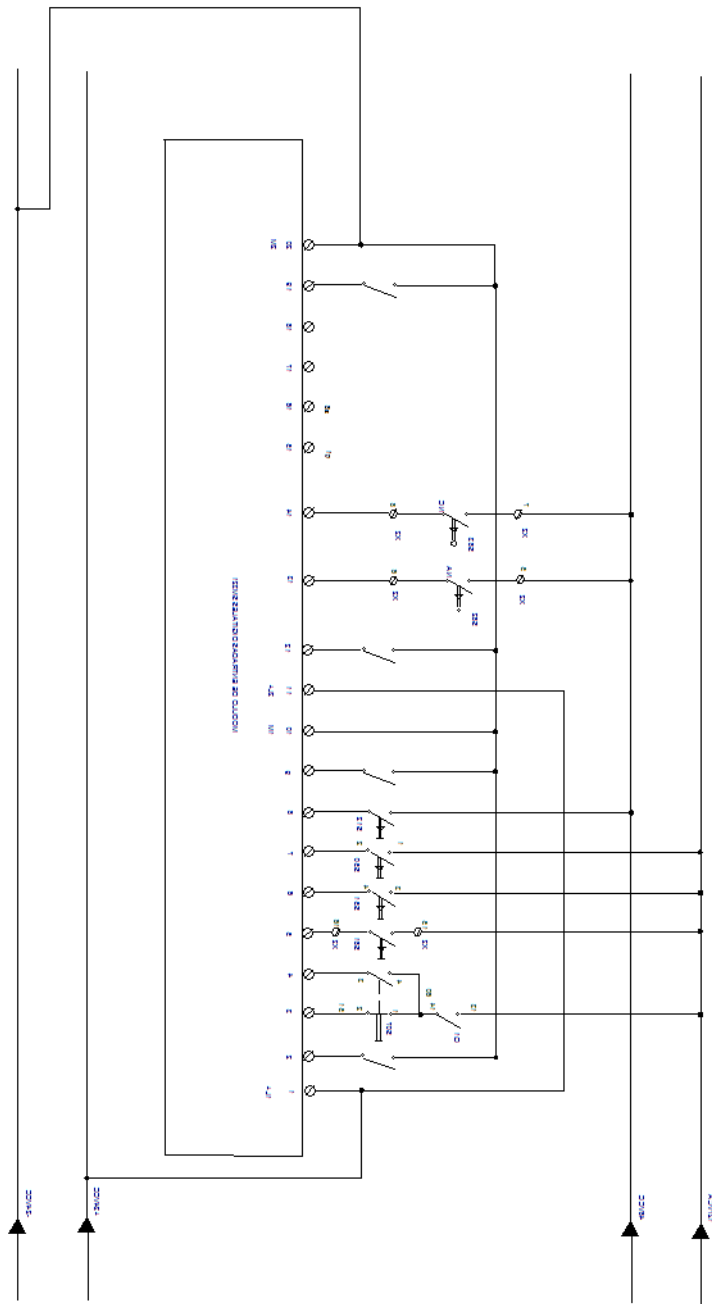


**Figura 4 .31:** Modulo de entradas digitales SM 321

**Fuente:** El Investigador

En este módulo se va a ingresar todas las señales de los pulsadores, presostatos, detector de presión y switches, tal como se muestra en la figura 4.32, en la cual se muestra el cableado de las entradas y de la alimentación del SM321.





**Figura 4 .32:** Conexiones del módulo SM 321

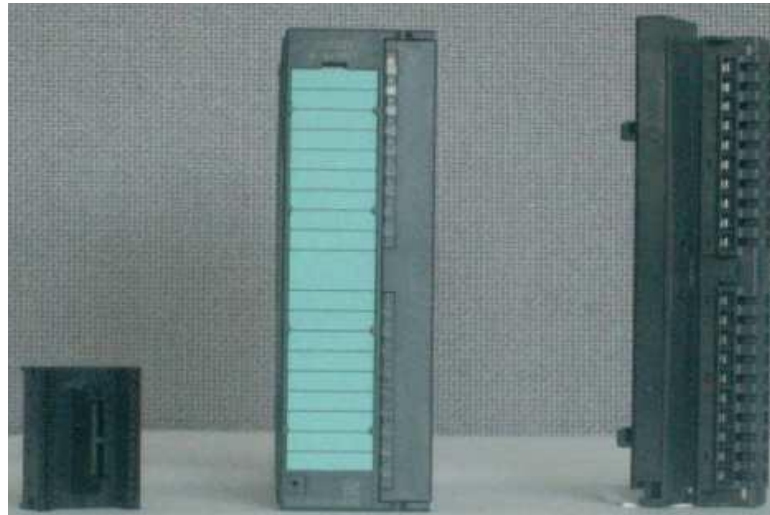
**Elaborado por:** El Investigador

### 4.7.3 Conexión del módulo de entradas analógicas

Este módulo convierte las señales analógicas en señales digitales, las cuales el autómata requiere para procesar internamente. Se puede conectar sensores y emisores de señal de

tipo tensión o intensidad, resistencia, así como termopares o termoresistencias, y se puede elegir módulos que van desde los 2 a 8 canales.

En este caso el módulo que se va utilizar es el Siemens SM 331 AI 8x12BIT-7KF02-0AB0, de la figura 4.33, al cual ingresara las señales provenientes de los transmisores de presión.



**Figura 4 .33:** Módulo de entradas analógicas SM 331

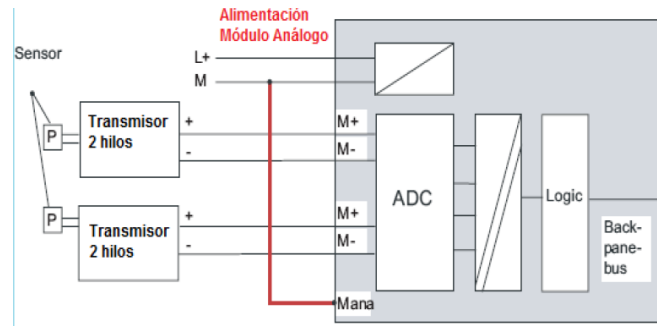
**Fuente:** El Investigador

Dependiendo del transductor de medida que se utilice, hay que adaptar el cableado de la fuente de alimentación. Se distingue entre el cableado de un transductor de medida de intensidad a 2 hilos y el cableado de un transductor de medida de intensidad a 4 hilos. [10]

Para este sistema de control automático en particular, se debe configurar la lectura de las entradas analógicas para leer corriente de 4 a 20 mA, para transmisores de corriente a 2 hilos. Cuando se hace la configuración para 2 hilos, es el módulo analógico el que por el mismo lazo de corriente inyecta voltaje para polarizar el transmisor, esto se puede observar en la figura 4.34.

