



**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3 DEL CAMPO AUCA CENTRAL DE PETROPRODUCCIÓN UTILIZANDO PLC´s”

**BARREIRO GILER EFRÉN FERNANDO
PAGUAY OCAMPO EDISON JAVIER**

TESIS DE GRADO

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR
2010**

CERTIFICACIÓN

Ing. HUMBERTO MATHEU, Dr. MARCO HARO, en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por los señores egresados **EFRÉN FERNANDO BARREIRO GILER Y EDISON JAVIER PAGUAY OCAMPO**

CERTIFICAN

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, Carrera INGENIERÍA, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

**ING. HUMBERTO MATHEU A.
DIRECTOR DE TESIS**

**DR. MARCO HARO MEDINA
ASESOR DE TESIS**

CERTIFICACIÓN DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

EDISON JAVIER PAGUAY OCAMPO

TITULO DE LA TESIS:

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3 DE CAMPO AUCA CENTRAL DE PETROPRODUCCIÓN UTILIZANDO PLC´s”

Fecha de Examinación: Febrero 10, 2010

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

NOMBRE	APROBADO	NO APROBADO	FIRMA
ING.GEOVANNY NOVILLO			
ING.HUMBERTO MATHEU			
DR. MARCO HARO MEDINA			

- Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total del trabajo.

RECOMENDACIONES:.....

.....

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo A.
f) PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

EFRÉN FERNANDO BARREIRO GILER

TITULO DE LA TESIS:

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3 DE CAMPO AUCA CENTRAL DE PETROPRODUCCIÓN UTILIZANDO PLC´s”

Fecha de Examinación: Febrero 10, 2010

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

NOMBRE	APROBADO	NO APROBADO	FIRMA
ING.GEOVANNY NOVILLO			
ING.HUMBERTO MATHEU			
DR. MARCO HARO MEDINA			

- Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total del trabajo.

RECOMENDACIONES:.....

.....

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo A.
f) PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE TESIS DE GRADO

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero 10, 2010

Yo recomiendo que la Tesis de Grado presentada por:

EFRÉN FERNANDO BARREIRO GILER

Titulada: “ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3 DEL CAMPO AUCA CENTRAL DE PETROPRODUCCION UTILIZANDO PLC´s”

Sea aceptada como parcial completación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**Ing. Geovanny Novillo A.
(f) DECANO FACULTAD MECÁNICA**

Nosotros, coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Humberto Matheu.
(f) DIRECTOR DE TESIS DE GRADO**

**Dr. Marco Haro
(f) ASESOR**

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE TESIS DE GRADO

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero 10, 2010

Yo recomiendo que la Tesis de Grado presentada por:

EDISON JAVIER PAGUAY OCAMPO

Titulada: “ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3 DEL CAMPO AUCA CENTRAL DE PETROPRODUCCION UTILIZANDO PLC’s”

Sea aceptada como parcial completación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**Ing. Geovanny Novillo A.
(f) DECANO FACULTAD MECÁNICA**

Nosotros, coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Humberto Matheu.
(f) DIRECTOR DE TESIS DE GRADO**

**Dr. Marco Haro
(f) ASESOR**

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Efrén Fernando Barreiro Giler
Ocampo

f) Edison Javier Paguay

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por el apoyo brindado, a nuestros compañeros que siempre nos apoyamos para terminar la carrera. De igual manera agradecemos al personal técnico de Proyectos de Instrumentación de Petroproducción, por darnos todas las facilidades para cumplir con la realización de este proyecto.

Edison Javier Paguay

Ocampo

Efrén Fernando Barreiro Giler

DEDICATORIA

A mis padres por el sacrificio realizado para darme la oportunidad de superarme académicamente y confiar en mí. A mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional y a todos mis a mis amigos, quienes de una u otra manera ayudaron y estuvieron pendientes de esta labor.

Fernando

A Dios y mi familia quienes con su apoyo, comprensión y paciencia fortalecieron mi camino

Edison

RESUMEN

Se ha realizado el Estudio para la Optimización del Sistema de Control de la Unidad de Bombeo Power Oil 3 del Campo Auca Central de Petroproducción, Utilizando Plc's, que permite mejorar el control de las distintas variables que se encuentran presente en la unidad facilitando la visualización en tiempo real de las variables del proceso y el mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad de bombeo.

Para lo cual se realizo un análisis de la situación actual, para conocer el funcionamiento de la unidad e identificar las partes que conforman la unidad de bombeo y las variables del proceso, que es información importante al desarrollo del nuevo diseño del sistema de control donde se utiliza el software RsLogix 500 para la programación en el autómeta MicroLogix 1500 y el software PanelBuider32 para el diseño en el visualizador PavelView 300 Micro.

Una vez realizado la programación en lenguaje ladder y el diseño del visualizador se realizaron pruebas de funcionamiento del autómeta, PanelView y de los sensores con un demo del PLC que se encuentra en las instalaciones de petroproducción.

Con el nuevo diseño se mejora el tiempo de rapidez de respuesta, la facilidad de cambiar los niveles de seteo de protecciones y alarmas, la posibilidad de contar con proyecciones y tendencias que ayudarían a programar mejor las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, la facilidad y versatilidad de realizar cualquier cambio en Hardware en caso de requerir mejoras, modificaciones o ampliaciones.

Este sistema de control por medio de un autómeta es muy práctico y podría implementarse en otras locaciones donde existan unidades similares.

SUMMARY

A study for the optimization of the control system of the Power Oil 3 pumping Unit of the Auca Central field of Petroproducción, has been carried out using PLC's which permits to improve the control of different variables present in the unit, facilitating the display in real time of the process variables and preventive and corrective maintenance of the pumping unit.

For this an analysis of the actual situation to know the unit functioning and identify the pumping unit parts and the process variables was conducted, an important development information of the new design of the control system where the RSLogix 500 software is used for the programming in the automaton MicroLogix 1500 and the PanelBuilder32 software for the design in the PanelView 300 micro displayer.

After having carried out the programming in ladder language and the displayer design, functioning tests of the automaton, PanelView and sensors were performed with a PLC demo which is in the Petroproducción installations.

With the new design the response rapidity time, the easiness for changing the setting levels of protections and alarms the possibility of having projections and tendencies helping to better program the preventive and corrective maintenance activities, the easiness and versatility of carrying out any change in hardware in case of requiring improvements, modifications and enlargements, are improved.

This control system through an automaton is very practical and could be implemented in other locations with similar units.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos.....	3
2	MARCO TEÓRICO	
2.1	Empresa estatal de petróleos del Ecuador PETROECUADOR.....	4
2.1.1	Misión.....	4
2.1.2	Visión.....	4
2.1.3	Reseña histórica.....	4
2.1.4	Estructura.....	5
2.2	El petróleo.....	5
2.2.1	Definición.....	5
2.2.2	Gravedad API.....	6
2.2.3	Localización de los yacimientos.....	6
2.2.4	Extracción del petróleo.....	6
2.2.5	Proceso de la industrialización del petróleo para obtener derivados primarios.....	6
2.3	Sistemas de bombeo de petróleo.....	8
2.3.1	Bombeo mecánico.....	8
2.3.1.1	Unidad de Bombeo.....	8
2.3.1.2	Bomba de subsuelo.....	8
2.3.1.3	Varillas.....	9
2.3.2	Bombas de cavidades progresivas o PCP.....	9
2.3.3	Gas Lift.....	10
2.3.4	Bombeo electro-sumergible.....	11

2.3.5	Bombeo Hidráulico.....	12
2.3.5.1	Componentes del equipo.....	13
2.3.6	Bombeo por cabillas.....	16
2.4	Reductores.....	17
2.4.1	Guía para la selección del tamaño de un reductor.....	17
2.4.2	Potencia de selección.....	18
2.4.3	Instalación.....	19
2.4.4	Mantenimiento.....	20
2.5	Bombas de desplazamiento positivo.....	20
2.5.1	Bombas de pistón.....	20
2.5.1.1	Elementos básicos.....	21
2.5.2	Operación.....	22
2.6	Instrumentación y adquisición de datos.....	23
2.6.1	Definición.....	23
2.6.2	Características de los instrumentos.....	23
2.6.3	Clasificación de los instrumentos.....	25
2.6.3.1	De acuerdo a su función.....	25
2.6.3.2	De acuerdo a la variable de proceso que mide.....	27
2.7	Sensores y sistemas de transmisión.....	31
2.7.1	El sensor y el transmisor.....	31
2.7.2	Dinámica del sensor.....	32
2.7.3	Selección de los sensores.....	33
2.7.4	Sistemas de transmisión.....	34
2.7.4.1	Transmisión neumática.....	35
2.7.4.2	Sistemas de transmisión eléctrica.....	36
2.7.4.3	Multiplexado.....	37
2.7.4.4	Bus digital de campo.....	38
2.7.4.5	Sensores inteligentes.....	38
2.8	Sensores de temperatura.....	39
2.8.1	La termocupla.....	39
2.9	Sensores de presión.....	43
2.9.1	Sensores de presión resistivos.....	43
2.9.2	Sensores de presión piezo-cerámicos/multicapa.....	43

2.9.3	Sensores de presión con semiconductores.....	44
2.10	Sensores de velocidad.....	44
2.11	Controladores Lógicos Programables (PLC).....	45
2.11.1	Definición.....	45
2.11.2	Alternativas tecnológicas de automatización.....	45
2.11.2.1	Automatización convencional con relés.....	45
2.11.2.2	Automatización con sistemas de adquisición de datos para PC.....	46
2.11.2.3	Automatización con microprocesadores.....	46
2.11.2.4	Automatización con PLC.....	46
2.11.3	Funcionamiento.....	47
2.11.4	Características.....	47
2.11.5	Set de instrucciones.....	48
2.11.6	Lenguajes en PLC's.....	49
2.11.7	La norma IEC 1131-3.....	49
2.11.7.1	Tipos de datos.....	50
2.11.7.2	Variables.....	51
2.11.7.3	Configuraciones, recursos y tareas.....	51
2.11.7.4	Unidades para la organización del programa (POU).....	52
2.11.7.5	Gráficos funcionales secuenciales (SFC).....	53
2.11.7.6	Lenguajes de programación.....	54
2.11.7.7	Descendente Vs Ascendente.....	56
2.11.7.8	Implementaciones.....	56
2.11.8	Estructura o arquitectura externa.....	57
2.11.9	Estructura o arquitectura interna.....	58
2.11.9.1	Sección de entradas.....	58
2.11.9.2	Unidad central de procesamiento.....	58
2.11.9.3	Selección de salidas.....	59
2.11.9.4	Unidad de alimentación.....	59
2.11.9.5	Unidad de programación.....	59
2.11.10	Memorias.....	59
2.11.10.1	Memorias RAM.....	60
2.11.10.2	Memorias ROM.....	60
2.11.11	Utilización de las memorias.....	60

2.11.12	Tamaño de los PLC's.....	61
2.11.13	Ventajas del uso de los PLC's.....	62
2.11.14	Criterios de selección.....	62
2.12	Características de la comunicación.....	63
2.12.1	Señales analógicas.....	63
2.12.2	Medios de transmisión.....	63
2.12.3	Modo de transmisión.....	64
2.12.4	Modo de comunicación.....	64
2.12.5	Comunicación entre redes.....	65
2.12.5.1	Cable bus RS-485.....	65
2.12.5.2	Cable bus RS-232.....	68
2.13	HMI Human Machina Interface.....	70
3	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	
3.1	Estación Auca Central.....	72
3.2	Descripción del área de bombeo.....	75
3.3	Análisis del funcionamiento de la unidad de bombeo Power Oil.....	75
3.3.1	Verificación de equipos.....	76
3.3.2	Arranque de la unidad.....	76
3.3.3	Apagado de la unidad.....	76
3.4	Unidad Power Oil.....	77
3.4.1	Motor de combustión interna.....	77
3.4.2	Reductor de velocidad.....	78
3.4.3	Bomba de desplazamiento positivo.....	79
3.5	Sistema de control.....	81
3.6	Variables e instrumentación.....	82
3.6.1	Temperatura del agua del motor de combustión interna.....	82
3.6.2	Presión del aceite del motor.....	83
3.6.3	Vibración del motor.....	83
3.6.4	Vibración del intercambiador del calor.....	84
3.6.5	Presión de aire del governor.....	84
3.6.6	Velocidad del motor.....	85
3.6.7	Vibración del reductor.....	86

3.6.8	Vibración de la bomba.....	86
3.6.9	Presión de succión.....	87
3.6.10	Presión de descarga.....	87
4	PLAN DE MEJORAMIENTO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL	
4.1	Descripción de los cambios a realizarse en la unidad.....	89
4.1.1	Sistema de control.....	89
4.1.2	Instrumentación.....	90
4.1.2.1	Sensores de temperatura.....	90
4.1.2.2	Sensor de presión.....	91
4.1.2.3	Sensor de velocidad.....	91
4.1.2.4	Sensor de vibración.....	92
4.2	Descripción del autómeta.....	93
4.2.1	Descripción del hardware.....	93
4.2.1.1	Conexiones de comunicación.....	94
4.2.1.2	Esquema de bloques de terminales.....	95
4.2.1.3	Direccionamiento.....	96
4.2.2	Descripción del software.....	97
4.2.2.1	Ingreso al sistema.....	97
4.2.2.2	Selección del autómeta.....	98
4.2.2.3	Configuración de entradas y salidas.....	100
4.3	Diseño del sistema de control de la unidad de bombeo.....	104
4.3.1	Secuencia de operación del proceso.....	104
4.3.2	Programación del sistema de control en software RSLogix.....	105
4.3.3	Informe de la programación ladder.....	110
4.3.3.1	Direcciones y símbolos del programa.....	110
4.3.4	Comunicación del PLC Micrologix y un PC.....	110
4.3.4.1	Ingreso al sistema.....	111
4.3.5	Descarga del programa al controlador.....	115
4.4	Descripción del Interfaz Hombre-Máquina(HMI).....	119
4.4.1	Descripción del software.....	119
4.4.1.1	PanelBuilder32.....	119

4.4.2	Ingreso al sistema.....	121
4.4.2.1	Barras principales del programa PanelBuilder32.....	123
4.4.3	Diseño del visualizador.....	124
4.4.4	Informe del visualizador.....	124
4.4.5	Comunicación con el PanelView 300 micro.....	124
4.4.6	Descarga al panel al PanelView 300 micro.....	124
4.5	Diseño de las conexiones.....	127
4.5.1	Requerimientos de protección para el sistema de control.....	127
4.5.1.1	Tablero.....	127
4.5.1.2	Instalaciones eléctricas.....	127
4.5.2	Diagramas de lazo entradas y salidas digitales.....	128
4.5.3	Diagramas de lazo de entradas y salidas analógicas.....	128
4.6	Pruebas y simulación del sistema de control.....	128

5 INVERSIONES

5.1	Costos del estudio.....	131
5.1.1	Costos del diseño del programa.....	131
5.1.2	Costos de instalación.....	131
5.2	Costo total de inversión.....	137

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	138
6.2	Recomendaciones.....	139

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
I	Factores de servicio.....	19
II	Letras de identificación.....	28
III	Símbolos de instrumentación general.....	29
IV	Líneas de conexión común.....	30
V	Señales típicas de transmisión y sus rangos.....	35
VI	Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) Correspondientes a distintas termocuplas.....	41
VII	Tolerancia de calibración para termocupla estándar.....	42
VIII	Identificación de pines DB9 y DB25.....	69
IX	Densidad del petróleo y gravedad API.....	73
X	Parámetros de configuración para full- duplex DF1.....	94
XI	Nomenclatura de entradas y salidas.....	96
XII	Datos de las variables para shutdown.....	103
XIII	Costos de estudio.....	131
XIV	Costos de equipos.....	132
XV	Costos del sistema eléctrico.....	133
XVI	Costos de instalaciones de protección.....	134
XVII	Costos de accesorios.....	136
XVIII	Costo mano de obra.....	137
XIX	Costo de Inversión.....	137

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
1	Estructura petroecuador.....	5
2	Aplicaciones del petróleo.....	7
3	Bombeo mecánico.....	8
4	Bomba PCP instalación de superficie.....	10
5	Gas lift.....	11
6	Bomba electrosumergible.....	12
7	Funcionamiento de bomba de desplazamiento positivo.....	20
8	Termómetro de inmersión.....	32
9	Constante de tiempo de bulbo.....	33
10	Sistemas de transmisión neumática.....	36
11	Operaciones de 2 y 4 cables.....	36
12	Multiplexado.....	38
13	Condiciones entre conductores.....	39
14	Carcasa cerrada de un extremo.....	40
15	Sensores de presión resistivos.....	43
16	Sensores de presión piezo-cerámicos.....	43
17	Sensores de presión con semiconductores.....	44
18	Diagrama escalera.....	48
19	Norma IEC 1131-3.....	50
20	Configuraciones, recursos y tareas del programa.....	52
21	Gráficos funcionales secuenciales (SFC).....	54
22	Tipos de diagramas de programación.....	56
23	Programación descendente y ascendente.....	56
24	Arquitectura interna de PLC.....	58
25	Memorias de un PLC.....	61
26	Red RS-485 de 2 hilos.....	66

27	Red RS-485 de 4 hilos.....	66
28	Conectores DB-25 y DB-9.....	69
29	Campo Auca Central.....	72
30	Motor White Superior.....	77
31	Reductor de velocidad Lufking.....	78
32	Bomba Ajax.....	79
33	Tablero de control de la unidad de bombeo Power Oil 3.....	82
34	Válvula sensible de temperatura Amot.....	83
35	Sensor de vibración Amot.....	84
36	Governor.....	85
37	Sensor de velocidad.....	86
38	Manómetro y válvula de aguja (Presión de succión).....	87
39	Manómetro Ashcroft (Presión de descarga).....	88
40	Sensor de temperatura tipo J.....	91
41	Sensor de presión Wika.....	91
42	Tarjeta del sensor de velocidad.....	92
43	Sensor de vibración Metrix 5550.....	92
44	Partes del controlador MicroLogix 1500.....	93
45	Menú de configuración del canal 0.....	95
46	Terminales de la unidad base.....	95
47	Menú binary.....	97
48	Icono del Software RSLogix 500.....	98
49	Ventana principal de RSLogix 500.....	98
50	Selección del autómata Micrologix.....	99
51	Ventana del programa RSLogix.....	99
52	Ventana de selección de tarjetas.....	100
53	Ventana de configuración de la tarjeta 1769-IF8.....	101
54	Ventana de configuración de la tarjeta 1769-OF2.....	102
55	Ventana de configuración de la tarjeta 1769-IT6.....	102