Este tipo de transductor de medida recibe corriente del propio módulo de entradas analógicas, esto se debe gracias a la alimentación que tiene el SM331 desde la Power Supply (PS) del PLC S7-300. [10]

Una vez seteado la configuración a 2 hilos el PLC la reconoce y procede a alimentar a dicho canal del Slot de entradas análogas.



**Figura 4 .34:** Conexión para transmisores a dos hilos

**Fuente:** El Investigador

El módulo SM331 posee 4 adaptadores del margen de medida (uno por grupo de canales), como se observa en la figura 4.35.

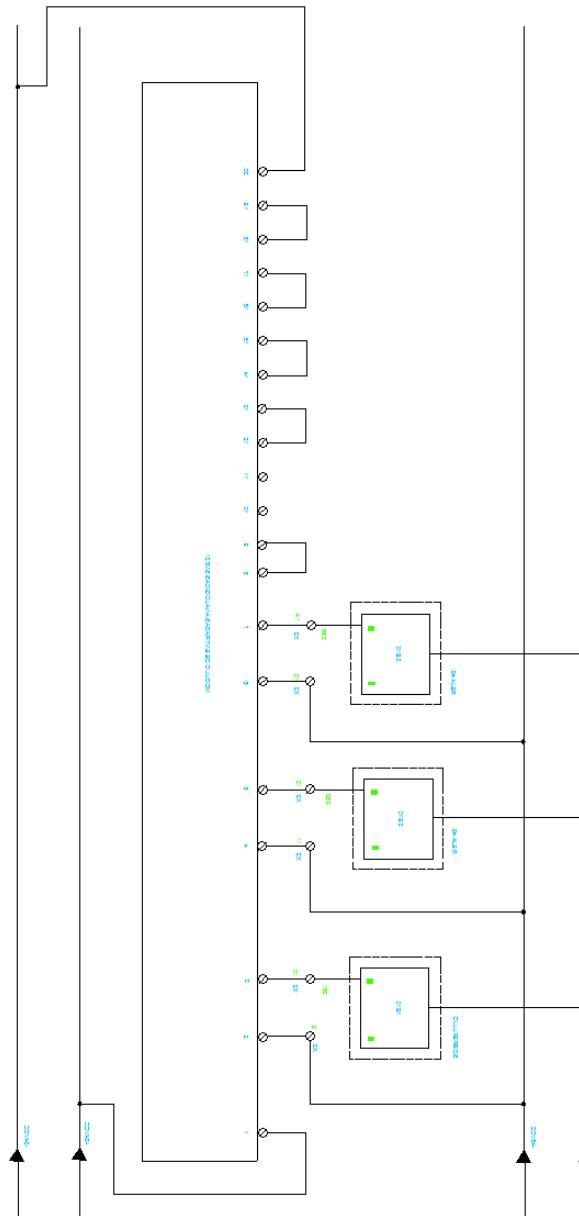


**Figura 4 .35:** Adaptadores de margen de medida SM 331

**Fuente:** CELEC E.P. Hidroagoyán, “Unidad de Generación Hidroeléctrica”

El adaptador del margen de medida se puede colocar en 4 posiciones distintas (A, B, C o D); para con la posición se establece que transductor de medida se conectara al respectivo grupo de canales.

En este caso como nuestros transductores trabajan con una configuración a 2 hilos, debemos colocarlo en la posición D que es para transductores de medida de intensidad a 2 hilos. En la figura 4.36 se muestra las conexiones de los transductores y del módulo de entradas analógicas SM 331.



**Figura 4 .36:** Conexiones del módulo SM 331

**Elaborado por:** El Investigador

#### 4.7.4 Conexión del módulo de salidas

Los módulos de salidas digitales convierten las señales internas del S7-300 en señales externas adaptadas al proceso. Por ejemplo en el caso de conectar electroválvulas, contactores, motores, lámparas, etc. se requerirá de uno de estos módulos. En este caso se empleara un modulo Siemens SM 322 DO 16x REL 1HH01-0AA0 120/230V, el cual lo podemos apreciar en la figura 4.37. [10]