56	Pantalla del archivo subrutinas.....	106
57	Pantalla del archivo de entradas digitales.....	106
58	Pantalla del archivo en entradas analógicas.....	107
59	Pantalla del archivo de la secuencia de arranque.....	107
60	Pantalla del archivo fallas.....	108
61	Pantalla del archivo de reset.....	108
62	Pantalla del archivo control de velocidad.....	109
63	Pantalla del archivo PanelView.....	109
64	Icono de acceso RSLinx.....	111
65	Ventana principal RSLinx.....	111
66	Configuración drive.....	112
67	Elección del controlador de comunicación.....	112
68	Nombre de configuración del drive de comunicación.....	113
69	Dirección del autómeta.....	113
70	Controlador configurado.....	114
71	Diálogo de RSWho dentro de RSLinx.....	114
72	Autómeta configurado y listo a utilizar.....	114
73	Descarga del programa al PLC.....	115
74	Revisión de nota.....	115
75	Configuración de descarga.....	116
76	Configuración de RUN MODE.....	116
77	Transferencia del programa.....	116
78	Configuración RUN MODE.....	116
79	Configuración modo on-line.....	117
80	RUN MODE del programa.....	117
81	Desconexión del computador y el autómeta.....	118
82	Ventana de diálogo de cambio en la programación.....	118
83	Conexiones RS-232 (Protocolo DF1).....	120
84	Icono de acceso al programa PanelBuilder32.....	121

85	Selección de archivo de PanelBuilder32.....	121
86	Selección del tipo y protocolo.....	122
87	Pantalla principal del programa PanelBuilder32.....	122
88	Descarga del programa al visualizador.....	125
89	Tipo de transferencia.....	125
90	Destino seleccionado de descarga.....	125
91	Transferencia del programa al PanelView 300 micro.....	126
92	Instalación PLC demo.....	129
93	Generador de frecuencia.....	129
94	Simulación del programa en modo RUN.....	129

LISTA DE ABREVIACIONES

API	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
PCP	PROGRESSING CAVITY PUMP
Hts	ALTURA TOTAL DE SUCCIÓN
Htd	ALTURA TOTAL DE DESCARGA
SAMA	SCIENTIFIC APPARTUS MAKER ASSOCIATION
SPAN	ALCANCE
ISA	INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA
NBS	NATIONAL BUREAU OF ESTÁNDAR
ANSI	AMERICAN NATIONAL STANDARS INSTITUTE
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
PID	CONTROL A LAZO CERRADO
E/S	ENTRADAS-SALIDAS
POU's	UNIDADES DE ORGANIZACIÓN DE PROGRAMAS
IC's	CIRCUITOS INTEGRADOS
FB's	BLOQUES FUNCIONALES
LD	DIAGRAMA DE CONTACTOS
FBD	DIAGRAMAS DE BLOQUES FUNCIONALES
IEC	COMISION INTERNACIONAL DE ELECTROTECNIA
RAM	RAMDOM ACCESS MEMORY
ROM	READ ONLY MEMORY
ISO	ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN
EIA	ASOSIACIÓN DE INDUSTRIAS ELECTRÓNICAS
UART	TRANSMISOR – RECEPTOR – ASÍNCRONO UNIVERSAL
IRQ	LINEAS DE INTERRUPCIÓN
HMI	INTERFACES HOMBRE MÁQUINA
IP	PROTOCOLO DE INTERNET
TCP	PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSMISIONES
SCADA	SISTEMAS DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** DIAGRAMA ACTUAL DEL SISTEMA DEL CONTROL NEUMÁTICO
- ANEXO 2:** UBICACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN
- ANEXO 3:** SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA
- ANEXO 4:** SELECCIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN
- ANEXO 5:** SELECCIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD
- ANEXO 6:** SELECCIÓN DEL SENSOR DE VIBRACIÓN
- ANEXO 7:** PROGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL EN LENGUAJE LADDER
- ANEXO 8:** BASES DE DATOS – DIRECCIONES/SÍMBOLOS
- ANEXO 9:** DISEÑO DEL VIZUALIZADOR PANELVIEW 300 MICRO
- ANEXO 10:** PLANOS DEL TABLERO
- ANEXO 11:** PLANO DE PROTECCIÓN EXTERNA DE LÍNEAS ELÉCTRICAS
- ANEXO 12:** DIAGRAMAS DE LAZO DE ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES
- ANEXO 13:** DIGRAMAS DE LAZO DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El petróleo, fuente de riqueza proveniente de nuestro subsuelo nos convierte en un país privilegiado; es un recurso no-renovable con tantas y valiosas aplicaciones, como energético, materia prima para diversos productos, sin duda constituye un tesoro para las naciones que disponen de él.

La industria petrolera es una de las áreas de mayor importancia en nuestro país, razón por la cual la empresa PETROPRODUCCIÓN filial de PETROECUADOR con más de 20 años de experiencia en la exploración, explotación de yacimientos y operación de los campos hidrocarburíferos asignados a PETROECUADOR, tiende a modernizarse y a obtener tecnología de punta acorde a sus necesidades.

El sistema de bombeo hidráulico, es el método que utiliza una bomba reciprocante instalada en el fondo de la sarta de producción, la cual es operada por medio de un líquido bombeado desde la superficie que utiliza un motor, un reductor y una bomba de desplazamiento positivo de pistón, estos son vigilados mediante un sistema de control que pueden ser neumático o electrónico. La mayoría de los sistemas que se tienen en las instalaciones de Petroproducción todavía son controlados neumáticamente por lo tanto requieren urgentemente un proceso de modernización.

En la actualidad, es necesario dotar a las instalaciones industriales de tecnología de punta para poder competir con el mercado internacional en igualdad de condiciones; en la producción de Petróleo este factor es de gran importancia si consideramos el costo de inversión y funcionamiento, y la pérdida de ingresos que significaría para el país el estancamiento de la producción por fallas en los equipos.

1.2 Justificación

En la Provincia de Orellana a una distancia de 45Km al Sureste de la ciudad del Coca, se encuentra ubicada la Estación Auca Central, que es una unidad de bombeo hidráulico de alta presión (Power Oil), que se encarga de inyectar fluido motriz hacia los diferentes pozos de formación para la recuperación secundaria del petróleo.

La unidad está formada por un motor de combustión interna a diesel, un reductor de velocidad y una bomba de desplazamiento positivo. El sistema de control, protección e instrumentación que posee esta unidad, está basado en tecnología neumática. Todos estos equipos y componentes tienen más de treinta años de funcionamiento, los niveles de eficiencia y confiabilidad han bajado notablemente debido a sus años de servicio, caducidad de la vida útil y la falta de repuestos tanto de equipos como de accesorios para este tipo de unidad.

En este grupo se encuentran los tableros de control y toda la instrumentación instalada en la unidad cuya función es controlar, proteger y visualizar las principales variables, (presión, temperatura y velocidad); en estos sistemas neumáticos, también es evidente la falta de repuestos que actualmente los fabrican tan solo bajo pedido, razón por la cual los costos por mantenimiento preventivo o correctivo se elevan considerablemente.

En el aspecto tecnológico, es importante destacar que los sistemas basados en tecnología electrónica y Controladores Lógicos Programables (PLC's), ofrecen grandes ventajas sobre los sistemas neumáticos; por ejemplo, la rapidez de respuesta, la facilidad de cambiar los niveles de seteo de protecciones y alarmas, el registro de todo evento o alteración en el funcionamiento de la unidad, la posibilidad de contar con proyecciones y tendencias que ayudarían a programar mejor las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, la alternativa de visualizar en tiempo real los valores de las variables del proceso, el realizar toda la operación y control de manera remota desde el sitio que se designe de acuerdo a la necesidad, la facilidad y versatilidad de realizar cualquier cambio en hardware en caso de requerir mejoras, modificaciones o ampliaciones, entre otras unidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

“Realizar un estudio para la optimización del sistema de control de la unidad de bombeo Power Oil 3 del Campo Auca Central de Petroproducción utilizando un Controlador Lógico Programable.”

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual del Sistema de Control de la unidad Power Oil 3 del Campo Auca Central de Petroproducción.
- Establecer un plan de mejoramiento para el Control de la Unidad de bombeo Power Oil 3.
- Diseñar el Sistema de Control, basado en un Controlador Lógico Programable Micrologix 1500
- Simular el proceso de Control mediante la utilización del Software RSLogix
- Evaluar la aplicación del Sistema de Control.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Empresa Estatal de Petróleos del Ecuador “Petroecuador”

2.1.1 Misión

“Empresa Estatal Petrolera que genera riqueza para los ecuatorianos mediante la exploración, explotación, transporte, industrialización y comercialización de hidrocarburos, con recurso humano idóneo y comprometido con el desarrollo del país.”

2.1.2 Visión

“Ser una empresa hidrocarburífera orientada a maximizar el valor de sus activos y reconocida globalmente por su excelencia técnica y operativa, y su responsabilidad en las áreas social y ambiental.”

2.1.3 Reseña histórica

El 23 de junio de 1972 , se creó la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana-CEPE, como una entidad encargada de desarrollar actividades que le asignó la Ley de Hidrocarburos; y además, explorar, industrializar y comercializar otros productos necesarios para la actividad petrolera y petroquímica, así como las sustancias asociadas, con el fin de alcanzar la máxima utilización de los hidrocarburos que son bienes de dominio público, para el desarrollo general del país, de acuerdo con la política nacional de hidrocarburos formulada por la función ejecutiva.

La empresa petrolera estatal se estructura semanas antes de que se inicie la explotación del crudo de la Amazonía. De esta forma, CEPE inició sus actividades en el área de exploración, (búsqueda de nuevos yacimientos), comercialización interna y externa del crudo, y transporte de hidrocarburos y derivados, todo esto dentro de una

dura resistencia de intereses locales y extranjeros afectados en un negocio antes intocado.

El crecimiento de las operaciones petroleras generó la necesidad de darle autonomía y capacidad de gestión lo que conllevó a la transformación legal y organizacional, dando como resultado la actual estructura empresarial conocida como PETROECUADOR.

2.1.4 Estructura

PETROECUADOR es la matriz ejecutiva de un grupo formado por tres empresas filiales especializadas en exploración y explotación; industrialización, comercialización y transporte de hidrocarburos, **Fig. 1.**

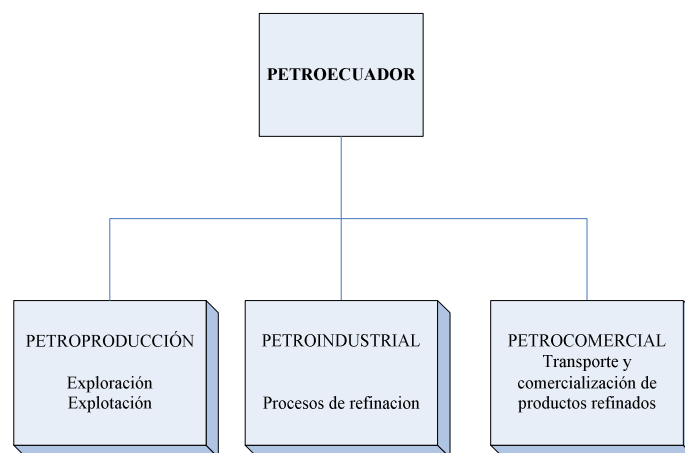


Figura 1: Estructura Petroecuador

2.2 El Petróleo

2.2.1 Definición

Líquido natural, oleaginoso e inflamable, de color oscuro y olor característico, más ligero que el agua, formado por una mezcla de hidrocarburos. Se obtienen de él distintos productos utilizables con fines energéticos o industriales.

2.2.2 Gravedad API

La propiedad más importante y por la cual prácticamente se le caracteriza, es la gravedad API (American Petroleum Institute). Este es un indicador de la densidad y de la calidad del crudo. A mayor gravedad API, mayor será su valor. Existen otros factores que inciden en su precio como el contenido de azufre, parafinas y metales pesados, pero el factor predominante es su gravedad API.

2.2.3 Localización de los yacimientos

Los yacimientos de petróleo se encuentran en diferentes puntos geológicos como pueden ser:

- **Lechos geológicos continentales:** También llamados campos petrolíferos que se localizan en el interior de la corteza continental formando bolsas de petróleo.
- **Lechos geológicos marinos:** Se encuentran en el interior de la corteza continental también pero se extraen con ayuda de plataformas.

2.2.4 Extracción del petróleo

Si el fluido almacenado en la formación tiene suficiente presión, podrá desplazar el fluido que se encuentra llenando el tubo y de esta manera fluir a la superficie hasta las instalaciones de producción (Flujo natural); pero si no posee suficiente energía, será necesario inducir el flujo hasta la superficie instalando sistemas de producción.

2.2.5 Proceso de la industrialización del petróleo para obtener derivados primarios

El petróleo crudo, empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para hervir el agua; los hidrocarburos con menor masa molecular son los que se vaporizan a temperaturas más bajas, y a medida que aumenta la temperatura se van evaporando las moléculas más grandes. El primer material destilado a partir

del crudo es la fracción de gasolina, seguida por la nafta y finalmente el queroseno como muestra la **Fig. 2**.

Los diferentes productos del petróleo para la aplicación de las industrias son:

- Gas licuado de petróleo.
- Gasolina.
- Queroseno.
- Gasóleo.
- Fuel.

Gases

- Butano.
- Propano.

Materia básica para la obtención de productos químicos.

- Nafta.
- Alquitrán.
- Grasas.
- Ceras.
- Lubricantes.

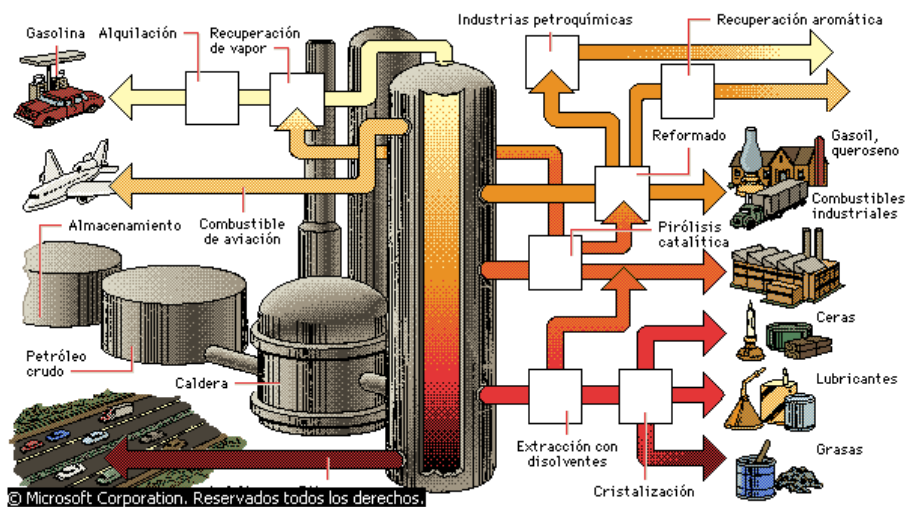


Figura 2: Aplicaciones del Petróleo

2.3 Sistemas de Bombeos de Petróleo

2.3.1 Bombeo Mecánico

Es aquel que se lleva a cabo por medio de una unidad de bombeo que acciona una sarta de varillas, las cuales a su vez, accionan una bomba de pistón instalada en el extremo inferior de la tubería de producción. Este sistema es generalmente usado para petróleos viscosos y pesados **Fig. 3**. El equipo consta de las siguientes partes:

2.3.1.1 Unidad de Bombeo

Es un balancín destinado a imprimir un movimiento ascendente y descendente a la sarta de varillas, está dotado de un motor, un reductor de velocidad, contrapesas, etc. El balancín está construido de tal manera que permite aumentar o disminuir la velocidad de operación, que permite acondicionarla a la capacidad de producción del pozo.



Figura 3: Bombeo Mecánico.

2.3.1.2 Bomba de subsuelo

Es un tubo de acero dentro del cual funciona recíprocamente un embolo o pistón, el cual desplaza el fluido proveniente de la formación hacia el exterior. La bomba posee válvulas en su extremo inferior y en el pistón viajero, de tal manera que en su

carrera ascendente permite la entrada de fluido al cuerpo de la bomba y en la carrera descendente permite que el fluido pase a la parte superior del pistón, que al viajar nuevamente hacia arriba, obliga al fluido que está dentro del tubing a salir hacia la superficie.

2.3.1.3 Varillas

Son las que conectan el balancín (superficie) con la bomba (subsuelo), transmitiendo el movimiento ascendente y descendente. Y sus características son:

- Útil para trabajar a bajas presiones de fondo.
- Método simple y de fácil uso para los operadores.
- Permite controlar las tasas de producción de acuerdo al tipo de yacimiento.
- Permite el levantamiento de crudo a altas temperaturas.
- Presenta problemas en pozos con alta producción de sólido.

2.3.2 Bombas de Cavidades Progresivas o PCP

Este método consiste en el desplazamiento positivo de un volumen, ocasionado por una diferencia de presión, producto de la transformación de la energía cinética en potencial cuando se combina el movimiento longitudinal a lo largo del mismo. La bomba de cavidad progresiva o tornillo, es un equipo utilizado para el levantamiento artificial de crudo desde el subsuelo hasta la superficie.

La bomba posee dos hélices, una dentro de la otra: el estator con una hélice interna doble y el rotor con una hélice externa simple.

Cuando el rotor se inserta dentro del estator, se forman dos cadenas de cavidad progresivas bien delimitadas y aisladas. A medida que el rotor gira, estas cavidades se desplazan a lo largo del eje de la bomba, desde la admisión en el extremo inferior hasta la descarga en el extremo superior, transportando, de este modo, el fluido del pozo hacia la tubería de producción **Fig. 4**, y sus características son:

- Bajo costo de instalación.
- Bombea crudo de alta y baja gravedad API.
- El equipo de superficie puede ser transportado, instalado y removido fácilmente.
- Aumenta la vida útil de las cabillas.
- Opera con bajo torque.
- Bajo consumo de energía eléctrica.
- Bajos costos de mantenimiento.



Figura 4: Bomba PCP Instalación de Superficie

2.3.3 Gas lift

Consiste en bombear gas a través de una válvula como se muestra en la **Fig. 5**, lo que favorece el ascenso de la columna de fluido que se encuentra en el tubing, hacia la superficie. Cuando el líquido llega a la superficie, no hay razón para mantener la circulación de gas por lo cual puede ser suspendida y se da espacio para que un nuevo volumen de fluido, invada la tubería de producción debido a la disminución de la altura de la columna de fluido. Esta operación se lleva a cabo cíclicamente y se logra producir una cantidad de líquido igual al aporte de la formación.

La parte clave de este sistema es la válvula de gas, que controla la inyección a presión que se lleva a cabo al fluido contenido en el tubing; estas son instaladas en la sarta (serie de tubos que se unen para formara la sarta de perforación, puede ser de revestimiento o de producción) del tubing y están calibradas de tal manera que

cuando la columna de gas que las hace operar alcanza una presión determinada, permite la entrada de gas del revestimiento al tubing en un volumen igualmente determinado para que el fluido almacenado en el tubing sea barrido hasta superficie.

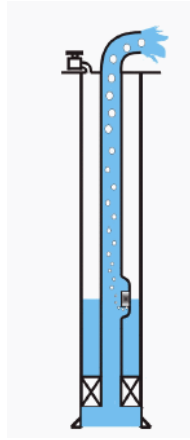


Figura 5: Gas Lift

Y sus características son:

- Diseñado para pozos con alto potencial de producción.
- Limitado por la profundidad del pozo.
- La producción de arena no dificulta la producción.
- La inyección se realiza usando válvulas reemplazables.
- Permite la opción de completamientos desviados.
- Puede ser de difícil uso en campos con baja presencia de gas.
- Pueden existir problemas de congelación de las líneas de flujo.

2.3.4 Bombeo Electro-sumergible

Estas bombas son centrífugas multi-etapas operadas por un motor eléctrico, que va acoplado directamente a la bomba. El conjunto motor – bomba es instalado en el extremo inferior de la sarta de producción como se muestra en la **Fig. 6**. Los rotores del motor van en la parte inferior y los “impellers” de la bomba en la parte superior.

El tamaño de la bomba es controlado por el tamaño del revestimiento; sin embargo este tipo de bombas se caracterizan por mover grandes volúmenes de fluido a grandes profundidades.

El sistema básico consta de un motor eléctrico, una sección de sello, una sección de entrada de fluido, una bomba centrífuga multi-etapa, cable eléctrico, panel de control y transformadores.

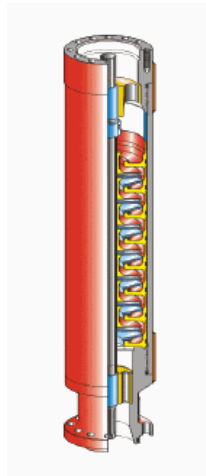


Figura 6: Bomba Electro-sumergible

Y sus características son:

- Altas tasas de producción (15000 bpd).
- Altos contenidos de agua.
- Limitado por la profundidad del pozo.
- Fácil operación.
- Bajos costos de levantamiento.
- Al momento de la producción se pueden usar tratamientos para la producción de sólidos.
- Limitado por la disponibilidad de energía eléctrica.
- Los cambios de equipo son muy costosos y los cables se deterioran con rapidez.
- Su operatividad es de difícil análisis.

2.3.5 Bombeo hidráulico

Su potencia es transmitida mediante un fluido presurizado que es inyectado a través de tubería. Este fluido es conocido como fluido de potencia o fluido de motor y es usado por una bomba de subsuelo que actúa como un transformador para convertir la energía de dicho fluido a energía potencial o de presión.

Básicamente, este método utiliza una bomba recíproca instalada en el fondo de la sarta de producción, la cual es operada por medio de un líquido bombeado desde la superficie, el cual acciona un pistón de manera recíproca. La diferencia con el bombeo mecánico radica en que la potencia en este método es transmitida por medio de un líquido de potencia y no por medio de varillas como lo hace el bombeo mecánico. Estas bombas tienen limitaciones en cuanto a volumen y profundidad de instalación. Los fluidos de potencia más utilizados son agua y crudos livianos que pueden provenir del mismo pozo.

2.3.5.1 Componentes del equipo

Los componentes que conforman el sistema de levantamiento por bombeo hidráulico se clasifican en dos grandes grupos:

- Equipo de Superficie
- Equipo de Subsuelo

Equipos de superficie:

Entre los diferentes equipos que se encuentran en la superficie son:

Sistema de fluido de potencia

En los sistemas de bombeo hidráulico, el fluido motor recibe la energía suministrada por las bombas en la superficie. Este fluido transmite la potencia a la bomba de subsuelo y, luego, retorna a la superficie con el fluido producido por el yacimiento. Los sistemas de fluidos de potencia se dividen en dos tipos:

- **Sistemas de fluido cerrado:** En este tipo de sistema, el fluido motor no se mezcla con los fluidos producidos por el yacimiento.
- **Sistemas de fluido abierto:** En este tipo de sistema, el fluido motor se mezcla con los fluidos producidos por el yacimiento.

Bomba de superficie

Las bombas utilizadas en este tipo de levantamiento para inyectar el fluido del motor pueden ser:

- **Bombas triples:** estas bombas usan, embolo camisa de metal a metal, válvula tipo bola, y son las más usadas generalmente.
- **Bombas múltiples:** tienen un terminal de potencia y una de fluido. El terminal de potencia comprende, entre otras partes: el cigüeñal, la biela y los engranajes.

El terminal de fluido está formado por pistones individuales, cada uno con válvulas de retención y descarga. Usualmente, estas válvulas están provistas de resorte. Las bombas múltiples más comúnmente instaladas en el campo son las de configuración horizontal.

Múltiples de control

Cuando se opera una cantidad apreciable de pozos desde una batería central, se suele usar un múltiple de control para dirigir los flujos o para manejarlo de forma directa a cada uno de los pozos. Los medidores de flujo global o individual para cada pozo se pueden instalar en el múltiple de control de fluido de potencia.

Para regular y distribuir el suministro de fluido de potencia a uno o más pozos, se usan varios tipos de válvulas de control. La válvula común a todos los sistemas de bombeo libre es la de cuatro vías o válvula de control del cabezal del pozo.

Válvula de control

Una válvula de control de presión constante, regula la presión en el lado común del fluido de potencia del múltiple; esta presión generalmente, es mayor que la presión más alta requerida por cualquier de los pozos. La válvula de control de flujo

constante rige la cantidad de fluido de potencia que se necesita en cada pozo cuando se emplea una bomba reciproca.

Equipos de subsuelo:

Entre los diferentes equipos que se encuentran en el subsuelo son:

Sistema de fluido motor

En los sistemas de bombeo hidráulico, el fluido motor transmite la potencia a la bomba de subsuelo y, a la vez, lubrica todas las partes móviles de la misma. El transporte del fluido motor y del fluido producido se realiza a través de un sistema de tuberías que depende del tipo de sistemas de fluido o de potencia:

- **Sistema de fluido cerrado:** En este caso, el fluido motor no se mezcla con el pozo. Lo cual hace necesario el uso de tres tuberías en el fondo del pozo, una para inyectar el fluido de potencia, una de retorno del mismo y otra del fluido de producción.
- **Sistema de fluido abierto:** En este caso, el fluido motor se mezcla con el fluido del pozo, lo cual hace necesario el uso de dos tuberías en el fondo, una para inyectar el fluido de potencia y otra para el retorno de la mezcla.

Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas de subsuelo constituyen el principal componente del sistema en el fondo del pozo. El principio de operación de estas bombas es similar al de las bombas de cabillas, las bombas hidráulicas utilizan un pistón accionado por cabillas y dos o más válvulas de retención. La bomba puede ser:

- **De simple acción:** Esta sigue prácticas de diseño similares a la de una bomba de cabillas. Se denomina de acción simple por que desplaza el fluido hasta la superficie, en el recorrido ascendente o en el descendente (no en ambos).

- **De doble acción:** Esta bomba tiene válvulas de succión y de descarga en ambos lados del pistón. Por esta razón esta bomba desplaza el fluido hasta la superficie en ambos recorridos, ascendente y descendente, con la acción combinada de apertura y cierre de las válvulas de succión y de descarga del pistón.

2.3.6 Bombeo por cabillas

En una instalación de bombeo por cabillas la unidad de superficie y la bomba de subsuelo se unen por medio de la sarta de cabillas. En cambio, en una unidad de bombeo hidráulico, la cabilla se encuentra en el interior de la bomba. Las bombas de cuatro vías se usan en el motor para cambiar la alta presión del fluido de potencia a baja presión y descarga en ambos lados del pistón del motor, de manera alternativa. Estas válvulas del motor se utilizan con bombas de doble acción, para dar igual fuerza en el recorrido ascendente y descendente.

Funcionamiento

Cuando el pistón del motor llega al final de la carrera descendente el diámetro reducido en la parte superior del vástago de válvula permite la entrada del fluido a alta presión, debajo de la válvula del motor. Debido a que la válvula tiene mayor área en la parte inferior que en la superior se desplazara hacia arriba como consecuencia de la fuerza resultante al actuar una misma presión sobre zonas distintas y en direcciones opuestas.

Cuando la válvula de motor está en la posición superior, las trayectorias del flujo hacia el pistón se invierten, comenzando la carrera ascendente de la bomba.

En cambio cuando el pistón del motor llega al final de la carrera ascendente, el diámetro reducido del extremo inferior del vástago de válvula conecta el área debajo de la válvula a la descarga. Con la alta presión por encima de la válvula y solamente la presión de descarga abajo, la válvula se desplazará a su posición superior y se repetirá el ciclo. Y sus características son:

- Pueden ser usados en pozos profundos (+/- 18000 pies)
- No requiere taladro para remover el equipo de subsuelo
- Puede ser utilizado en pozos desviados, direccionales y sitios inaccesibles.
- Varios pozos pueden ser controlados y operados desde una instalación central de control.
- Puede manejar bajas concentraciones de arena.

2.4 Reductores

En todo tipo de industria siempre se requiere de equipos, cuya función es variar las r.p.m.(revoluciones por minuto) de entrada, que por lo general son mayores de 1200, entregando a la salida un menor número de r.p.m. sin sacrificar de manera notoria la potencia. Esto se logra por medio de los reductores de velocidad.

Al emplear reductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

2.4.1 Guía para la selección del tamaño de un reductor

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

Características de operación.

- Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- Torque (par) máximo a la salida en kg-m.
- Relación de reducción (I).

Características del trabajo a realizar

- Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- Duración de servicio horas/día.

Condiciones del ambiente

- Humedad
- Temperatura

Ejecución del equipo

- Ejes a 180°, ó, 90°.
- Eje de salida horizontal, vertical, etc.

2.4.2 Potencia de selección (Pn)

Es difícil encontrar en la práctica, una unidad de reducción que realice su trabajo en condiciones ideales, por tanto, la potencia requerida por la máquina accionada debe multiplicarse por un factor de servicio F_s , factor que tiene en cuenta las características específicas del trabajo a realizar y el resultado, llamado potencia de selección, es el que se emplea para determinar el tamaño del reductor en las tablas de selección.

Potencia de selección (Pn)= Potencia requerida (Pr) x Factor de servicio (Fs).

En algunos casos los reductores se determinan no por la potencia sino por torques de selección. El torque y la potencia están relacionados mediante la siguiente función:

$$Tn(Kg - m) = \frac{716.2xPn(HP)}{N(RPM)} \quad (1)$$

Para las tablas de selección:

Pn= HP de salida

Tn= Torque

N = Eficiencia del reductor.

TABLA N° I. FACTORES DE SERVICIO

TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS/ DÍA	TIPOS DE CARGA		
		UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
MOTOR ELÉCTRICO (Entrada constante)	2	0.9	1.1	1.5
	10	1	1.25	1.75
	24	1.25	1.50	2.00
Motor de combustión de varios cilindros (medianamente impulsiva)	2	1	1.35	1.75
	10	1.25	1.50	2.00
	24	1.50	1.75	2.50

2.4.3 Instalación

Para un buen funcionamiento de las unidades de reducción es indispensable tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las unidades deben montarse sobre bases firmes para eliminar vibraciones y desalineamientos en los ejes.

- Si la transmisión de la unidad a la máquina es por acople directo entre ejes, es indispensable garantizar una perfecta alineación y centrado.
- Las unidades de acoplamiento deben montarse cuidadosamente sobre los ejes para no dañar los rodamientos y lo más cercanas a la carcasa para evitar cargas de flexión sobre los ejes

2.4.4 Mantenimiento

Los engranajes y los rodamientos están lubricados por inmersión o salpique del aceite alojado en la carcasa. Se debe revisar el nivel del aceite antes de poner en marcha la unidad de reducción.

En la carcasa se encuentran los tapones de llenado, nivel y drenaje de aceite.

Los reductores tienen una placa de identificación, en la cual se describe el tipo de lubricante a utilizar en condiciones normales de trabajo.

2.5 Bombas de Desplazamiento Positivo

2.5.1 Bombas de pistón.

Llamadas también aspirante-impelente. En la **Fig.7** aparecen los elementos básicos constituyentes de una bomba de este tipo.

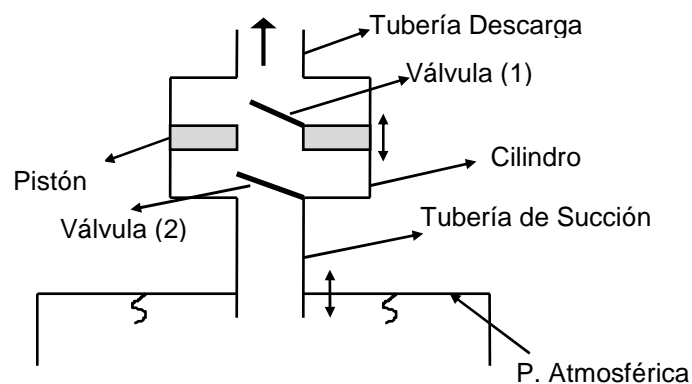


Figura7: Bomba de Desplazamiento Positivo

2.5.1.1 Elementos básicos

Tubería de Succión.

Son tuberías por donde fluye el líquido cuando el pistón asciende en el cilindro, creando un vacío que es llenado por el líquido presionado a ascender por la presión atmosférica que actúa sobre la superficie libre del líquido en el recipiente o pozo de succión.

Cilindro.

En éste se aloja el pistón que se desliza con movimiento de vaivén, ascendente descendente; pueden ser horizontales o inclinados, según la construcción de la bomba.

Tubería de descarga.

Por esta tubería, sale el fluido impulsado con presión y velocidad por el pistón en su carrera de impulsión.

Pistón.

Posee una empaquetadura de cuero, caucho, anillos, etc. Es hermético con el cilindro. Realiza dos operaciones básicas: aspirar el líquido en la carrera de aspiración y expelerlo a presión en la carrera de impulsión.

Válvulas.

Cumplen en este esquema dos funciones; cuando el pistón hace la carrera de aspiración (subiendo), la válvula (1) se cierra y la (2) se abre y el cilindro se llena de líquido en la parte de abajo del pistón y se expulsa en la parte de encima del mismo.

Después cuando el pistón desciende, la válvula (1) se abre y el líquido pasa arriba del pistón y la (2) se cierra evitando el reflujó del líquido hacia la succión **Fig.7.**

En las bombas de pistón, la disposición de las válvulas es muy variable, pero siempre tienen el mismo funcionamiento aquí descrito.

2.5.2 Operación

Succión.

Esta se produce cuando el pistón hace su carrera ascendente creando un vacío en el cilindro, el cual es llenado con el líquido impulsado por la presión atmosférica; por lo tanto, mientras mejor sea el vacío producido y mayor la presión atmosférica del sitio donde está instalada la bomba, mayor será la profundidad a la que puede succionar, siendo 10mts aprox. La mayor succión teórica.

En la realidad, esta profundidad de succión se ve reducida a una fracción de la succión máxima teórica por deficiencias en el vacío y por pérdidas de cabeza (presión) debido a la fricción en la tubería de succión y a los accesorios de la succión. Por lo tanto, existirán diferentes alturas de succión máximas (Z_1 máx) según la altura sobre el nivel del mar donde esté la bomba y según la bomba usada. Esta Z_1 máx es generalmente más grande para las bombas de pistón que para las centrífugas porque aquellas no presentan el fenómeno de “cavitación” en forma tan acentuada como en las centrífugas debido a su baja velocidad de operación.

Altura de Descarga

En las bombas de pistón, la altura máxima de descarga está limitada por dos factores:

- Diseño de la bomba
- Fuente de potencia acoplada.

El diseño limita en cuanto a la resistencia propia de los elementos de la bomba, tales como cilindro, pistones, bielas, válvulas, holguras entre pistón y cilindro, que fallarán cuando la presión a que se sometan supere la resistencia de estos elementos. Para evitar estas sobrepresiones, algunas bombas de pistón están dotadas de válvulas reguladoras de presión las cuales se abren a una determinada presión inferior a la que resisten los elementos de la bomba antes de sufrir daño.

Por lo tanto, la máxima altura o cabeza de descarga en estas bombas, las especificará el fabricante en sus manuales.

2.6 Instrumentación y Adquisición de Datos

2.6.1 Definición

Instrumentación, es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. En otras palabras, la instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en determinado proceso que servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, de no ser así, se podrá usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva.

2.6.2 Características de los instrumentos

De acuerdo con las normas SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), las características de mayor importancia, para los instrumentos son:

Campo de medida o rango (Range)

Es el conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable.

Alcance (SPAN)

Es la diferencia entre el valor superior e inferior del campo de medida. Para el caso del termómetro de ejemplo, el SPAN será de 50°C.

Error

Se refiere a la diferencia que existiría entre el valor que el instrumento indique que tenga la variable de proceso y el valor que realmente posea esta variable en ese momento.

Precisión.

Indica la tolerancia mínima de medida que permitirá indicar, registrar o controlar el instrumento. En otras palabras, es la mínima división de escala de un instrumento indicador. Generalmente esta se expresa en porcentaje (%) del SPAN.

Zona muerta (DEAD BAND)

Muestra el campo máximo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control.

Sensibilidad

Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.

Repetitividad

Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición.

Histéresis.

Similar a la repetitividad, pero en este caso el proceso de medición se efectuará en ambas direcciones.

Campo de medida con supresión de cero

Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por encima del cero real de la variable.

Campo de medida con elevación de cero

Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por debajo de cero de las variables.

2.6.3 Clasificación de los instrumentos

Existen dos formas de clasificar los instrumentos las cuales son:

- De acuerdo a su función en el proceso.
- De acuerdo a la variable de proceso que miden.

Este modo de clasificarlos no es necesariamente el único, pero se considera bastante completo.

2.6.3.1 De acuerdo a su función

Instrumentos indicadores.

Son aquellos que como su nombre bien dice, indican directamente el valor de la variable de proceso. Ejemplos: manómetros, termómetros, etc.

Instrumentos ciegos.

Son los que cumplen una función reguladora en el proceso, pero no muestran nada directamente. Ejemplos termostatos, presostatos, etc.

Instrumentos registradores

En algunos casos podrá ser necesario un registro histórico de la variable que se estudia en un determinado proceso, en este caso, se usaran instrumentos de este tipo.

Elementos primarios

Algunos elementos entran en contacto directo con el fluido o variable de proceso que se desea medir, con el fin de recibir algún efecto de este (absorben energía del proceso), y por este medio pueden evaluar la variable en cuestión. (Placa, orificio).

Transmisores

Estos elementos reciben la variable de proceso a través del elemento primario, y la transmiten a algún lugar remoto. Estos transmiten las variables de proceso en forma de señales proporcionales a esas variables.

Transductores.

Son instrumentos fuera de línea (no en contacto con el proceso), que son capaces de realizar operaciones lógicas o matemáticas con señales de uno o más transmisores.

Convertidores

En ciertos casos, la señal de un transmisor para ser compatible con lo esperado por el receptor de esa señal, en ese caso se utilizará un elemento convertidor para lograr la ante mencionada compatibilidad de señal.

Receptores

Son los instrumentos que generalmente son instalados en el panel de control, como interface entre el proceso y el hombre. Estos reciben las señales de los transmisores o de un convertidor.

Controladores.

Este es uno de los elementos más importantes, ya que será el encargado de ejercer la función de comparar lo que está sucediendo en el proceso, con lo que realmente se desea que suceda en él, para posteriormente, en base a la diferencia, envíe una señal al proceso que tienda a corregir las desviaciones.