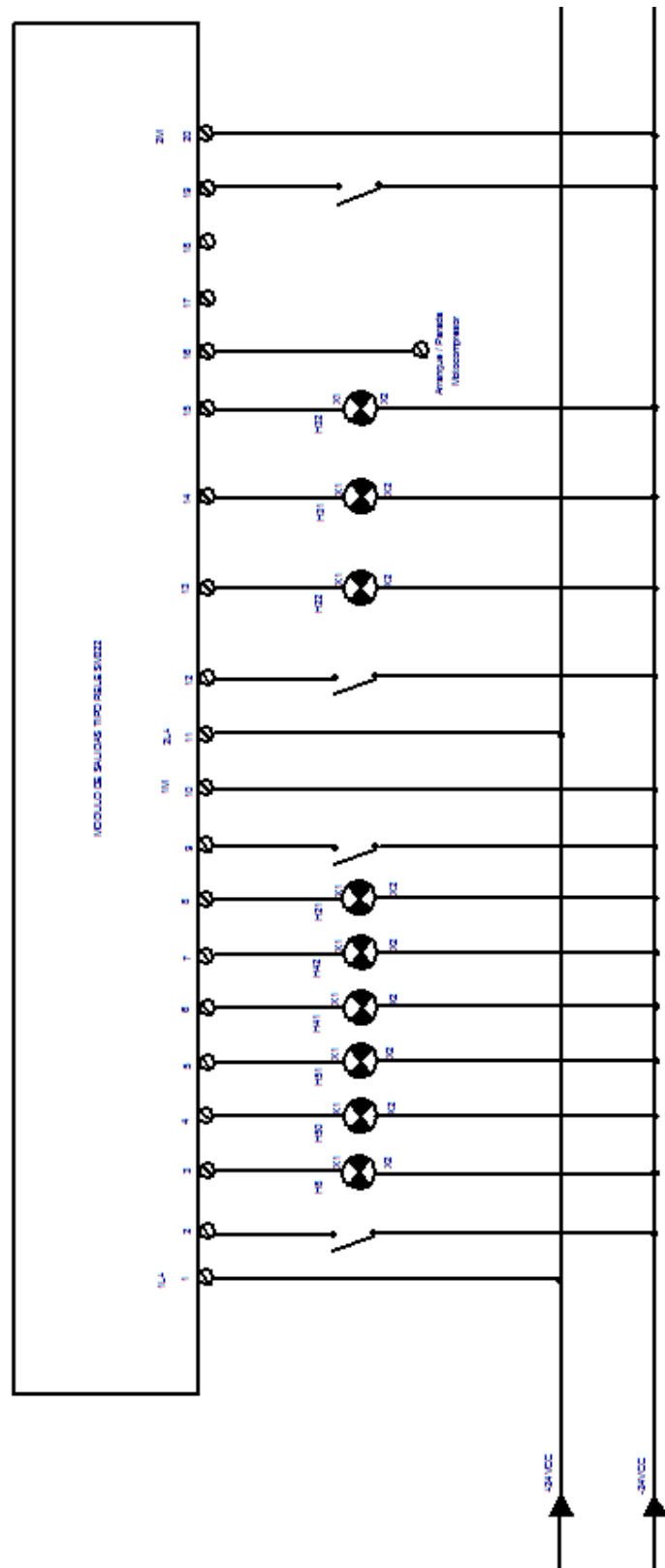
Si es el caso de actuadores de 24 Vdc, el autómata ofrece varias alternativas desde módulos de 16 a 32 canales y 0,5 A con separación galvánica hasta módulos de relé de 8 a 16 canales.



**Figura 4 .37:** Módulo de salidas digitales SM 322

**Fuente:** El Investigador

A continuación en la figura 4.38 se describe las conexiones del modulo SM 322, de donde se controlan las lámparas indicadoras y el arranque del motocompresor.



**Figura 4.38:** Conexiones del módulo SM 322

**Elaborado por:** El Investigador

#### 4.8 Implementación y montaje del Sistema de Limpieza

Para la implementación del sistema, primero los sensores fueron ubicados en lugares estratégicos para una mejor detección de presión, conectando sus tuberías y alimentándolos con un voltaje de 48 VCC, así como se lo observa en la figura 4.39.



**Figura 4.39:** Sensor de presión Rittmeyer

**Fuente:** El Investigador

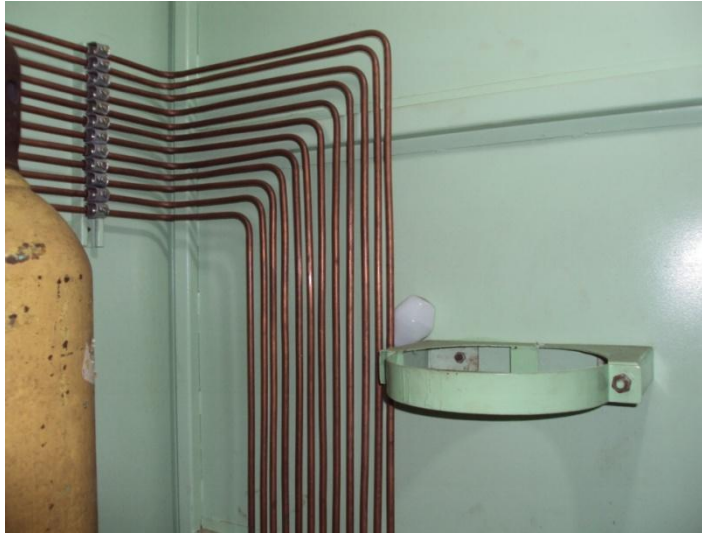
El motocompresor, el cual suministrara el aire es ubicado dentro de la caseta del sistema, con sus respectivos presostatos para encendido y apagado del mismo, como se observa en la figura 4.40.



**Figura 4.40:** Motocompresor del sistema

**Fuente:** El Investigador

En la figura 4.41 se observa el juego de tuberías por donde va a circular el aire comprimido suministrado por el compresor, las mismas que llegan hasta las 3 rejas de la toma de carga, para la expulsión de los desperdicios que se acumulan en estas.



**Figura 4.41:** Tuberías para el aire

**Fuente:** El Investigador

En la siguiente figura 4.42 podemos observar el inicio del montaje y cableado de los módulos que vamos a utilizar en el sistema de control automático.



**Figura 4.42:** Montaje de los módulos del S7-300

**Fuente:** El Investigador



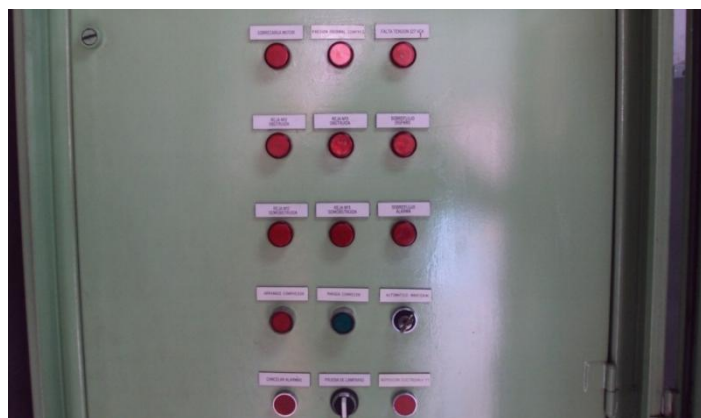
Ya colocados en el slot siemens todos los módulos tanto como son: la fuente de alimentación PS 307, CPU 314, módulos de entradas y salidas SM 321, SM322, SM331, con cables debidamente señalados, los ubicamos en el armario y procedemos a realizar las conexiones de todas las entradas y salidas que vamos a ocupar en el sistema, como lo podemos apreciar en las figuras 4.43 y 4.44.