Elemento final de control.

Será este elemento quien reciba la señal del controlador y quien estando en contacto directo al proceso en línea, ejerza un cambio en este, de tal forma que se cambien los parámetros hacia el valor deseado. Ejemplo: válvulas de control, compuertas, etc.

2.6.3.2 De acuerdo a la variable de proceso que miden

Esta clasificación, como su nombre lo indica, se referirá a la variable de proceso que tratemos de medir. En la actualidad, se pueden medir, casi sin excepción, todas las variables de los procesos existentes, sin embargo, algunas se medirán de forma directa y otras indirectamente.

La Sociedad Americana de Instrumentación (ISA) clasifica al instrumento de acuerdo a la variable del proceso que mide en:

TABLA N° II. LETRAS DE IDENTIFICACIÓN

	PRIMERA LETRA		LETRAS SUCESORAS		
	Variable Inicial o Medida	Modificadora	Función Pasiva o de Lectura	Función de Salida	Modificadora
A	Análisis		Alarma		
B	Mechero, Combustión		A escogencia del usuario	A escogencia del usuario	A escogencia del usuario
C	A escogencia del usuario			Control	
D	A escogencia del usuario	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor (elemento primario)		
F	Tasa de Flujo	Proporción (fracción)			
G	A escogencia del usuario		Vidrio, Instrumento de visión		
H	Manual				Alto
I	Corriente eléctrica		Indicación		
J	Potencia	Exploración			
K	Tiempo, tiempo programado	Tasa de tiempo de cambio		Estación de Control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	A escogencia del usuario	Momentáneo			Medio, Intermedio
N	A escogencia del usuario		A escogencia del usuario	A escogencia del usuario	A escogencia del usuario
O	A escogencia del usuario		Orificio, Restricción		
P	Presión, vacío		Punto (de prueba), Conexión		
Q	Cantidad	Integral, Total			
R	Radiación		Grabación		
S	Rapidez, frecuencia	Seguridad		Switche	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multi variable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Vibración, análisis mecánico			Válvula, amortiguador, lumbreira	
W	Peso, fuerza		Fuente		
X	Sin clasificación	Eje X	Sin clasificación	Sin clasificación	Sin clasificación
Y	Evento, estado o presencia	Eje Y		Repetidor, computadora, conversión	
Z	Posición, dimensión	Eje Z		Driver, elemento de control final sin clasificar	

TABLA N° III. SÍMBOLOS DE INSTRUMENTACIÓN GENERAL














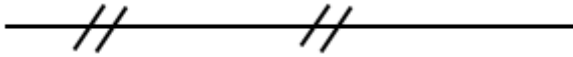



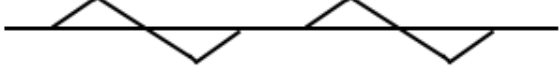

INSTRUMENTACIÓN GENERAL O SÍMBOLOS DE FUNCIÓN			
	Montaje en panel accesible al operador	Montaje en campo	Montaje en Ubicación auxiliar accesible al operador
Instrumentos discretos			
Pantalla o display			
Función de computador			
PLC Control Lógico Programable.			

TABLA N° IV. LÍNEAS DE CONEXIÓN COMÚN

LÍNEAS DE CONEXIÓN COMÚN	
Conexión a proceso, o alimentación de Instrumentación	
Señal Neumática	
Señal Eléctrica	
Tubo Capilar	
Señal Hidráulica	
Señal Electromagnética o sónica (guiada)	
Sistema de enlace interno (Programa o enlace de datos)	

2.7 Sensores y Sistemas de Transmisión

2.7.1 El sensor y el transmisor

Uno de los problemas más críticos en el diseño e instalación de los sistemas de control de procesos con realimentación negativa, es la especificación del equipo de medición o sensor que nos debe suministrar una continua medición de la variable controlada. Este equipo de medición no solo provee una medición de la variable controlada, este también produce el cambio de variable.

El cambio de variable toma lugar después de que la variable controlada por si misma toma el valor actual de la señal que va a ser transmitida a la parte de atrás del comparador. El transmisor produce una señal de salida cuyo valor de estado estable tiene una relación predeterminada a la variable controlada.

Ningún transmisor es requerido desde el punto de vista de la medición o desde el punto de vista del control; básicamente el transmisor sirve desde el punto de vista de operación para hacer que los datos de la medición de la variable controlada estén disponibles en una sala de control centralizada. Es bastante frecuente desde el punto de vista de hardware, las funciones del transmisor y la medición son ambas incorporadas como un solo dispositivo de hardware.

Las principales variables registradas en los sistemas de control de procesos son temperatura, presión, rata de flujo, composición y nivel de líquidos. Algunas de estas variables como la presión pueden ser medidas directamente, mientras otras como la temperatura puede ser medida solo indirectamente.

Otro término que debe ser definido es el transductor. Este es un término de uso general para un dispositivo que recibe información en forma de una o más cantidades físicas y modifica la información, su forma o ambas y envía una señal de salida. Un sensor depende de su aplicación, un transductor puede ser un elemento primario de medición (como un sensor), transmisor, un relé, un convertidor o cualquier otro dispositivo.

Se puede apreciar que muchos de estos términos, sensor, transmisor, convertidor, transductor tienen amplios significados y su confusión es bastante frecuente, la instalación de un dispositivo en particular de hardware dictará el término descriptivo apropiado para su uso. Su confusión puede ser minimizada si el técnico instrumentista enfoca principalmente el uso funcional apropiado.

2.7.2 Dinámica del sensor

Es importante entender la dinámica del sensor. Es muy frecuente que la velocidad de respuesta del elemento primario de medición es uno de los más importantes factores que afecta la operación de un controlador. Obviamente el control de procesos es continuo y dinámico y la rata con la cual el controlador puede detectar cambios en la variable controlada será crítica para toda la operación del sistema.

Para poder entender la dinámica del sensor vamos a referirnos a la **Fig. 8** la cual muestra un termómetro de inmersión del tipo de expansión. Para propósitos de análisis vamos a suponer que cuando sumergimos el bulbo dentro de una cuba de temperatura con agitación constante como se muestra en la **Fig. 8**.

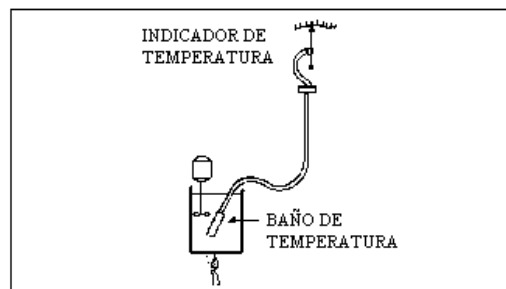


Figura 8: Termómetro de Inmersión

El bulbo toma la transición de la temperatura ambiente a la temperatura de la cuba, la aguja del termómetro puede variar como se ilustra en la **Fig. 8**. La curva mostrada es exponencial y gradualmente se aproxima a la temperatura de la cuba. La curva que se indica en la **Fig. 9** es llamada curva de respuesta y nos da un entendimiento de la dinámica de este dispositivo de medición.

Para hacer un estudio de la dinámica del proceso comenzaremos definiendo un término usado para caracterizar el comportamiento dinámico de una curva de respuesta como la que se indica en la **Fig. 9**. Este término es la **constante de tiempo** del bulbo y básicamente este es el tiempo necesario para que la curva alcance el 63.2 % de su valor final. En la curva de la **Fig. 9**. La constante de tiempo para el bulbo es aproximadamente 5 segundos.

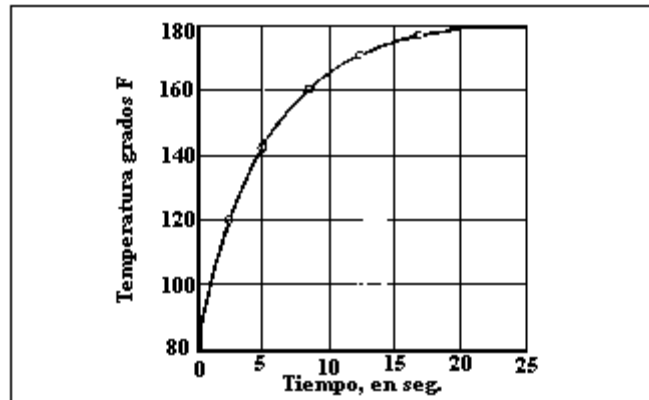


Figura 9: Constante de Tiempo del Bulbo

La señal de la **Fig. 9**. Es una señal típica de transmisión por ejemplo puede existir algún retraso de tiempo introducido por el sensor. Es deseable que este retraso sea mínimo. Sensores rápidos hace posible que el controlador funcione de una forma oportuna, sensores con grandes constantes de tiempo son lentos y degradan toda la operación del lazo de control. Las características dinámicas de los sensores deben ser consideradas en su selección e instalación.

2.7.3 Selección de los sensores

Muchas interrogantes deben ser consideradas antes de que un dispositivo de medición de la variable controlada pueda ser seleccionado para un lazo en particular. No existen reglas difíciles ni rápidas para tomar decisiones sobre la selección de los sensores, pero existen un número de factores que deben ser considerados:

- ¿Cuál es el rango normal sobre el que la variable controlada puede variar?
- Qué exactitud, precisión y sensibilidad. ¿Son necesarias?
- Qué dinámica del sensor se necesita y está disponible.
- Qué grado de confiabilidad se requiere.
- ¿Cuál es el costo de instalación y operación?

Existen problemas especiales de instalación por ejemplo fluidos corrosivos, mezclas explosivas, tamaño y condiciones forzadas, transmisión remota etc.

2.7.4 Sistemas de transmisión

Cuando el sensor mide la variable controlada, el valor de la medición debe ser transmitido de alguna forma al controlador; esto podría ser en longitudes de algunos pies o cientos de pies. De igual manera es necesario llevar la información desde el controlador al elemento final de control que normalmente es una válvula de control.

Por muchos años, la mayoría de sistemas de transmisión de procesos usaron las tuberías neumáticas para transmitir la información como una señal de presión de aire. En la actualidad pocos sistemas de transmisión neumática están siendo instalados, pero existen varios de ellos instalados en las plantas industriales.

Este tipo de sistemas introducen un retraso de tiempo en todos los procesos dinámicos de un lazo de control, e influyen en el funcionamiento de este, por lo que se presentan algunas desventajas muy serias, estas son razones suficientes para dedicarle especial atención al mejoramiento de estos sistemas.

El medio más común de transmisión es el cable de cobre, ya sea en la forma de cable trenzado o de cable coaxial. Los cables trenzados han sido usados ampliamente por años y es el sistema de transmisión más utilizado. Tecnologías inalámbricas pueden ser usadas especialmente en instalaciones móviles o temporales. Cables de fibra óptica también pueden ser usados pero resultan muy caros y se tiene la dificultad para realizar múltiples empalmes.

TABLA N° V. SEÑALES TÍPICAS DE TRANSMISIÓN Y SUS RANGOS

Tipo	Medio	Valores
Binaria (on-off)	Electricidad:	
	Corriente alterna	0 a 120 voltios
	Corriente continua	0 a 24, 48 o 125 voltios
	Neumática	0 a 25, 35, 100 Psig
	Hidráulica	0 a 3000 Psig.
Analógica (Modulación)	Electricidad:	
	Corriente continua	-10 a +10 voltios, 1 a 5 voltios, 4 a 20 mA, o 10 a 50 mA.
	Neumática	3 a 15 Psig, 6 a 30 Psig.
	Hidráulica	0 a 3000 Psig.

Varios sistemas de transmisión están disponibles para utilizarse, pero los más usados son los sistemas de transmisión (con excepción de los buses digitales) que son de 3 a 15 psi en los sistemas analógicos neumáticos y 4 a 20 mA en corriente continua en los sistemas eléctricos.

2.7.4.1 Transmisión neumática

La transmisión neumática puede ser usada para distancias sobre algunos cientos de pies. En los sistemas con transmisión, la variable controlada es medida y convertida en una presión de aire que es transmitida, esta presión de aire es enviada a través de un solo tubo hacia un receptor donde esta es transducida a una posición o fuerza para la operación con el controlador. Un sistema típico de transmisión neumática es mostrado en la **Fig. 10**.

La variable controlada es sensada y convertida en presión de aire; la presión medida es frecuentemente usada como una señal piloto para un amplificador. Este es normalmente empleado en los sistemas de transmisión neumática para incrementar la capacidad de aire del transmisor.

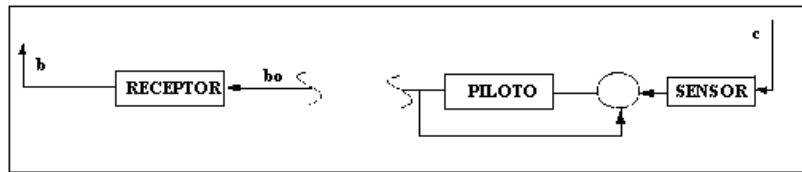


Figura 10: Sistema de Transmisión Neumática

El tubo de conexión lleva la presión transmitida hacia el receptor localizado en el controlador. Este tubo es casi siempre de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro y puede ser de cobre, aluminio, acero inoxidable o plástico. El receptor es simplemente un medidor de presión o manómetro, y la presión de aire transmitida es convertida en movimiento de unos fuelles o diafragmas; por ejemplo esta presión es transducida en posición o fuerza, y que es usada por el controlador.

2.7.4.2 Sistemas de transmisión eléctrica.

La señal más común del sistema de transmisión eléctrica es la corriente de 4 a 20mA. Un par de cables trenzados de cobre es usado para formar un lazo de corriente continua. La corriente tiene preferencia sobre el voltaje porque esta es más inmune al ruido y requiere solamente dos cables.

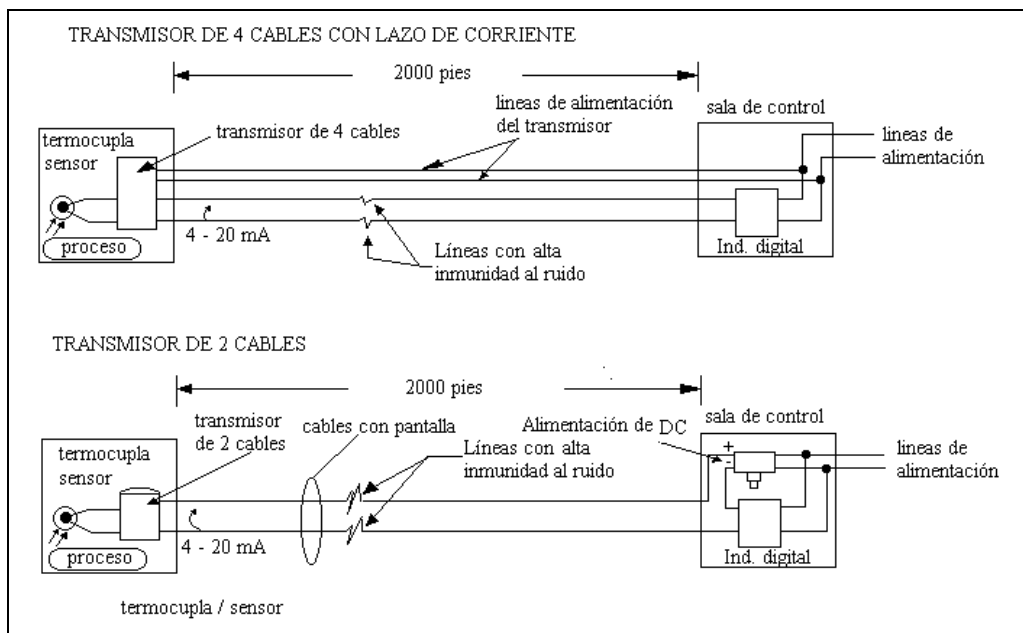


Figura 11: Operaciones de 2 y 4 Cables

Existe un par de cables individuales para cada señal, y para los lazos de control de una planta industrial se crea la necesidad de cientos de pares de cables. Estos cables son muy caros para instalarlos, y el costo de la instalación muchas veces es mayor que el equipo de control de procesos.

Los cables de campo deben también estar provistos de aislamiento galvánico desde el equipo de procesos para prevenir fallas a tierra de los lazos. Es también frecuente instalar en lugares peligrosos que requieren equipos a prueba de explosión o seguridad intrínseca media.

Es posible considerar el uso de la señal de los sensores directamente como por ejemplo una señal de mV una termocupla, problemas de ruido, señal pobre y crean la necesidad del uso de equipo para acondicionar la señal en la forma de un transmisor para asistir a la transmisión.

Existen dos tipos de sistemas de transmisión, el sistema de dos cables y el de cuatro cables. En el sistema de dos cables, la corriente que alimenta al transmisor acondicionador también lleva la señal. El sistema de cuatro cables tiene dos cables separados para la alimentación y otros dos para la señal. Los dos sistemas se indica en la **Fig. 11**.

2.7.4.3 Multiplexado

Cuando se tienen muchas señales que son acondicionadas de la misma manera y necesitan ser transmitidas al mismo lugar, como por ejemplo una sala de control. Existe la necesidad de un sistema que permita que varias señales puedan ser compartidas en el tiempo del sistema de transmisión. Esto puede ser realizado por selección de una señal u otra. Esto es llamado multiplexado de tiempo compartido, y la selección es llamada scanning (búsqueda). Esto es ilustrado en la **Fig. 12**. La rata de scanning puede estar entre 15 o más puntos por segundo. Cuando un solo par de cables es usado para llevar numerosas señales en la misma forma, este es llamado vía de datos alta. El multiplexado nos lleva hacia el concepto de bus digital de campo.

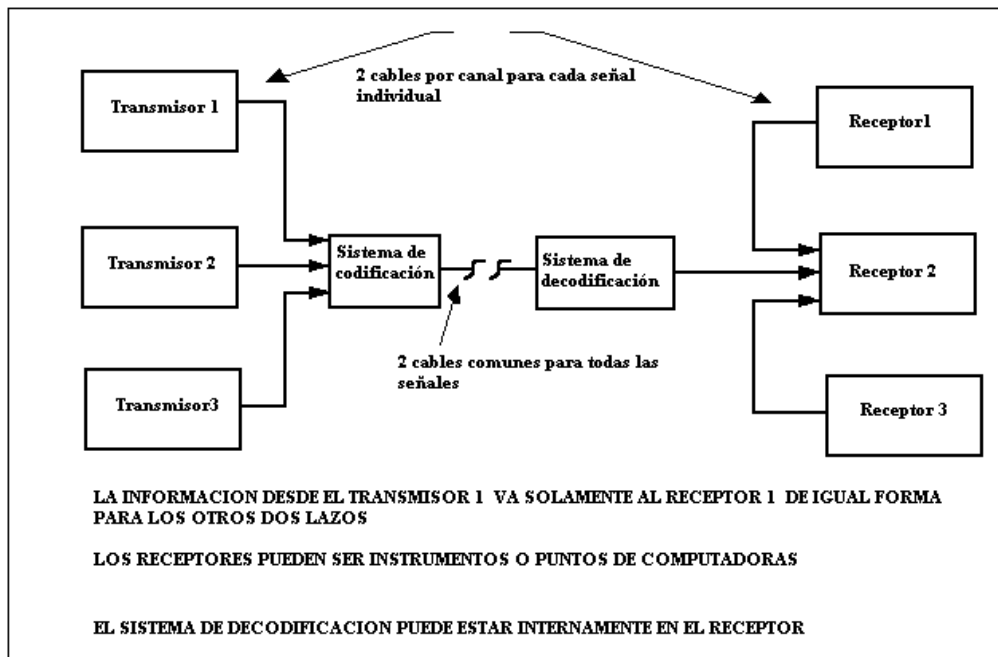


Figura 12: Multiplexado

2.7.4.4 Bus digital de campo

Debido al alto costo de los cables de campo, el incremento de la carga de los sistemas de transmisión, y la necesidad de transmitir directamente señales digitales, existe una clara necesidad de un standard bus digital de campo. Algunas marcas de buses de campo se encuentran hoy en el mercado.