**Figura 4.43:** Ubicación del autómatas S7-300

**Fuente:** El Investigador

Posteriormente para la señalización y como indicadores de los diferentes estados de las rejillas se coloca lámparas en el armario del sistema para la visualización de las señales de salida emitidas por el autómatas, estas se las puede apreciar en las siguientes figuras.



**Figura 4.45:** Ubicación de las lámparas de alerta de estado

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.46:** Interior del armario del sistema de limpieza

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.47:** Lámparas indicadoras del compresor

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.48:** Lámparas indicadoras de rejillas semiobstruidas

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.49:** Lámparas indicadoras de rejillas obstruidas

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.50:** Lámparas indicadoras de arranque y parada del compresor

**Fuente:** El Investigador



**Figura 4.51:** Pulsadores de reposición del sistema

**Fuente:** El Investigador

#### 4.9 Análisis Económico del Proyecto

Lo que se considera en este punto es analizar los beneficios económicos que se obtendrán al modernizar el sistema encargado de la remoción de desperdicios que se acumulan en las rejas de la toma de carga.

Mediante el análisis económico determina el costo total del proyecto implementado, la rentabilidad del mismo y el tiempo en que se recuperará la inversión.

En la tabla 4.7 se describe el costo total del proyecto desarrollado, en donde se detalla la cantidad de dispositivos de control, elementos electrónicos, herramientas de trabajo y otros accesorios empleados en el sistema de control automático implementado, además de los gastos en transporte.

**Tabla 4.7:** Costo del proyecto

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	CPU 314 Siemens	c/u	1	150,00	150,00
2	Módulo SM 321	c/u	1	50,00	50,00
3	Módulo SM 322	c/u	1	50,00	50,00
4	Módulo SM 331	c/u	1	50,00	50,00
5	Cable Usb para programación	c/u	1	25,00	25,00
6	Lámparas	c/u	11	2,50	27,50
7	Cable	c/m	25	1,00	25,00
8	Pulsadores	c/u	5	1,00	5,00
9	Cartucho de tinta color	c/u	1	35,00	35,00
10	Cámara fotográfica	c/u	1	100,00	100,00
11	Pen drive	c/u	1	12,00	12,00
12	Libros	c/u	5	50,00	250,00
13	Elementos Electrónicos	Kit	1	1200,00	1200,00
14	Transporte intercantonal	c/u	60	0,80	48,00
15	Internet	c/h	400	1,00	400,00
16	Transporte urbano	c/u	120	0,25	30,00
17	Ordenador Portátil	c/u	1	700,00	700,00
<b>Sub total</b>					<b>3147,50</b>
<b>Imprevistos (5%)</b>					<b>157,37</b>
<b>Total</b>					<b>3304,87</b>

**Elaborado por:** El investigador

## UTILIDAD NETA

La utilidad neta de este proyecto se calculo tomando en cuenta la diferencia entre el ingreso realizado en un periodo y los gastos que se asocian directamente con ese ingreso por alguna otra razon como la depreciacion, asi estimamos el flujo de costos proyectados para tres años.

**Tabla 4.8** Utilidad neta

<b>ANALISIS DE UTILIDAD NETA</b>			
COSTOS DE IMPLEMENTACION DE PROYECTO		<b>3304.87</b>	
AÑOS DE PROYECCION VIDA UTIL DEL PROYECTO		<b>1</b>	
AHORROS DE COSTOS DE INVERSION		5000	
GASTOS DE DEPRECIACION	- 10 %	330.48	
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO			4669.52
IMPUESTOS DEL 36,25%	-	1692.70	3307,3
<b>UTILIDAD NETA</b>			
AÑOS DE PROYECCION VIDA UTIL DEL PROYECTO		<b>2</b>	
AHORROS DE COSTOS DE INVERSION		3307,3	
GASTOS DE DEPRECIACION	- 10 %	330.48	
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO			2976,82
IMPUESTOS DEL 36,25%	-	1079,09	
<b>UTILIDAD NETA</b>			2228,21
AÑOS DE PROYECCION VIDA UTIL DEL PROYECTO		<b>3</b>	
AHORROS DE COSTOS DE INVERSION		2228,21	
GASTOS DE DEPRECIACION	- 10 %	330.48	
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO			1897,73
IMPUESTOS DEL 36,25%	-	687,92	
<b>UTILIDAD NETA</b>			1540,29

**Elaborado por:** El Investigador

## ANALISIS DE FACTIBILIDAD VAN/TIR y C/B

**Tabla 4.9:** Calculo del VAN/ TIR y C/B

COSTOS DE IMPLEMENTACION DE PROYECTO		<b>3304.87</b>		
AÑOS DE PROYECCION VIDA UTIL DEL PROYECTO		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
		0.00	0.00	850.00
AHORROS DE COSTOS DE INVERSION		5000	3307,3	2228,21
GASTOS DE DEPRECIACION		330.48	330.48	330.48
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		4669.52	2976,82	1897,73
IMPUESTOS DEL 36,25%		1692.70	1079,09	687,92
UTILIDAD NETA		3307,3	2228,21	1540,29
TASA DE ACTUALIZACION INFERIOR	11,00%			
TASA DE ACTUALIZACION SUPERIOR	13,00%			
TASA DE ACTUALIZACION MEDIA	12,00%			
VAN/TASA DE ACTUALIZACION INF	<b>\$ 1.447,91</b>			
VAN/TASA DE ACTUALIZACION SUP	<b>\$ -2.798,36</b>			
<b>VAN</b>	<b>\$ 6.342,31</b>			
<b>TIR</b>	<b>12,32%</b>			
<b>C/B</b>	<b>1,18</b>			

**Elaborado por:** El Investigador

VAN = 6342,31.- Es un indicador de aceptabilidad del proyecto

TIR = 12.32%.- Cabe aclarar el valor de la TIR debe encontrarse en el rango de interpolación de tasas de actualización, para que el proyecto sea factible

B/C = 1.18 Se observa que el costo/beneficio es mayor a 1, por tanto el proyecto posee un considerable valor de aceptación y por ende es rentable.

### PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

Para el periodo de recuperación de la inversión, se toma en cuenta el que con la modernización del sistema de limpieza de las rejillas, el costo del mantenimiento bimensual de las mismas se reducirá en un 50% es decir, de un costo de 600 dólares a un estimado de 300 dólares cada 2 meses, dando un total de 1800 dólares al año.

Para calcular el período de recuperación de la inversión se tiene:

$$RC = ( 3304,87 / 1800 ) * 12 \text{ meses} = 22 \text{ meses}$$

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- Analizando las circunstancias en las que se encontraba el sistema para la limpieza de las rejjas en la bocatoma, se determinó que gran parte de los componentes del mismo se encontraban obsoletos y necesitaban ser reemplazados.
- Se estudiaron diferentes alternativas para dar solución al problema planteado, deduciendo que con la integración del controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-300 al sistema, se pudo repotenciar y mejorar los procesos que realizaba para el mantenimiento de las rejjas.
- Determinando el tipo de señales que entregan los sensores de presión diferencial y los demás dispositivos electrónicos, se pudo definir con seguridad el diseño y configuración adecuado para el proceso y tratamiento de esta información dentro del PLC.
- Para realizar la programación del PLC, se empleó el software TIA (Totally Integrated Automation) Portal V13, el cual posee un entorno de trabajo más gráfico para el usuario, en donde se realizaron todos los procesos en base al fundamento de control para este sistema.

## RECOMENDACIONES

- Para la Central Hidroeléctrica Agoyán es necesario modernizar los procesos y métodos obsoletos, por soluciones tecnológicas actuales las cuales permitirán tener un desempeño y control eficiente del estado de sus instalaciones.
- Es importante que los dispositivos y elementos que se emplearon para este sistema de limpieza, posean un alto grado de resistencia ante condiciones climáticas extremas, ya que la mayoría de ellos están ubicados en la parte externa de la represa de la Central Agoyán.
- Para la utilización del autómata Siemens S7-300, es recomendable contar con los módulos adecuados para el ingreso y salida de las señales de control, así como también con una fuente de alimentación que abastezca por completo la energía necesaria para todos los módulos del sistema.
- Para trabajar con el software TIA (Totally Integrated Automation) Portal V13, es necesario que el ordenador donde va a estar instalado posea el sistema operativo adecuado para la versión que se está utilizando, ya que esta cuenta con mayor número de dispositivos para ser programados, en especial el modelo que se está utilizando para este sistema.



## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Luecke, A. (2011). Las mejores prácticas en la promoción y el uso de energías renovables en America Latina y el Caribe (No. publication-detail, 7101. html? id=31146). Inter-American Development Bank.
- [2] CELEC E.P. Hidroagoyán, “Unidad de Generación Hidroeléctrica”, 2010, [http://www.hidroagoyan.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=68&Itemid=133](http://www.hidroagoyan.com/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=133)
- [3] Moreno, M. A. (2001). Control PID. LA PAZ ENERO.
- [4] Bertoglio, O. J., & Johansen, O. (1982). Introducción a la teoría general de sistemas. Editorial Limusa.
- [5] Jaimes, C. M. T. ID 131213 Automatización y Procesos Sección 09 Índice.
- [6] Bueno, D. A. S. (2004). Sistemas de Control.
- [7] Nise, N. S., & Romo, J. H. (2002). Sistemas de control para ingeniería. Compañía Editorial Continental.
- [8] Koch, F. H. (2002). Hydropower—the politics of water and energy: introduction and overview. *Energy Policy*, 30(14), 1207-1213.

[9] Siemens, "SIMATIC S7-300 Configuración", 2005

[10] Siemens, "SIMATIC Working with Step 7", 2006,  
[http://www.fer.hr/\\_download/repository/STEP7.pdf](http://www.fer.hr/_download/repository/STEP7.pdf)

[11] Siemens, "SIMATIC S7-300 Automation System Module Data", 2007,  
<http://www.scribd.com/doc/25959492/Simatic-s7-300-s7-300-Module-Data>

[12] Siemens, "SIMATIC S7-300 SM331 AI 8x12 Bit Getting Started", 2008,  
<http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/17473828>