La característica de la bus digital de campo, hace que esta sea muy segura, ya que está basada en los sistemas redundantes. Esta puede ser muy rápida, con respuestas de tiempo de microsegundos a milisegundos. Esta podría ser capaz de alimentar a los dispositivos de campo sobre largas distancias. Existen proyectos para estandarizar la señal entre los diferentes fabricantes de bus digital de campo.

2.7.4.5 Sensores inteligentes

Los sensores inteligentes son aquellos dispositivos que tienen microprocesadores en su operación interna y el equipo es controlado por estos microprocesadores. La señal de salida del mecanismo de medición es llevada dentro del transmisor y convertida inmediatamente en señal digital, todas las señales son condicionadas y

procesadas en forma digital. Altos valores de ganancia, exactitud y linealidad se consiguen con estos tipos de sensores. La salida del transmisor puede ser convertida del formato digital en una señal analógica de 4 a 20 mA.

A más de los beneficios citados, los sensores inteligentes pueden ser por sí solo programados por el computador que controla el lazo en el que el sensor está siendo usado. Las opciones para mejorar los sistemas de control son extensas con el uso de estos dispositivos y están comenzando a ser explotadas totalmente por los vendedores de hardware.

2.8 Sensores de Temperatura

2.8.1 La termocupla

Para aplicaciones simples, los termoelementos pueden hacerse usando cables compensados y algún tipo de aislante adecuado para cada caso. La unión de medición se forma en un extremo soldando los dos alambres conductores fundiéndolos entre sí bajo una atmósfera inerte de argón. La condición esencial es establecer una conexión eléctrica adecuada entre los conductores **Fig. 13.**



Figura 13: Condiciones Entre Conductores

Los rangos, tipo y estilos de las termocuplas son muy grandes y completos con lo que es posible conseguir una disposición adecuada para las aplicaciones necesarias en la industria y el campo científico.

Frecuentemente, el termoelemento suele ir introducido en una carcasa cerrada en su extremo (termopozo) que se fabrica de alguna aleación metálica resistente a la corrosión o al calor y, en otros casos, se utiliza un material refractario **Fig. 14.**



Figura 14: Carcasa Cerrada de un Extremo.

Una forma alternativa de construcción es utilizar un termoelemento con aislamiento mineral, en este caso, los cables conductores están envueltos en un polvo mineral inerte y no conductor fuertemente compactado. Todo este conjunto va rodeado de una camisa metálica (de acero inoxidable o aleaciones de níquel) que forman una unidad hermética.

Este tipo de ensamblaje se puede obtener en diámetros externos desde 0.25mm hasta 19mm inclusive longitudes de unos pocos milímetros hasta cientos de metros.

Existen siete tipos de termocuplas que tienen designaciones con letras elaboradas por el Instrument Society of America (ISA). National Bureau of Standardg (NBS), por su parte, ha preparado tablas de correlación de temperatura f.e.m (fuerza electromotriz) para estas termocuplas, las que han sido publicadas por el American National Standards Institute (ANSI) y el American Society for Testing and Materials (ASTM).

Estas siete termocuplas, se enumeran en la TABLA N° VI. Los alcances de temperatura indicados son aquellos cuyos valores de fuerza electromotriz se encuentran publicados.

TABLA N° VI. COMPOSICIÓN, RANGO DE TEMPERATURAS, DIÁMETROS DE ALAMBRE APROPIADO Y FUERZAS ELÉCTROMOTRICES (FEM) CORRESPONDIENTES A DISTINTAS TERMOCUPLAS.

Tipo	Denominación	Composición y Símbolos	Rango de temperaturas (en °C)	Diámetro del alambre apropiado	F.e.m en mV
B	Platino-Rodio 30% vs. Platino-Rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ...1.500	0,35 y 0,5 mm	0...10,094
R	Platino-Rodio 13% vs. Platino	PtRh 13% - Pt	0...1.400	0,35 y 0,5 mm	0.16,035
S	Platino-Rodio 10% vs. Platino	PtRh 10% - Pt	0...1300	0,35 y 0,5 mm	0...13,155
J	Hierro vs. Constatán	Fe – CuNi	-200 ... 700 -200 ... 600	3 - 1mm	-7.89 ... 39,130 -7.89 ... 33,096
K	Níquel-Cromo vs. Níquel	NiCr – Ni	0...1000 0 ... 900	3 ó 2 mm 1,38 mm	0...41,269 0...37,325
T	Cobre vs. Constatán	Cu – CuNi	-200 ... 700	0,5 mm	-5,60 ... 14,86
E	Níquel-Cromo vs. Constatán	NiCr - CuNi	-200 ... 600	3 mm	-9,83 ... 53,11 -8,83 ... 45,08

**TABLA N° VII. TOLERANCIAS DE CALIBRACIÓN PARA TERMOCUPLAS ESTÁNDAR
(REFERENCIA JUNTA FRÍA 0° C) SEGÚN IEC 584.**

TERMOCUPLA	RANGO	CLASE 1 . DESVIACIÓN MÁXIMA (±) (1)
Cobre vs. Cobre-Níquel, Tipo T	-40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t)
Hierro vs. Cobre- Níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Níquel-Cromo vs. Níquel, Tipo K	- 40 a 1.000 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Platino-Rodio 13% vs. Platino, Tipo R	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1. 100)°C
Platino-Rodio 10% vs. Platino, Tipo S	0 a + 1. 600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1.100)°C
Platino-Rodio 30% vs. Platino- Rodio 6%, Tipo B	--	
Cobre vs. Cobre-Níquel, Tipo T	-40a+ 350°C	1°C ó 0,0075(t)
Hierro vs. Cobre-Níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Níquel-Cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a + 1.200°C	2. 5 °C ó 0.0075 (t)
Platino-Rodio 13% vs. Platino, Tipo R	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- Rodio 10% vs. Platino, Tipo S	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- Rodio 30% vs. Platino- Rodio 6%, Tipo B	+ 600 a + 1700 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Cobre vs. Cobre-Níquel, Tipo T	-200 a + 40 °C	1 °C ó 0,015 (t)
Hierro vs. Cobre- Níquel, Tipo J	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Níquel-Cromo vs. Níquel, Tipo K	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Platino-Rodio 13% vs. Platino, Tipo R	--	--
Platino-Rodio 10% vs. Platino, Tipo S	--	--
Platino-Rodio 30% vs. Platino- rodio 6%, Tipo B	+600 a + 1.700 °C	4 °C ó 0,005 (t)

2.9 Sensores de Presión

2.9.1 Sensores de presión resistivos

Una presión sobre una membrana hace variar el valor de las resistencias montadas en puente de Wheatstone apareadas. Las células de carga y las galgas extensiométricas que son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación del material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna **Fig. 15**.

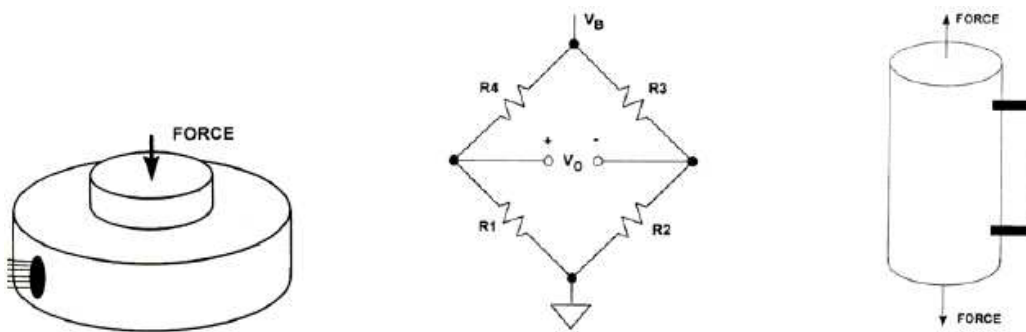


Figura 15: Sensores de Presión Resistivos.

2.9.2 Sensores de presión pieza-cerámicos

La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor de la **Fig. 16**.

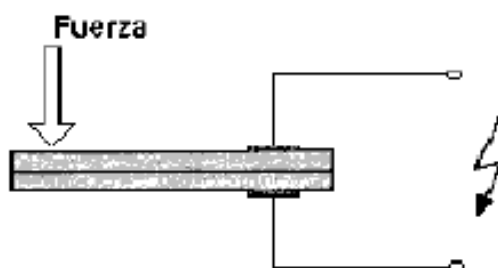


Figura 16: Sensores de Presión Piezo-Cerámicos

2.9.3 Sensores de presión con semiconductores

Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor como se muestra en la **Fig. 17**.



Figura 17: Sensores de Presión con Semiconductores

2.10 Sensores de Velocidad

El sensor de velocidad fue uno de los primeros transductores de vibración, que fueron construidos. Consiste de una bobina de alambre y de un imán colocado de tal manera que si se mueve el Carter, el imán tiende a permanecer inmóvil debido a su inercia. El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento.

De esta manera, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración. Es auto generador y no necesita de aditamentos electrónicos acondicionadores para funcionar. Tiene una impedancia de salida eléctrica relativamente baja que lo hace muy insensible a la inducción del ruido.

Aún tomando en cuenta estas ventajas, el transductor de velocidad tiene muchas desventajas, que lo vuelven casi obsoleto para instalaciones nuevas, aunque hoy en día todavía se usan varios miles. Es relativamente pesado y complejo y por eso es caro, y su respuesta de frecuencia que va de 10 Hz a 1000 Hz es baja.

El resorte y el imán forman un sistema resonante de baja frecuencia, con una frecuencia natural de 10 Hz. La resonancia tiene que ser altamente amortiguada, para evitar un pico importante en la respuesta a esta frecuencia. El problema es que la amortiguación en cualquier diseño práctico es sensible a la temperatura, y eso provoca que la respuesta de frecuencia y la respuesta de fase dependan de la temperatura.

2.11 Controladores Lógicos Programables

2.11.1 Definición

El PLC es un aparato electrónico de operación digital que usa una memoria para almacenamiento interno (hardware) de instrucciones que realizan funciones específicas (Software) tales como: Secuencias lógicas, temporización, conteo, operaciones aritméticas; y ejecuta el proceso de control de varios tipos de máquinas o procesos, mediante módulos de entrada / salida analógicos o digitales.¹

2.11.2 Alternativas tecnológicas de automatización

Se consideran cuatro alternativas básicas en un proyecto de automatización:

- Automatización convencional con relés electromecánicos.
- Automatización con sistemas de adquisición de datos para PC.
- Automatización con sistemas propios basados en microprocesador.
- Automatización con PLCs.

2.11.2.1 Automatización convencional con relés

En los sistemas automatizados en base a relés, las funciones del sistema de control están determinadas por la interconexión entre los elementos físicos a través de los diagramas circuitales. Si la lógica de control cambiase las conexiones físicas tendrán que ser modificadas.

En este caso la lógica de control es función de la interconexión de los elementos del circuito. La modificación de funciones podría necesitar la instalación de nuevos elementos así como el cambio de cableado, trabajo de montaje, lo cual puede resultar costoso y demorado, todo esto implica en una demora en el arranque.

[¹] ORTÍZ, Hugo, Ing., Controladores Lógicos Programables-PLC's. Curso de Petróleos, ESPE - Petroecuador, 2001.Pg 2.

2.11.2.2 Automatización con sistemas de adquisición de datos para PC

Esta alternativa de automatización cobra importancia en los últimos años, por cuanto los fabricantes de tarjetas electrónicas para adquisición de datos (tarjetas I/O) han proveído al mercado de múltiples tarjetas en un amplio rango de capacidades. Este sistema de automatización tiene ciertas limitaciones debido principalmente a problemas de versatilidad tanto en hardware como en software.

Uno de los inconvenientes es que no dan facilidades para las conexiones externas, pues estas son alojadas dentro del computador. Al ser el computador el equipo adicional para el control y este dependiente de un sistema operativo que hasta la actualidad no hay sistema operativo confiable, este método de automatización industrialmente no es recomendado.

2.11.2.3 Automatización con microprocesadores

Esta alternativa de automatización puede dar buenos resultados cuando la aplicación no es muy compleja pues de lo contrario la aplicación puede volverse extremadamente difícil, tanto en el hardware del controlador como en el software.

2.11.2.4 Automatización con PLC

El empleo de PLC para las tareas de automatización se ha generalizado a nivel industrial, principalmente por su gran versatilidad y sencillez en cuanto a conexiones.

Los PLC's se utilizan a nivel mundial en casi todos los sectores industriales, por ejemplo en la Industria Petrolera, Alimenticia, Automotriz, Petroquímica, Farmacéutica, etc. No importa que las tareas de automatización sean diferentes pues los PLC's se adaptan óptimamente a la necesidad para lo que se requiera. La clave de esta versatilidad está en la estructura modular del dispositivo con las diversas funciones de automatización repartidas en las diferentes tarjetas (módulos), con lo que se emplean solamente los módulos que se necesitan para el caso particular.

2.11.3 Funcionamiento

El procesador funciona de manera secuencial y cíclica. Cada ciclo se denomina “barrido” o “scan” y el tiempo que demanda al PLC completar un scan se denomina “scan time” o “tiempo de barrido”. Una típica secuencia de barrido comprende:

- **Auto diagnóstico.-** El procesador verifica que hay errores de configuración o de funcionamiento.
- **Lectura de entradas.-** El procesador lee la información presente en los bornes de entrada del PLC a través de la interface de entradas y la almacena en la memoria.
- **Ejecución del programa.-** De acuerdo con las instrucciones del programa, el procesador puede leer datos contenidos en los distintos espacios de la memoria, almacenar datos y/o modificar el contenido de los espacios de la memoria. Así por ejemplo, ante una cierta condición de las entradas se modificará el espacio de memoria correspondiente a una cierta salida.
- **Atiende comunicaciones.-** El procesador almacena en la memoria datos provenientes de otros equipos o de una red y envía datos contenidos en la memoria a otros equipos o a la red.
- **Actualización de salidas.-** El procesador lee en la memoria el estado que deben adquirir las salidas, y a través de la interface de salidas, transmite la información a los bornes de salida del PLC.
- **Reinicio del ciclo.-** El procesador vuelve a comenzar un nuevo ciclo secuencial.

2.11.4 Características

Entradas – salidas (E/S)

La cantidad de E/S es la suma de entradas y salidas que tiene el PLC e indica cuántos sensores y actuadores pueden conectarse al mismo, sean de tipo analógico o digital.

Físicas

- Los PLC's Compactos: Incluyen la CPU, la fuente de alimentación y las interfaces de entrada y salida en un mismo gabinete.
- Los PLC's Modulares: CPU, fuente de alimentación, interface de entradas e interface de salidas constituyendo cada una un módulo independiente que se montan en un rack (o en un riel DIN) para conformar el PLC.

2.11.5 Set de instrucciones

Es el conjunto de instrucciones de programación y podría clasificarse en:

Simple

Limitado hasta aprox. 30 instrucciones, generalmente en controladores para pequeñas aplicaciones **Fig.18**.

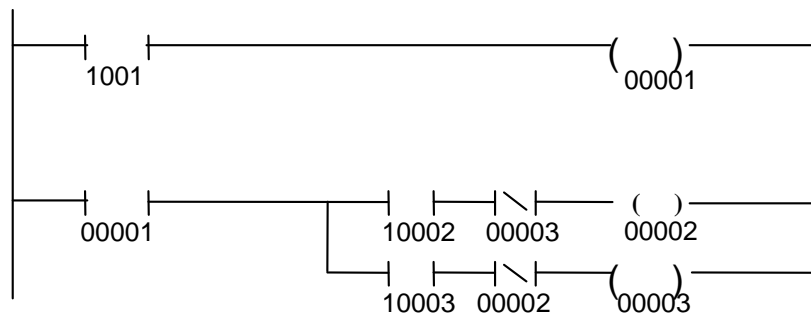


Figura 18: Diagrama de Escalera

Complejo

En controladores para aplicaciones más complejas. De hasta 150 instrucciones que incluyen operaciones matemáticas tales como raíz cuadrada y operaciones complejas de manejo de datos.

2.11.6 Lenguajes en PLC's

Un PLC debe ser capaz de arrancar su programa siempre que no exista una falla de energía, por lo que todas las eventualidades deben ser programadas en él. En el programa se designan mediante direcciones los registros, los contadores, los temporizadores y las entradas y salidas. En los PLC's pequeños estas direcciones están asignadas por el fabricante, pero en los mayores, pueden ser definidas por el usuario, con mayor aprovechamiento de la memoria.

Los PLC's trabajan como todos los circuitos electrónicos únicamente con dos estados lógicos, ALTO y BAJO, ON y OFF, 1 y 0, etc., lo cual no es práctico desde el punto de vista de enlace hombre-máquina, por lo que se requiere de lenguajes de programación que traduzcan las ideas humanas a estados lógicos. Mientras tanto los lenguajes de programación en PLC's pequeños son normalmente LADDER Y LISTA DE INSTRUCCIONES, pero los PLC's medianos y grandes están normalizados en su parte básica por la norma IEC-1131.

2.11.7 La norma IEC 1131-3

Es el primer esfuerzo real para normalizar los lenguajes de programación usados en automatización industrial. El IEC (International Electrotechnical Commission) 1131-3 es la tercera parte de la familia de normas IEC 1131, la cual consiste de:

- Parte 1: Vista general
- Parte 2: Hardware
- Parte 3: Lenguajes de programación
- Parte 4 Directrices al usuario
- Parte 5 Comunicación

La parte 3 de la norma IEC 1131 es el resultado de la fuerza del **IEC TC65 SC65B**, la cual está encargada de **LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**, donde han participado 7 empresas internacionales añadiendo 10 años de experiencia en el

área de automatización industrial. El resultado ha sido 200 páginas de texto, con 60 tablas incluyendo tablas de características, con la especificación de la sintaxis y semántica de una suite unificado de lenguajes de programación, incluyendo el modelo de software global y sus lenguajes estructurales.²

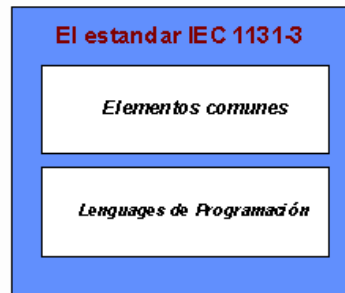


Figura 19: Norma IEC 1131 – 3

Una visión elegante de ver la norma es dividiéndolo en dos partes, así se puede ver en la **fig19**.