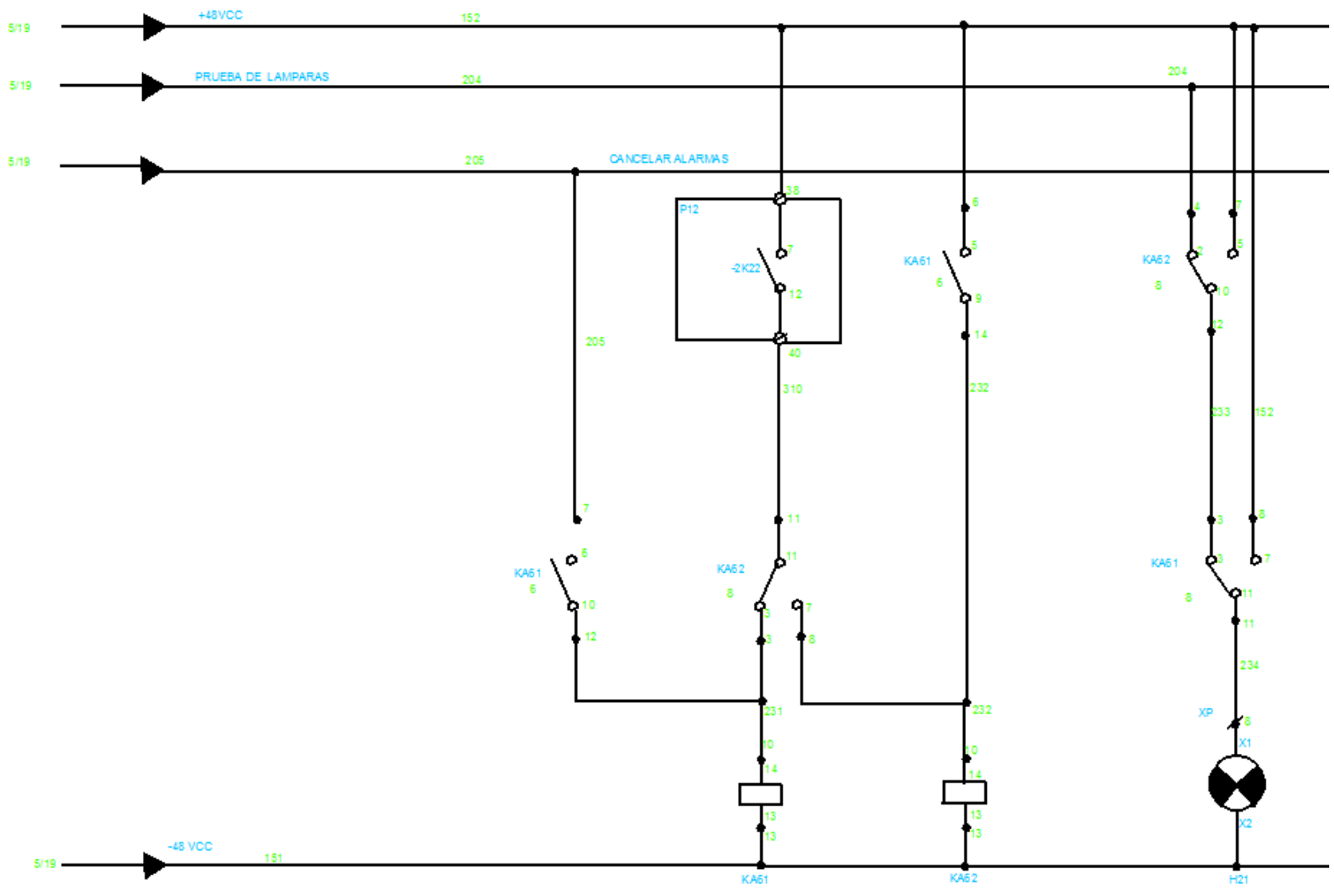
[13] Siemens, "Programar con STEP 7 V5.3", 2004,  
[www.proatec.com.mx/Step7\\_V5.3.pdf](http://www.proatec.com.mx/Step7_V5.3.pdf)

[14] Siemens, "Simatic Step 7 V5.2 Introducción y ejercicios prácticos", 2005,  
[www.scribd.com/.../Func-estandar-y-func-de-sistema-para-S7-300-y-S7-400](http://www.scribd.com/.../Func-estandar-y-func-de-sistema-para-S7-300-y-S7-400)

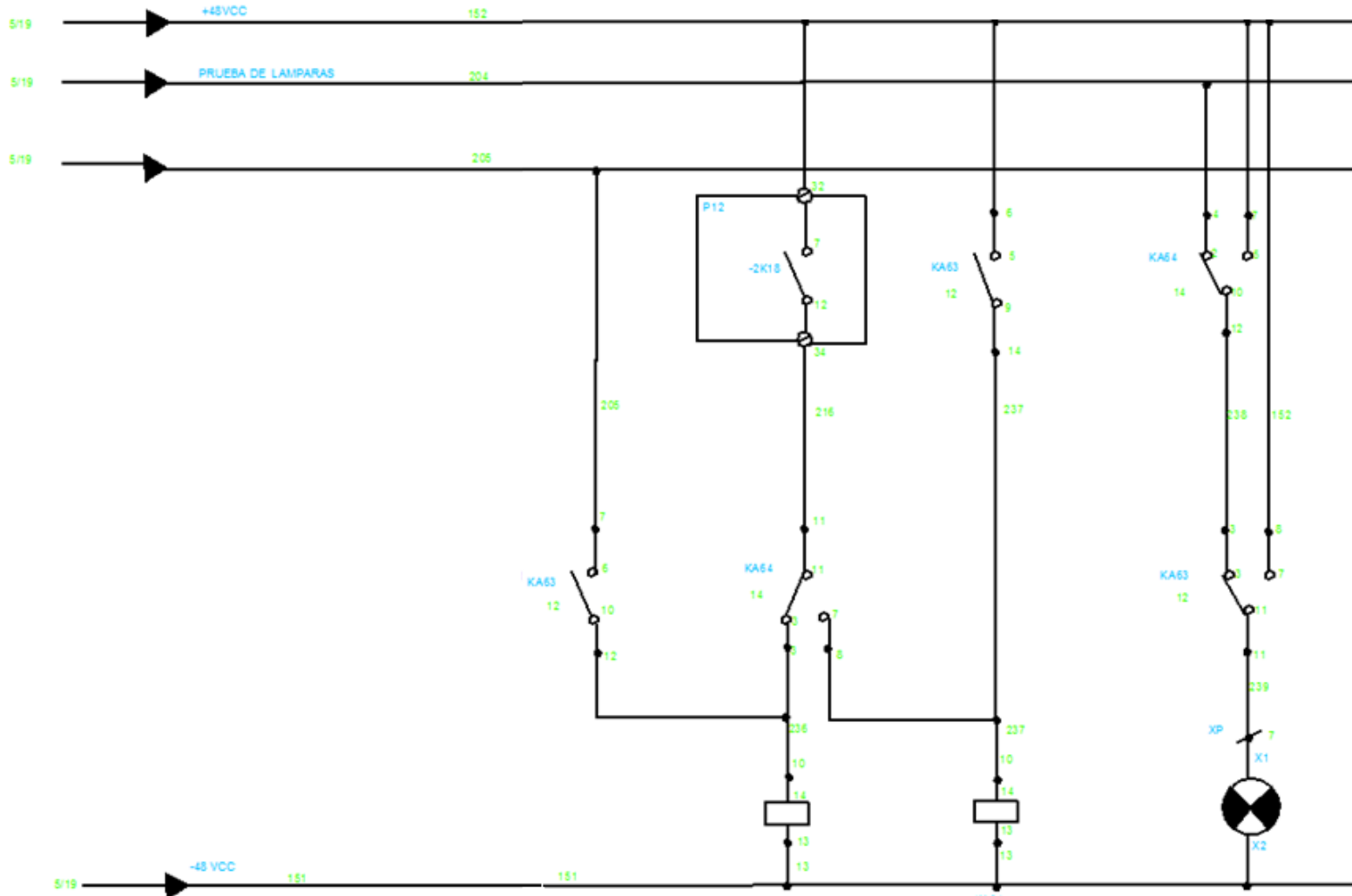
## ANEXO 1

Esquemas para los diferentes estados que podrían presentar las rejas.

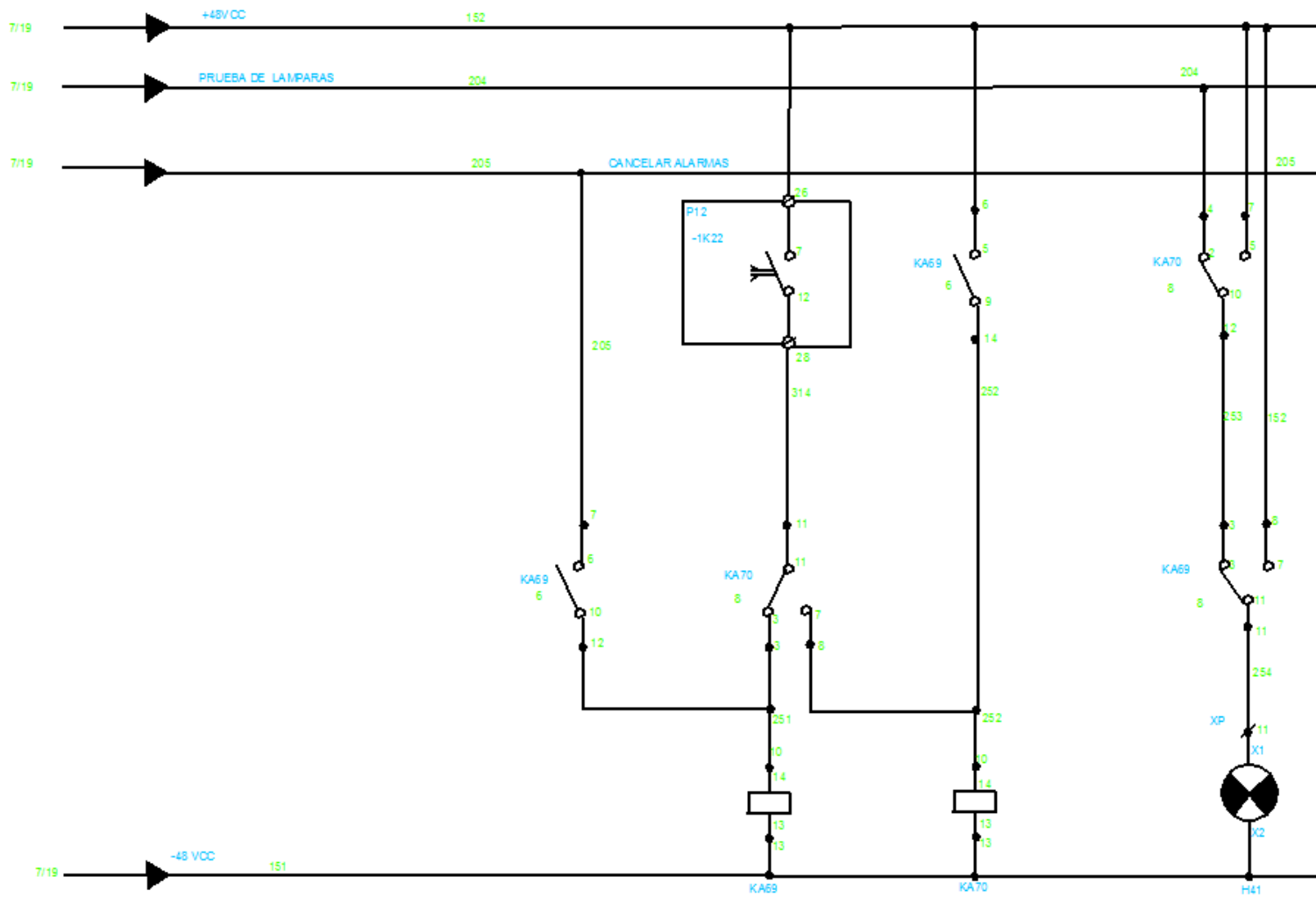
1. Reja Obstruida
2. Reja Semiobstruida
3. Disparo por sobreflujo
4. Alarma por sobreflujo