- Elementos comunes
- Lenguajes de programación

2.11.7.1 Tipos de datos

Dentro de los elementos comunes, se definen los tipos de datos. Los tipos de datos previenen de errores en una fase inicial, como por ejemplo la división de un dato tipo fecha por un número entero.

Los tipos comunes de datos son: variables booleanas, número entero, número real, byte y palabra, pero también fechas, horas del día y cadenas (strings). Basado en estos tipos de datos, el usuario puede definir sus propios tipos de datos, conocidos como tipos de datos derivados. De este modo, se puede definir por ejemplo un canal de entrada analógica como un tipo de dato.³

[²]QUANTUM, IEC. Automation Training . Schneider Electric. Lesson 05, pp 11

[³] ALBERT, CL, Fundamentals of Industrial Control, Editors Instrument Society off America,1992, pp 85.

2.11.7.2 Variables

Las variables permiten identificar los objetos de datos cuyos contenidos pueden cambiar, por ejemplo, los datos asociados a entradas, salidas o a la memoria del autómatas programable. Una variable se puede declarar como uno de los tipos de datos elementales definidos o como uno de los tipos de datos derivados. De este modo se crea un alto nivel de independencia con el hardware, favoreciendo la reusabilidad del software.

La extensión de las variables está normalmente limitada a la unidad de organización en la cual han sido declaradas como locales. Esto significa que sus nombres pueden ser reutilizados en otras partes sin conflictos, eliminando una frecuente fuente de errores. Si las variables deben tener una extensión global, han de ser declaradas como globales utilizando la palabra reservada VAR_GLOBAL.

Pueden ser asignados parámetros y valores iniciales que se restablecen al inicio, para obtener la configuración inicial correcta.

2.7.11.3 Configuraciones, recursos y tareas

Para entender mejor esto, observemos el modelo de software, como lo define la norma según la **Fig. 20**.

En el nivel más alto, el software total requerido para solucionar un problema particular de control puede ser definido como una Configuración, específicamente es un tipo particular de sistema de control, incluyendo el arreglo de hardware, recursos de procesamiento, direcciones de memoria para los canales de I/O y demás capacidades del sistema. Dentro de la configuración se pueden definir uno o más recursos, se puede ver éste como una facilidad de ejecutar programas IEC.

Así mismo dentro de los recursos se pueden definir una o más tareas, las que controlan la ejecución de un conjunto de programas y/o bloques funcionales, los

cuales pueden ser ejecutados periódicamente o en la ocurrencia de un evento disparador específico, tal como un cambio en una variable.⁴

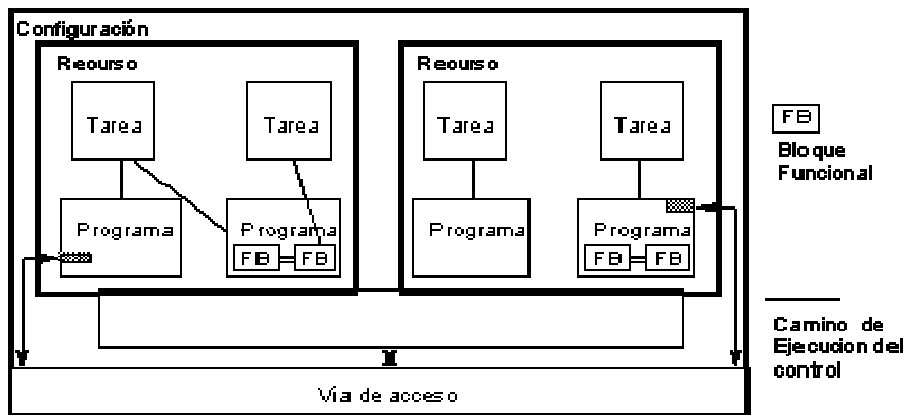


Figura 20: Configuraciones, Recursos y Tareas del Programa

Los programas son construidos mediante el uso de un número de diferentes elementos de software escrito en cualquiera de los lenguajes definidos por IEC. Un programa consiste típicamente, de una red de funciones y bloques funcionales, los cuales son capaces de intercambiar datos. Las funciones y bloques funcionales son los bloques básicos de construcción, conteniendo estructura de datos y un algoritmo.

2.11.7.4 Unidades para la organización del programa (POU)

Dentro de IEC 1131-3, los Programas, Bloques Funcionales y funciones son llamados Unidades Organizativas del Programa, o POU's.

Funciones

La IEC ha definido funciones normalizadas y funciones definidas por el usuario. Las funciones normalizada son tales como ADD o suma, ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), SIN (seno) y COS (coseno). Funciones definidas por el usuario, una vez definidas, pueden ser usadas repetidamente.

[⁴] ALBERT, CL. Fundamentals of Industrial Control. instrument society of america, 1992 pp 86.

Bloques funcionales (FB's)

Estos son el equivalente a los Circuitos Integrados (IC) o a los módulos de control discreto analógicos, representando funciones de control especializado. Ellos contienen tanto datos como algoritmos. Estos FB's tienen un interfaz bien definido e internos escondidos, así como un circuito integrado o un módulo de control discreto tipo caja negra. De esta forma ellos dan una clara separación entre diferentes niveles de programadores o personal de mantenimiento.

Un lazo de control de temperatura o un PID, es un ejemplo excelente de un Bloque Funcional. Una vez definido puede ser usado una y otra vez en el mismo programa, diferentes programas, o más aún en diferentes proyectos. Esto lo hace altamente reutilizable.

Los bloques funcionales pueden ser escritos en cualquiera de los lenguajes IEC, y la mayoría de los casos hasta en lenguajes de alto nivel como el "C". De esta manera pueden ser definidos por el usuario.

Programas

Con los bloques constructivos anteriormente mencionados, se puede decir que un programa es una red de Funciones y Bloques Funcionales. Un programa puede ser escrito en cualquiera de los lenguajes de programación definidos.

2.11.7.5 Gráficos funcionales secuenciales (SFC)

El SFC describe gráficamente el comportamiento secuencial de un programa de control. Es derivado de las Redes de Petri y la norma Grafcet IEC 848. Esta estructura permite la organización interna de un programa, y ayuda a descomponer un problema de control en partes más manejables, manteniendo una visión del todo. Además el SFC consiste de pasos, enlazados con bloques de acción y transiciones.

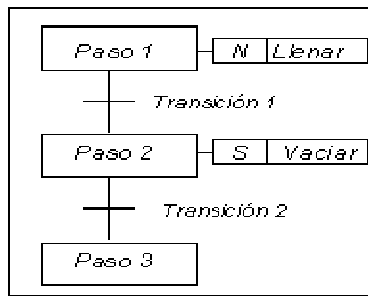


Figura 21: Gráficos Funcionales Secuenciales (SFC)

Cada paso representa un estado particular del sistema bajo control. Una transición es asociada a una condición, la cual, cuando es cierta, causa que el paso anterior a la transición sea desactivada, y el siguiente paso sea activado. Los pasos son interconectados a bloques de acción realizando estos ciertas acciones de control. Debido a su estructura muy general el SFC provee también una herramienta comunicativa, combinando gente de diferentes disciplinas.

2.11.7.6 Lenguajes de programación

Dentro de la norma son definidos cuatro lenguajes de programación. Esto significa que su sintaxis y semántica ha sido también definida, no dejando ningún espacio para los dialectos. Una vez que han sido aprendidos, se pueden usar en una gran variedad de sistemas basados en esta norma. Dentro del asunto práctico, es bastante recomendable hacer uso de estos lenguajes ya que existe una secuencia lógica establecida. Los lenguajes vienen en dos versiones:

Versiones textuales:

- Lista de Instrucciones, IL
- Texto Estructurado, ST

Versiones gráficas:

- Diagrama Escalera, LD
- Diagrama de Bloques Funcionales, FBD

La selección del lenguaje a ser usado depende de:

- La preparación del Programador
- El problema a resolver
- El nivel de descripción del problema
- La estructura del sistema de control
- La interfaz con otro personal o departamentos

Todos los cuatro lenguajes están interconectados, ellos proveen una suite de programación común, manteniendo una conexión a la experiencia existente, combinando gente con diferentes conocimientos y experiencias.

- **Los Diagramas de escalera:** Tiene sus raíces en USA. Están basados en una representación gráfica de lógicas de escalera de relés.
- **Lista de instrucciones:** En su contraparte Europea. Como un lenguaje textual, que se asemeja al lenguaje ensamblador.
- **Diagrama de bloques funcionales:** Es muy común a la industria de procesos. Esta expresa el comportamiento de funciones, bloques funcionales y programas como un conjunto de bloques gráficos interconectados, parecido a diagramas de circuitos electrónicos. Se mira al sistema en términos de flujo de señales entre elementos de procesamiento.
- **Texto Estructurado:** Es un lenguaje muy poderoso con sus raíces en Pascal y lenguaje "C". Puede ser usado excelentemente para la definición de bloques funcionales muy complejos, el cual puede ser usado luego dentro de cualquiera de los otros lenguajes. En este tipo de lenguaje se visualiza de mejor manera un flujo de secuencia.

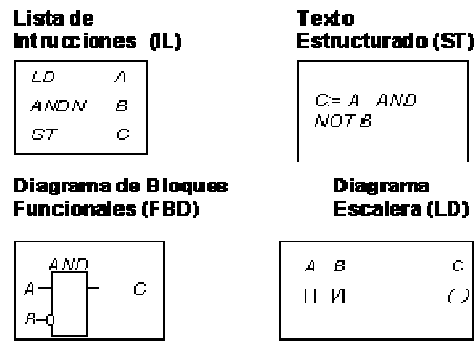


Figura 22: Tipos de Diagramas de Programación.

2.11.7.7 Descendente Vs. Ascendente.

La norma también permite dos vías de desarrollo de los programas de forma descendente y ascendente o de abajo hacia arriba. Tanto como que se declare la aplicación como un todo y se divida en sus partes, declare las variables, y así sucesivamente. También se inicia por programar su aplicación en las partes a niveles más bajos, mediante el uso por ejemplo de funciones derivadas y bloques funcionales como se muestra en la **Fig. 23**.

Cualquiera que se escoja, el ambiente de desarrollo ayudará al usuario a través de todo el proceso.

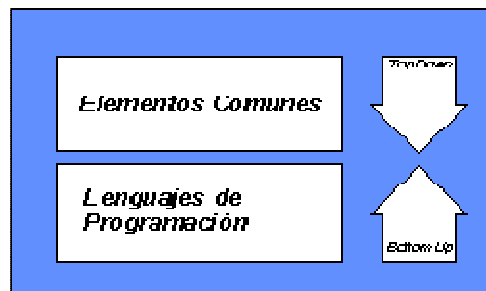


Figura 23: Programación Descendente y Ascendente

2.11.7.8 Implementaciones.

Los requerimientos globales de la norma IEC 1131-3 no son fáciles de satisfacer. Por esta razón, la norma permite implementaciones parciales de varios aspectos. Esto aplica para el número de lenguajes, funciones y bloques funcionales soportados. Esto

da cierta libertad del lado del fabricante, pero el usuario debería estar bien advertido de esto durante el proceso de selección. También con nuevas versiones se puede subir dramáticamente el nivel de implementación.

Muchos de los ambientes de programación ofrecen todo lo que se espera hoy en día de ambientes modernos: operación mediante ratón, menús descendientes, pantallas de programación gráfica, soporte para multi-ventanas, funciones de hipertexto, verificación durante la fase de diseño, etc. Pero se advierte que esta funcionalidad no está especificada dentro de la norma por sí mismo, siendo uno de los aspectos donde los fabricantes pueden diferenciarse.

2.11.8 Estructura o arquitectura externa

El término estructura externa o configuración externa de un PLC se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido, etc. Básicamente existen dos estructuras más significativas en el mercado:

- Estructura compacta
- Estructura modular

Estructura compacta

Este tipo de PLC se distingue por presentar en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas / salidas, etc. Su unidad de programación puede ser de tres formas, unidad fija y conectable directamente al PLC, conectable mediante cable y conector; y si la programación es sustituida por un PC nos encontramos que la posibilidad de conexión es la misma (cable, conector).

Estructura modular

La estructura de este tipo de PLC se divide en módulos o partes del mismo que realizan funciones específicas, dentro de la estructura modular se pueden distinguir dos tipos: la americana y la europea.

2.11.9 Estructura o arquitectura interna

Los PLC's se componen de tres bloques como se muestra en la **Fig. 24**

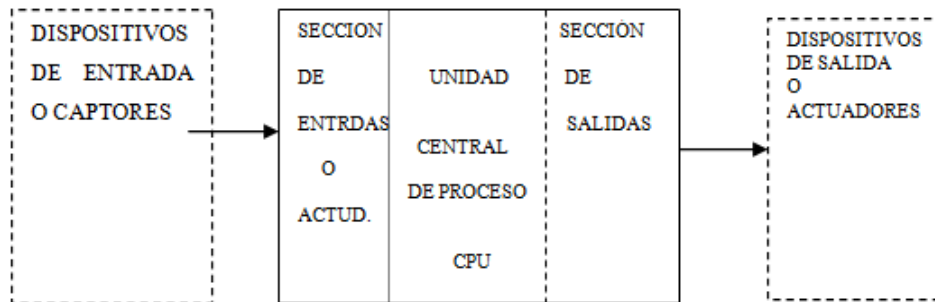


Figura 24: Arquitectura Interna del PLC

- Sección de entradas
- Unidad central de procesamiento (CPU)
- Sección de salida

2.11.9.1 Sección de entradas

Mediante un interfaz, adapta y codifica a una forma comprensible para el CPU (Unidad Central de Procesamiento) las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captosres, como son: pulsadores, sensores, finales de carrera, etc. También tienen una misión de protección de los circuitos electrónicos internos del PLC, realizando una separación eléctrica entre estos y los captosres.

2.11.9.2 Unidad central de procesamiento (CPU)

Es donde se interpreta la instrucción del programa de usuario y en función de los estados y valores de las entradas, activa las salidas deseadas; en esencia es el cerebro del sistema.

2.11.9.3 Sección de salidas

Mediante el interfaz, trabaja en forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes del CPU, las amplifica, y manda a los dispositivos de salida o actuadores como: lámparas, relés, contactores, etc.

También poseen unas interfaces de adaptación a las salidas y protección de circuitos internos. Con estas partes descritas podemos decir que tenemos un PLC, pero para que sea operativo son necesarios otros elementos tales como:

- Unidad de alimentación
- Unidad o consola de programación
- Interfaces
- Dispositivos periféricos

2.11.9.4 Unidad de alimentación

Es la encargada de adaptar la tensión de la red 120/220V AC y 60 Hz a la de funcionamiento de los circuitos internos del PLC, así como de los dispositivos de entrada, 24 Voltios dc por ejemplo.

2.11.9.5 Unidad de programación

Es el equipo mediante el cual se accede al interior del CPU para cargar en memoria el programa que el usuario ha realizado de acuerdo al proceso a ser controlado. El periférico que generalmente es un PC se acopla al PLC mediante un cable y un conector.

2.11.10 Memorias

Se denominan memorias a cualquier dispositivo que permita almacenar información en forma de bits es decir 1 y 0. Existen varios tipos de memoria pero en nuestro caso definiremos las memorias más usadas son:

2.11.10.1 Memorias RAM

RAM (Random Access Memory) memoria de acceso aleatorio o memoria de lectura y escritura. Este tipo de memorias pueden realizar los procesos de lectura y escritura por procedimientos eléctricos, pero su información desaparece a la falla de corriente.

2.11.10.2 Memorias ROM

ROM (Read Only Memory) memoria solo de lectura. En esta memoria se puede leer su contenido, pero no se puede escribir en ella, los datos e instrucciones los graba el fabricante y el usuario no puede alterar su contenido. Aquí la información se mantiene ante la falta de corriente.

2.11.11 Utilización de las memorias

Memoria de usuario

El programa de usuario normalmente se graba en memoria RAM, ya que no sólo puede de ser leído por el microprocesador, sino puede ser variada cuando el usuario lo desee, utilizando la unidad de programación.

En algunos PLC's la memoria RAM se auxilia de una memoria sombra de tipo EEPROM. La desconexión de la alimentación o una falla de la misma borrarían esta memoria, ya que al ser RAM es una memoria volátil y necesita estar constantemente alimentada, es por ello que los PLC's llevan incorporada una batería que impide su borrado.

Memoria de cuadro de datos

La memoria de esta área es también de tipo RAM y en ella se encuentran por un lado, la imagen de los estados de la entrada y salidas y por otro los datos numéricos y variables internas como contadores, temporizadores, etc.

Memoria y programa del sistema

Esta memoria que junto con el procesador componen el CPU, se encuentra dividida en dos áreas, la llamada memoria del sistema que utiliza memoria RAM, y la correspondiente al programa del sistema, que lógicamente es un programa fijo grabado por el fabricante y por tanto el tipo de memoria utilizado es ROM.

En la **Fig. 25** quedan representadas todas las memorias presentes en un PLC.

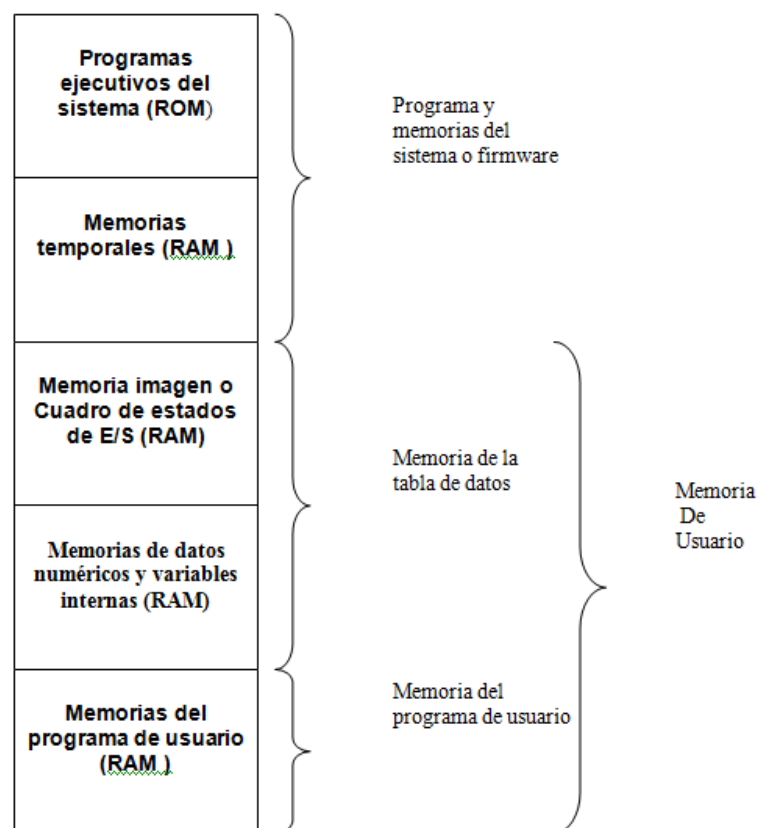


Figura 25: Memorias de un PLC ³

2.11.12 Tamaño de los PLC's

La clasificación de los PLC's en cuanto a su tamaño se realiza básicamente en función del número de sus entradas-salidas; son admitidos los tres grupos siguientes:

³ Curso de Controladores Lógicos Programables (PLC) Ing.Hugo Ortiz T.