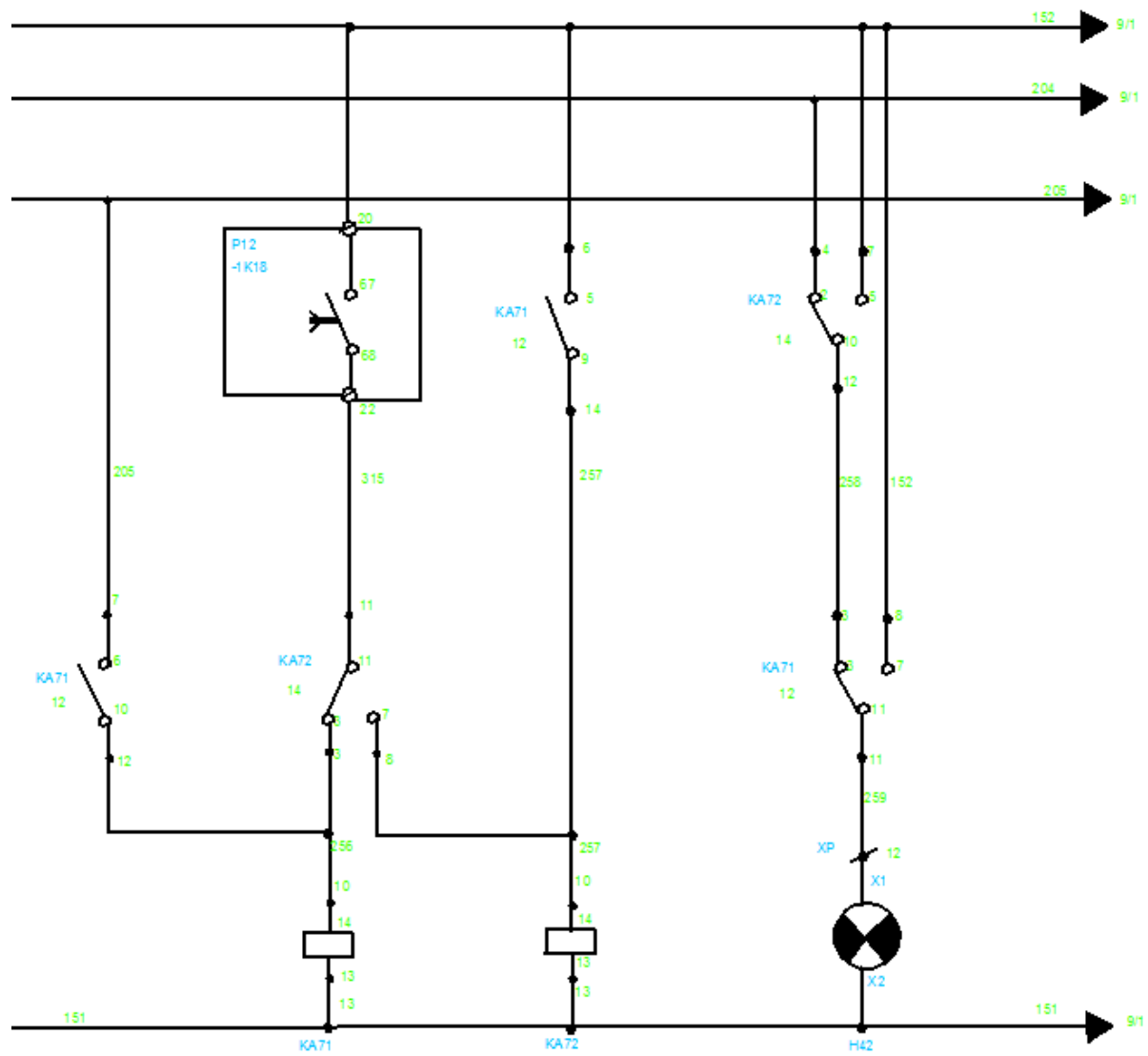
1. Esquema para Reja Obstruida



2. Esquema para Reja Semiobstruida



3. Esquema para disparo por sobreflujo de reja 1

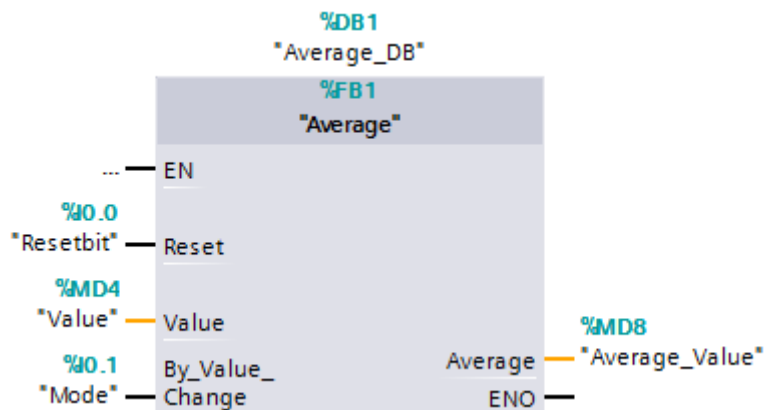
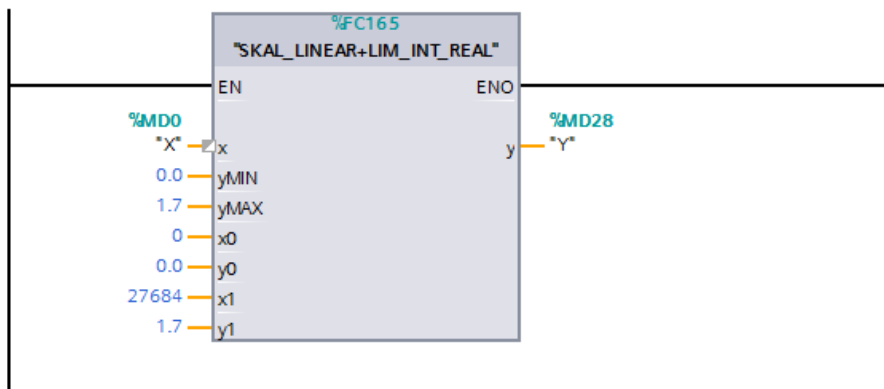


4. Esquema para alarma por sobreflujo reja1

## ANEXO 2

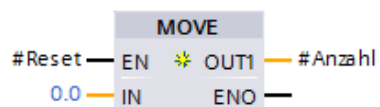
### Programa del Sistema de Control

1. Acondicionamiento y Comparación de los datos que registran los sensores.



▼ **Segmento 1:** .....

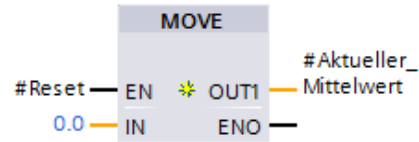
► Zurücksetzung der Variabel "Anzahl" auf 0, wenn "Reset = True". Reset the variable "Anzahl" to 0, if "Reset = True".





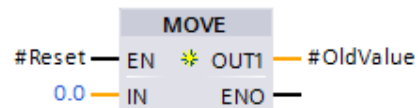
▼ Segmento 2: .....

► Zurücksetzung der Variabel "Aktueller\_Mittelwert" auf 0, wenn "Reset = True".Reset the variable "Aktueller\_Mittelwert" t...

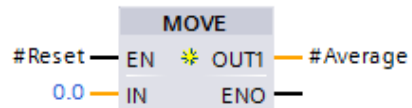


▼ Segmento 3: .....

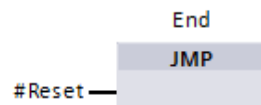
► Zurücksetzung der Variabel "OldValue" auf 0, wenn "Reset = True".Reset the variable "OldValue" to 0, if "Reset = True".



► Zurücksetzung der Variabel "Average" auf 0, wenn "Reset = True".Reset the variable "Average" to 0, if "Reset = True".



► Programmende nach Reset.End of program after reset.



2. Control para el arranque y parada del motocompresor.