- **Gama baja:** Hasta un máximo de 128 entradas-salidas. La memoria de usuario de que disponen suele alcanzar un valor máximo de 2K instrucciones.
- **Gama media:** De 128 a 512 entradas-salidas. La memoria de usuario que disponen suele alcanzar un valor máximo de hasta 16K instrucciones.
- **Gama alta:** Más de 512 entradas-salidas. Su memoria de usuario supera en algunos de ellos los 100K instrucciones.

2.11.13 Ventajas del uso de los PLC's

Los PLC's ofrecen un número considerable de beneficios para su aplicación, dentro de la industria podemos señalar algunas ventajas de los sistemas con controladores lógicos programables, que se deben considerar al seleccionar un equipo como:

- Menor espacio ocupado
- Menor potencia eléctrica requerida
- Son reutilizados
- Reprogramables, cuando se requiere cambios
- Mantenimiento más fácil
- Mayor flexibilidad, gran número de aplicaciones
- Aplicación de proyectos más rápidos

2.11.14 Criterios de selección

Para realizar una aplicación es necesario elegir un PLC entre los numerosos ofrecidos por el mercado. A tal efecto se deben considerar lo siguiente:

- Elementos existentes.
- Características de los PLC disponibles.
- Costo total de instalación y puesta en marcha del sistema.
- Accesorios necesarios para la instalación.
- Ampliación futura.

Dicho de otro modo, una inversión que pareciera cara inicialmente, se verá recuperada con creces al ampliar el sistema en el futuro, si se elige correctamente el PLC y el resto del sistema.

Es importante, no dudar en consultar a varios especialistas para comparar sus opiniones con las que personalmente se han obtenido. En definitiva, analizar en detalle las diferentes posibilidades nos llevará con seguridad a la elección más adecuada.

2.12 Características de la Comunicación

2.12.1 Señales analógicas

La transmisión analógica de información está caracterizada por un continuo cambio de amplitud en la señal.

En los procesos de ingeniería, la señal de 4 a 20 mA es transmitida en forma análoga.

Una corriente proporcional al valor medido por el sensor fluye entre el transmisor y los módulos de entrada o salida (I/O) de un PLC. Si la corriente cambia, este cambio es inmediatamente registrado por todos los dispositivos presentes en el circuito.

El contenido de información es bastante restringido. Solo el tamaño de la corriente y la presencia o no de la señal pueden ser determinadas dando una gran limitación de información.

2.12.2 Medios de transmisión

Según el medio de transmisión que se especifique, dependerá la velocidad, la cantidad y la mayor demanda. Esto es particularmente verdadero para las redes de comunicaciones en las industrias, donde las condiciones pueden estar lejos de las ideales, por ejemplo, la interferencia de una maquinaria eléctrica pesada.

Por esta razón el mejor medio dependerá mucho de su aplicación. Los medios de transmisión utilizados son los siguientes:

- Par trenzado
- Cable coaxial
- Fibra Óptica
- Modem
- Radio enlace
- Microondas
- Satelital

2.12.3 Modo de transmisión

Hay dos maneras básicas:

- **Transmisión Paralela.**-Los datos se transmiten bit por bit, por encima de un mínimo de 8 líneas paralelas. La transmisión paralela es utilizada en la comunicación del PC con las impresoras
- **Transmisión Serie.**-La transmisión de los datos se hace bit por bit. Como es de suponer, esto requiere menos líneas que en la transmisión paralela, pero el tiempo de transmisión se incrementa como una función de la cadena de bits a ser transmitidos. Un ejemplo claro son las interfaces RS 232 y RS 485.

2.12.4 Modo de comunicación

Es la manera de comunicarse entre los dispositivos. Tres modos son posibles:

- **Comunicación Simple.**- La información fluye en una sola dirección.
- **Comunicación Half Duplex.**- La información fluye en ambas direcciones. Primero un dispositivo transmite, luego de que este haya finalizado, el otro puede responder.
- **Comunicación Duplex.**- La información puede ser simultáneamente transmitida y recibida.

2.12.5 Comunicación entre redes.

La forma de identificar al terminal concreto de la red con el que se debe establecer la comunicación en el caso de que las máquinas que se están comunicando directamente sean servidores de una red local. Por ejemplo asignando un número a cada uno de los terminales.

2.12.5.1 Cable bus RS-485

Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión.

El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilidades.

Bus de 2 hilos RS-485

El Bus de 2 hilos RS-485 se compone según la **Fig. 25** del cable propio de Bus con una longitud máxima de 500m. Los participantes se conectan a este cable a través de una línea adaptadora de máximo 5m de largo. La ventaja de la técnica de 2 hilos reside esencialmente en la capacidad multimaster, en donde cualquier participante puede cambiar datos en principio con cualquier otro.

El Bus de 2 hilos es básicamente apto solo a semidúplex. Es decir puesto que solo hay a disposición una vía de transmisión, siempre puede enviar datos un solo participante. Sólo después de finalizar el envío, pueden responder otros participantes. La aplicación más conocida basada en la técnica de 2 hilos es el PROFIBUS.

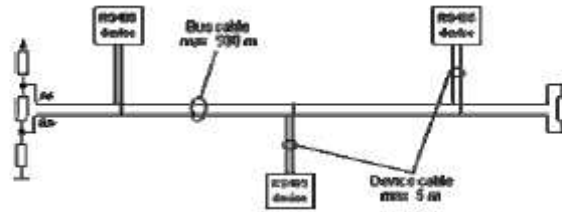


Figura 26: Red RS-485 de 2 hilos.

Bus de 4 hilos RS-485

La técnica de 4 hilos usada por ejemplo: por el bus de medición DIN (DIN 66 348) solo puede ser usada por aplicaciones Master/Slave. Conforme al bosquejo se cablea aquí la salida de datos del maestro a las entradas de datos de todos los Servidores. Las salidas de datos de los servidores están concebidas conjuntamente en la entrada de datos del maestro.

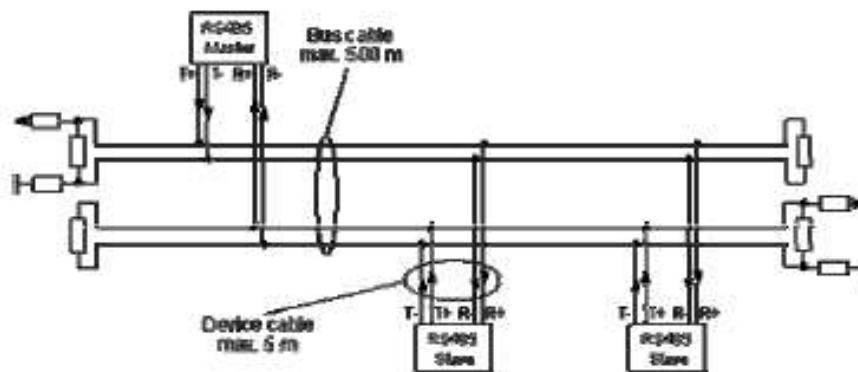


Figura 27: Red RS-485 de 4 hilos.

Método físico de transmisión

Los datos en serie como en interfaces RS-422, se transmiten sin relación de masa como diferencia de tensión entre dos líneas correspondientes. Para cada señal a transmitir existe un par de conductores que se compone de una línea de señales invertida y otra no invertida. La línea invertida se caracteriza por regla general por el índice "A" o "-", mientras que la línea no invertida lleva "B" o "+".

El receptor evalúa solamente la diferencia existente entre ambas líneas de modo que las modalidades comunes de perturbación en la línea de transmisión no falsifican la señal útil. Los transmisores RS-485 ponen a disposición bajo carga un nivel de salida de $\pm 2V$ entre las dos salidas; los módulos de recepción reconocen el nivel de $\pm 200mV$ como señal válida.

Longitud de líneas

Usando un método de transmisión simétrico en combinación con cables de pares de baja capacidad y amortiguación (TP) pueden realizarse conexiones muy eficaces a través de una distancia de hasta 500m con ratios de transmisión al mismo tiempo altas. El uso de un cable TP (Twisted Pair) de alta calidad evita por un lado la diafonía entre las señales transmitidas y por el otro reduce adicionalmente al efecto del apantallamiento, la sensibilidad de la instalación de transmisión contra señales perturbadoras entremezcladas.

En conexiones RS-485 es necesario un final de cable con redes de terminación para obligar al nivel de pausa en el sistema de Bus en los tiempos en los que no esté activo ningún transmisor de datos aunque esté determinado para grandes distancias entre las que por regla general son inevitables desplazamientos de potencial, la norma no prescribe para las interfaces RS-485 ninguna separación galvánica; dado que los módulos receptores reaccionan sensiblemente a un desplazamiento de los potenciales de masa, es recomendable necesariamente una separación galvánica para instalaciones eficaces como se define en la norma ISO 9549 (Organización Internacional de Normalización).

En la instalación tiene que cuidarse de la polaridad correcta de los pares de cables, puesto que una polaridad falsa lleva a una inversión de las señales de datos, especialmente en dificultades en relación con la instalación de nuevos terminales, cada búsqueda de error debería comenzarse con el control de la polaridad del Bus.

Las mediciones de diferencia (medición Bus A contra B), especialmente con un osciloscopio sólo pueden realizarse con un aparato de medición separado

galvánicamente del potencial de masa. Muchos fabricantes ponen el punto de referencia de la entrada de medición en masa, lo que lleva a un cortocircuito en la medición en un Bus RS-485.

2.12.5.2 Bus RS-232

El puerto serie RS-232, presente en todos los ordenadores actuales, es la forma más comúnmente usada para realizar transmisiones de datos entre ordenadores. El RS-232 es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), realizándose posteriormente una versión, conocida como V.24. Las diferencias entre ambas son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232, refiriéndose siempre al mismo estándar.

El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9, mas barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC). En cualquier caso, los PC's no suelen emplear más de 9 pines en el conector DB-25. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V.

Cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica cada uno de ellos. Las funciones más importantes son:

- | | |
|--------------|-------------------------|
| • Pin | Función |
| • TXD | Transmitir Datos |
| • RXD | Recibir Datos |
| • DTR | Terminal de Datos Listo |
| • DSR | Equipo de Datos Listo |
| • RTS | Solicitud de Envío |
| • CTS | Libre para Envío |
| • DCD | Detección de Portadora |

Las señales TXD, DTR y RTS son de salida, mientras que RXD, DSR, CTS y DCD son de entrada. La masa de referencia para todas las señales es SG (Tierra de Señal). Finalmente, existen otras señales como RI (Indicador de Llamada), y otras poco comunes que no se explican en este artículo por rebasar el alcance del mismo.

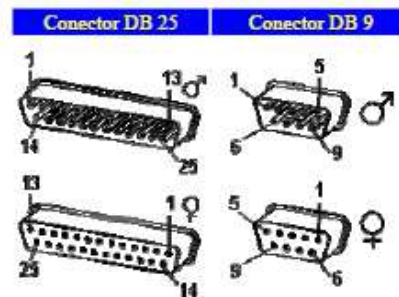


Figura 28: Conectores DB-25 y DB-9.

TABLA N° VIII IDENTIFICACIÓN DE PINES DB9 Y DB25

Número	de Pin	Señal	Descripción	E/S
1	1	-	Masa chasis	-
2	3	TxD	Transmit Data	S
3	2	RxD	Receive Data	E
4	7	RTS	Reques to Send	S
5	8	CTS	Clear To Send	E
6	6	DSR	Data set Ready	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detec	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S
17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready	S
22	9	RI	Ring Indicator	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

(*) = Normalmente no conectados en el DB-25

2.13 HMI (Human Machina Interface)

En los últimos años el desarrollo de los Sistemas de Control y Adquisición de Datos (SCADA) y las Interfaces Hombre Máquina (HMI) en particular, han tenido principal importancia en el proceso de las industrias.

El poseer las herramientas adecuadas que proporcionen una visión integrada de todos los recursos de control e información, y que éstas permitan a ingenieros, supervisores, administradores y operadores visualizar e interactuar con el desarrollo de toda una operación a través de representaciones gráficas de sus procesos de producción, es esencial para cualquier industria moderna.

En el correcto desarrollo de cualquier proceso es necesario involucrar el monitoreo y control del mismo, para de esta manera asegurar la detección de cualquier anomalía que se presenten y mantener rangos normales de operación.

Los sistemas de monitoreo y control permiten el constante análisis de cualquier proceso industrial. Las variables que se manejan dentro de dicho control son:

- Presión
- Nivel
- Temperatura
- Flujo
- Densidad

Con el monitoreo se tiene una idea clara de lo que sucede en el proceso y con el control se puede mantener en condiciones operativas el sistema dentro de rangos de operación previamente establecidos.

Se aplica a sistemas de control en los que el proceso está disperso en una amplia superficie geográfica, de aplicación generalizada en la extracción de petróleo, oleoductos, gasoductos, embotelladoras, cementeras, arrocetas, etc.

Un sistema SCADA consta de tres partes fundamentales:

- **Unidades Remotas (RTU).**- Reciben señales de los sensores de campo y comandan elementos finales de control. Tienen un canal serie de comunicación para interconexión por cable o radio frecuencia (PLC).
- **Estación Maestra.**- Es un computador que permita correr un programa SCADA de cierta complejidad, que comprende diversas funciones.
- **Sistema de comunicación.**- Realizada por distintos soportes y medios de acuerdo al tamaño del sistema SCADA, distancias de las RTU, velocidad y disponibilidad de servicio público de comunicación.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Estación Auca Central

La estación auca central se encuentra ubicada en la provincia de Orellana a una distancia de 45 Km al sureste de la ciudad del Coca.



Figura 29: Campo Auca (Estacion Central)

Esta estación produce un promedio de 4200 barriles de petróleo diarios de acuerdo al reporte diario de producción. Se debe indicar que el petróleo se extrae de algunos pozos que tienen diferentes tipos de levantamiento artificial de petróleo como son: Bombas electro-sumergibles, Bombeo mecánico por medio de balancines, y Sistema Power Oil.

El petróleo que ingresa a la estación Auca a través del manifold y los separadores de petróleo, desde el inicio recibe tratamiento químico para que libere impurezas y pueda fluir sin causar daño a las tuberías por las que circula; en los separadores se obtiene la primera etapa del proceso que consiste en separar el petróleo del gas que sale del yacimiento.

Los separadores reciben el nombre de “Bifásicos”, porque separan la fase líquida de la fase gaseosa. El gas que es separado, se lo utiliza como combustible de algunos equipos, previo tratamiento; y el exceso es quemado en el mechero de la estación.

El petróleo que sale de los separadores va hacia el tanque de lavado, cuya capacidad es de 5000 barriles; en este tanque se separa el agua del petróleo. El agua se va al fondo porque tiene un peso específico de 1, mayor al petróleo que varía de 0.8 a 1. Como se indica en la **Tabla N° IX**.

TABLA N° IX DENSIDAD DEL PETRÓLEO Y GRAVEDAD API

Aceite Crudo	Densidad (g/cm³)	Gravedad API
Extra pesado	>1.0	10
Pesado	1.0 – 0.92	10.0 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Súper ligero	< 0.83	>39

El agua que es drenada del tanque de lavado se la envía al proceso denominado Reinyección de agua, que consiste en volver a inyectar al yacimiento por medio de bombas de alta presión para no contaminar el ambiente porque es altamente corrosiva y venenosa para el consumo humano.

Continuando con el proceso del petróleo, a éste se lo dirige al tanque de reposo, aquí se obtiene el denominado producto petróleo limpio, es decir liberado en mayor parte de sus fases agua y gas.

Desde el tanque de reposo, una parte del petróleo se utiliza para alimentar al denominado sistema de bombeo Power Oil y la otra parte es bombeada hacia la Estación Lago Agrio a los tanques de almacenamiento, que es el sitio donde termina la actividad de Petroproducción, porque aquí se entrega la producción del petróleo a

Oleoducto, quienes tienen que transportar el petróleo hacia Esmeraldas para la refinería y exportación.

Para transportar el petróleo producido, se utilizan algunas unidades de transferencia que deben bombear la producción diaria de la estación Auca a los tanques de almacenamiento de Lago Agrio.

Para el sistema de bombeo Power Oil, se utiliza dos unidades de bombeo que deben inyectar crudo a los pozos 05, 06, 31, 32, y 34 del departamento Auca.

Las necesidades de inyección a los pozos de la estación Auca son aproximadamente de 4800 barriles de crudo diarios, para esto se utilizan, dos unidades de bombeo con diferentes características técnicas. La unidad número tres tiene como componentes un motor White Superior 40-S-8 de 597HP, un reductor de velocidad Lufkin de relación 2.88 a 1 y una bomba de desplazamiento positivo quíntuples (de cinco pistones) Ajax con capacidad de 230 GPM (Galones por minuto).

La unidad número uno tiene como componentes, un motor Waukesha Engine modelo L7042GSI de 1478 HP, un incrementador de velocidad Lufki de 1 a 5,698 y una bomba centrífuga Sulzer Bingham con capacidad de 350 GPM.

Se debe indicar que operativamente se utiliza en forma alterna una sola unidad, pero se tiene instaladas dos unidades debido a la importancia del proceso que realiza cada una de estas, es decir, el sistema de bombeo Power Oil no puede fallar, debido a que se tiene funcionando una unidad y la otra como reserva, eventualmente se han dado casos en los cuales falla mecánicamente alguna de estas unidades de bombeo y debe entrar en funcionamiento inmediato la otra unidad.

3.2 Descripción del Área de Bombeo

El área de bombeo Power Oil se encuentra ubicado en la parte posterior de las oficinas del departamento de mantenimiento del campamento Auca Central, esta área comprende de tres unidades, de las cuales la unidad 1 y 3 se encuentran vigentes, porque la unidad #2 fue retirada por mal funcionamiento; estas unidades están compuestas por:

Unidad # 1

- Un motor de combustión interna a gas.
- Un incrementador
- Una bomba centrífuga.

Unidad # 3

- Un motor de combustión interna a diesel.
- Un reductor
- Una bomba de desplazamiento positivo quintuplex.

La función básica del área de bombeo Power Oil es bombear el crudo como fluido recuperador que se encuentra en el tanque de reposo para ser inyectado a los distintos pozos del Auca.

3.3 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL #3.

Antes de poner en funcionamiento la unidad de bombeo Power Oil #3 de la estación Auca Central se deben realizar los siguientes pasos:

- Verificación de equipos
- Arranque de la unidad
- Apagado de la unidad

3.3.1 Verificación de equipos

- Verificar que las válvulas, succión y descarga de la unidad, se encuentren abiertas.
- Que el compresor de aire tenga cargado al máximo el tanque de almacenamiento de aire y que la unidad de bombeo no tenga ningún obstáculo para el arranque.
- Verificar de que exista una presión de 3 a 5 psi en el governor, esto se lo puede verificar en el manómetro del panel de control.

3.3.2 Arranque de la unidad

Una vez realizada la verificación de equipos, el operador se para frente al tablero de control y procede a:

- Pulsar el botón de prelubricación de la máquina hasta que en el tablero indique que está prelubricada. (Prelubricación es una lubricación forzada que se le realiza al motor cuando está parado)
- Luego se pulsa el botón de arranque, en donde este activa el arranque y mueve al volante del motor, cuando se observe que el motor empieza a funcionar se suelta el botón pulsador del arranque y este se desactiva y el motor de combustión interna empieza a trabajar normalmente.
- Manualmente se procede al incremento y estabilización de la velocidad en 800 RPM (revoluciones por minuto). Una vez que ha quedado funcionando el motor de combustión interna, el tablero de control queda armado y listo para detectar si se diera algún tipo de falla en la unidad.

3.3.3 Apagado de la unidad

Posterior a esto, el operador de la estación Auca Central debe estar atento a cualquier orden que sea dada por parte de sus superiores para proceder al apagado de la unidad. En ese momento el operador de la estación Auca Central, procede a

pulsar el botón de apagado de la unidad, una vez apagada la unidad, cierra la válvula de succión y descarga.

3.4 Unidad Power Oil N° 3

La unidad de bombeo Power Oil, que refiere este estudio se encuentra conformada por:

- Motor de combustión interna
- Reductor de velocidad
- Bomba de desplazamiento positivo (quíntuples)

3.4.1 Motor de combustión interna

El motor White Superior es el encargado de proporcionar la fuerza motriz de la unidad, hacia la bomba de desplazamiento positivo (quíntuples), pero como la bomba requiere de menor velocidad, se utiliza un reductor de velocidad.



Figura 30: Motor White Superior

El motor consta de los siguientes datos técnicos:

- **MARCA:** WHITE SUPERIOR
- **MODELO:** 40-S-8
- **SERIE:** 20743
- **TIPO DE COMBUSTIBLE:** DIESEL
- **TIPO DE LUBRICANTE:** CASTROL RX 40
- **POTENCIA:** 597 HP
- **REVOLUCIONES:** 1200 RPM
- **SENTIDO DE ROTACIÓN:** ANTI HORARIO
- **CAPACIDAD LUBRICANTE:** 85 GLS
- **TIPO DE GOVERNOR:** HIDRÁULICO

3.4.2 Reductor de velocidad

El reductor de velocidad marca Lufkin 5169C reduce la velocidad en 2.88 veces la producida por el motor y es transmitida a la bomba de pistón.



Figura 31: Reductor de Velocidad Lufking

El reductor de velocidad marca Lufking consta de los siguientes datos técnicos:

- **MARCA:** LUFKIN
- **MODELO:** 5169C
- **SERIE:** 331
- **ID N°. FABR. (PURCHASER):** 352306
- **POTENCIA:** 610 HP
- **RELACIÓN DE TRANSMISIÓN:** 2.88: 1
- **TIPO DE LUBRICANTE:** SAE 40
- **CAPACIDAD LUBRICANTE:** 18 GLS
- **REV SALIDA (OUTPUT RPM):** 312
- **SENTIDO DE ROTACIÓN:** HORARIO

3.4.3 Bomba de desplazamiento positivo

La bomba Ajax Q600FS es la encargada de bombear el fluido motriz hacia los distintos pozos donde se inyectaran para el proceso de extracción artificial de petróleo.



Figura 32: Bomba Ajax(Quíntuples)

La bomba de desplazamiento positivo marca AJAX consta de los siguientes datos técnicos:

- **MARCA:** AJAX
- **MODELO:** Q600FS
- **SERIE:** 7339
- **CAPACIDAD:** 230 GPM
- **POTENCIA:** 600 HP
- **FLUIDO A BOMBEAR:** PETRÓLEO DE 27,7° API
- **TIPO DE LUBRICANTE:** SAE 40 (CASTROL RX 40)
- **CAPACIDAD LUBRICANTE:** 45 GLS
- **PRESIÓN DE SUCCIÓN MÁX:** 50 PSI
- **PRESIÓN DE DESCARGA MÁX:** 3850 PSI
- **CARRERA DEL EMBOLO:** 6 IN
- **DIÁMETRO DEL EMBOLO:** 2 ⁵/₈ IN
- **DIÁMETRO DE SUCCIÓN:** 6 IN
- **DIÁMETRO DE DESCARGA:** 3 IN
- **NÚMERO DE PISTONES:** 5

3.5 Sistema de Control

Los elementos utilizados en el sistema de control neumático, ver **Anexo N° 1**, se encuentran en algunos casos obsoletos y en otros discontinuados por sus fabricantes, por lo que la compra de los repuestos deben ser realizados bajo pedido especial, para su construcción lo que implica costos elevados de mantenimiento y reparación.

El mantenimiento de estos sistemas de control se hacen complicados porque poseen muchas partes móviles (cilindros, pistones, orificios, orines, etc.) que no permiten detectar las fallas y repararlas, perdiéndose tiempo valioso; además para dar mantenimiento periódico (lubricaciones) se requiere hacer paralizaciones mensuales.

Las variables de proceso y de control se encuentran protegidas y visualizadas en la unidad de bombeo Power Oil, de la siguiente manera:

Motor

- Presión de aceite del motor.
- Temperatura de los cilindros: 1 2 3 4 5 6 7 8.
- Temperatura de agua del motor.
- Vibración del motor
- Vibración del ventilador
- Presión de aire del governor
- Presión aire del arranque

Reductor

- Vibración del reductor
- Nivel de aceite

Bomba

- Vibración de la bomba.
- Presión de aceite de la bomba
- Presión de succión.
- Presión de descarga.

En el tablero de control se puede visualizar algunas de las variables que se está controlando **Fig. 34**.



Figura 33: Tablero de Control Unidad de Bombeo Power Oil 3

3.6 Variables e Instrumentación

Para el registro de las diferentes variables que se encontrarán en la unidad de bombeo, se utiliza la instrumentación como son: elementos que conforman el tablero de control, elementos primarios en el motor, reductor y la bomba.

3.6.1 Temperatura del agua del motor de combustión interna

La temperatura normal del agua del motor en funcionamiento es de 180 °F (82.2°C), con esto nos indica que el motor está funcionando correctamente, cuando la temperatura del agua sube quiere decir que se está sobrecargando al motor, en todo caso el fabricante nos indica que el motor soporta una variación del 10% de la temperatura. En la actualidad se utiliza una válvula sensible de temperatura de dos vías como se muestra en la **Fig. 34**:

MARCA	AMOT
MODELO	4430



Figura 34: Válvula Sencible de Temperatura Amot

3.6.2 Presión de aceite del motor

Una de las variables importantes a monitorear continuamente, es la presión de aceite del motor ya que desde el inicio del proceso de arranque es necesario, porque nos indicará cuando termina el período de prelubricación del motor, esto se realiza con el motor parado antes del arranque con la finalidad de lubricar todas las partes móviles del motor hasta que este empiece a moverse y con esto evitar el desgaste rápido de los elementos en movimiento.

3.6.3 Vibración del motor

Es normal que un motor vibre debido al funcionamiento, pero cuando se sale de parámetros normales es necesario parar el motor debido que este signo indicaría que existe algún problema de anclaje o que está floja alguna parte del motor. El sensor de vibración que detecta el funcionamiento anormal del motor se lo instala en una de las tapas del bloque del motor, en donde se espera sea detectado algún movimiento brusco del motor, en la actualidad se utiliza un sensor de vibración como se muestra en la **Fig. 35**.

MODELO 4109
MARCA AMOT



Figura 35: Sensor de Vibración Amot

3.6.4 Vibración del intercambiador de calor

De igual manera que en el motor, un movimiento brusco o alta vibración del intercambiador de calor nos indicará que existe algún problema de montaje o algún elemento suelto que puede afectar al daño total del intercambiador de calor o del motor. Para esto se debe instalar el sensor de vibración en la carcasa del intercambiador de calor en la parte superior, que es el sitio más sensible de este equipo. **Fig. 35**

MODELO 4109
MARCA AMOT

3.6.5 Presión de aire del governor

El governor es un dispositivo de control de velocidad del tipo hidráulico - mecánico, que utiliza una señal de aire para establecer la velocidad a la cuál debe trabajar el motor. El governor controla la velocidad de este motor es de marca Woodward cuyos datos de la placa son los siguientes:

MARCA	WOODWARD
MODELO	UG – 8L
VELOCIDAD DE EJE DEL GOVERNOR	500 – 1500 RPM
PRESIÓN EL AIRE DE CONTROL	3 – 15 psi
PART N°	0 033264
SERIAL N°	2160686



Figura 36: Governor Woodward

Los límites de presión del aire del governor dependen de las microválvulas, las cuales proporcionaran señales de baja velocidad y sobrevelocidad.

- Límite inferior 400RPM (baja velocidad)
- Límite Superior 900 RPM (Sobre velocidad)

3.6.6 Velocidad del motor

La variable velocidad del motor es importante monitorear continuamente porque en nuestro caso utilizaremos la señal para establecer diferentes puntos de control y utilizar las señales para activar el motor de arranque que proporciona el empuje de inicio. Por lo tanto el monitoreo de la velocidad del motor nos ayudará a establecer hasta cuándo debe funcionar el motor de arranque.

Mantener un monitoreo continuo de la velocidad nos ayudará a prevenir que en caso de falla del control de velocidad o de alguno de los mecanismos relacionados a este control de tal manera que esto provoque sobrevelocidad en el motor. Es decir

con esta señal podremos establecer el valor al cual deberá dejar de funcionar el motor por sobrevelocidad y con esto prevenir la destrucción de este equipo.

El sensor de velocidad que se utiliza actualmente tiene las siguientes características:

MODELO M131
MARCA Dynalco

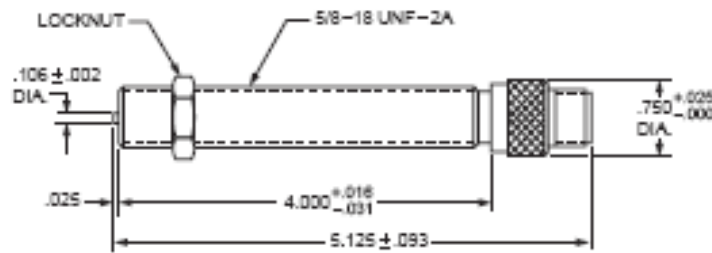


Figura 37: Sensor de Velocidad

3.6.7 Vibración del reductor

Un movimiento brusco o alta vibración del reductor nos indicará que existe algún problema de montaje o algún elemento suelto que puede afectar al daño total del equipo. Para esto se debe instalar el sensor de vibración en la carcasa del reductor porque que es el sitio más sensible de este equipo. Como se muestra en la **Fig. 35**

MODELO 4109
MARCA AMOT

3.6.8 Vibración de la bomba

Con la finalidad de prevenir la destrucción total de la bomba, se ha visto necesario utilizar un elemento sensor de vibración, el cual es el encargado de indicar el momento que exista algún movimiento brusco en la bomba y deberá dar una señal de control para detener la unidad. Como se muestra en la **Fig. 35**

MODELO: 4109
MARCA: AMOT

3.6.9 Presión de succión

La lectura de presión de succión de la bomba se encuentra monitoreada por los siguientes elementos:

MANÓMETRO

MARCA: -----

MODELO: -----

VÁLVULA DE AGUJA

MARCA: WHITEY

SERIE: P



Figura 38: Manómetro, Válvula de Aguja (Presión de succión)

3.6.10 Presión de descarga

La variable de presión de descarga de la unidad de transferencia es un valor, que siempre debe estar monitoreándose para determinar que la unidad está trabajando correctamente, una subida de presión en la línea de descarga nos indicará que existe algún obstáculo en la línea por lo que deberá darnos una señal de alarma y en caso de que la presión supere un valor de presión peligroso para la instalación deberá apagarse inmediatamente la unidad, ya que esto indicaría que posiblemente se ha cerrado alguna válvula en la línea de descarga.

La presión de descarga se encuentra monitoreada por los siguientes elementos.

MANÓMETRO

MARCA Ashcroft
MODELO 1008
SCALE 0 – 5000 PSI

VÁLVULA DE AGUJA

MARCA WHITEY
SERIE P



Figura 39: Manómetro Ashcroft (Presión de Descarga)

CAPÍTULO IV

4. PLAN DE MEJORAMIENTO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PLC MICROLOGIX 1500 DE LA UNIDAD DE BOMBEO POWER OIL 3

4.1 Descripción de los Cambios a Realizarse en la Unidad

Los cambios que se van a realizar en el sistema de control de la unidad de bombeo Power Oil son los que a continuación se describen:

4.1.1 Sistema de control

El actual sistema de control en la que se encuentra funcionando la unidad de bombeo Power Oil 3 es del tipo neumático, el mismo que va a ser sustituido por un sistema de control automático basado en un PLC Micrologix 1500.

Los elementos que se utilizan en el nuevo sistema de control requieren de un mantenimiento mínimo, menor espacio en el tablero, mayor facilidad en mantenimiento y puesta en servicio con una flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del control del proceso. Las variables de la unidad de bombeo que se consideran son:

Motor

- Vibración del ventilador
- Vibración del motor
- Presión de aceite del motor.
- Presión de aire del governor
- Presión de aire del arranque
- Temperatura de los cilindros: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.
- Temperatura de agua del motor.

Reductor

- Vibración del reductor
- Temperatura de aceite del reductor

Bomba

- Vibración de la bomba.
- Presión de succión.
- Presión de descarga.
- Presión de aceite de la bomba
- Temperatura de aceite de la bomba

4.1.2 Instrumentación

Debido a que en la industrial es común encontrar instrumentación específica para el uso en el campo petrolero, es importante indicar la ubicación, ver **Anexo N°2**, y los tipos de sensores a utilizarse para el registro de las variables las cuales proporcionarían las respectivas características técnicas.

A continuación se presenta los sensores que registrarán las variables a utilizarse:

4.1.2.1 Sensores de Temperatura

El PLC a utilizar dispone de una tarjeta configurable al software RSLogix 1500, para termocupla (IT6). Para el diseño se ha escogido termocuplas tipo J marca ROSEMOUNT modelo series 183 y termocuplas tipo J marca DYNALCO modelo TRWDYNALCO STYLE ETC-106 como se muestran en la **Fig. 40**. Las cuales cumple con los factores a trabajar, ver **Anexo N°3**.



Figura 40: Sensor de Temperatura Tipo J

4.1.2.2 Sensores de presión

Para protección y monitoreo de la unidad de bombeo, el registro de la variable presión que se encuentra en los distintos mecanismos (presión del aceite del motor, agua del motor, aceite del reductor, aire de arranque, aire governor, succión de la bomba, descarga de la bomba), se han escogido transmisores de presión marca WIKA modelo E-10 **Fig. 41**, los cuales son transductores de presión a corriente de 4 a 20 mA en dos hilos. Los rangos de presión de los transmisores se escogerán de acuerdo a las diferentes presiones a las cuales estén sometidas en el proceso, ver **Anexo N°4**



Figura 41: Sensor de Presión Wika

4.1.2.3 Sensor de velocidad

El sensor a utilizarse con las características necesarias para el registro de la velocidad es de marca DYNALCO MAGNETIC PICK –UP 189, ver **Anexo N°5**. El proceso requiere un rango de velocidad comprendido entre 0 y 1200 rpm, la velocidad nominal de trabajo del motor es de 800 rpm (revoluciones por minuto).

Este sensor va conectado a una tarjeta **Fig. 42**, que transforma la salida del sensor (frecuencia) a corriente de 4 a 20mA para que sea conectado como una entrada analógica en la tarjeta del PLC.



Figura.42 Tarjeta del Sensor de Velocidad

4.1.2.4 Sensor de vibración

Para la protección de vibración en el ventilador, motor, reductor y bomba, se ha escogido sensores de vibración de la marca METRIX series 5550 **Fig. 43**, que es un interruptor mecánico de vibración, el cual es sensible al tipo de vibración axial o perpendicular respecto al punto de montaje, ver **Anexo N°6**. Cuando existe falla (vibración superior a la de calibración), el sensor cierra un contacto eléctrico, la cual es una entrada digital del PLC.



Figura 43: Sensor de Vibración Metrix 5550

4.2 Descripción del Autómata

4.2.1 Descripción del hardware

MicroLogix 1500 es una plataforma de Control Lógico Programable (PLC) que cuenta con un innovador diseño de dos piezas y medidas pequeñas. El procesador y la base se deslizan juntos para formar el controlador completo **Fig.44**. Estos se reemplazan independientemente, lo cual permite maximizar las opciones de E/S incorporadas y minimizar los costos de inventario.

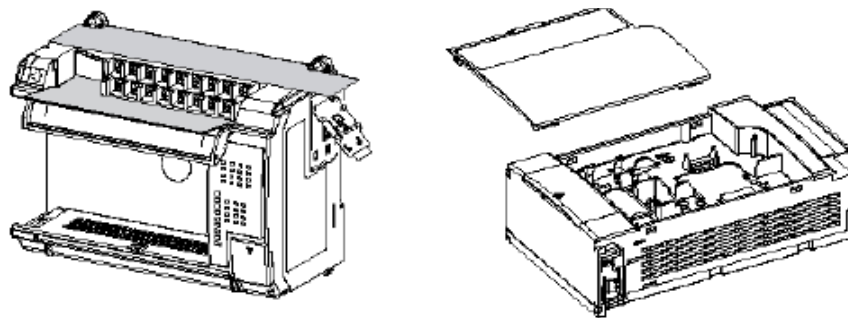


Figura 44: Partes del Controlador MicroLogix 1500

El controlador está formado por los siguientes componentes: una fuente de alimentación, circuitos de entrada, circuitos de salida y un procesador, y este puede montarse sobre un carril DIN 35. En nuestro caso se dispone de:

- Unidad base modelo 1764-28 BXB, 16 entradas a 24 VCC (voltaje de corriente continua) y 12 salidas de relé.
- Fuente de alimentación a 24Vcc.
- Procesador modelo 1764-LRP, con 7Kb de capacidad para programa de usuario.

Para programar el controlador MicroLogix 1500 se usa el software RSLogix 500 de Rockwell.

4.2.1.1 Conexiones de comunicación

El puerto denominado en la documentación como Canal 0 corresponde al puerto RS-232 del autómata. Éste permitirá la conexión del autómata con el puerto serie del ordenador personal para poder programarlo de manera directa, o con dispositivos de interface de red para los que incorpora alimentación de 24 Vcc (voltaje corriente continua).

Este puerto utiliza el protocolo de comunicación DF1 (Full-Duplex), muy útil cuando se requiere comunicación RS-232 punto a punto. Este protocolo acepta transmisiones simultáneas entre dos dispositivos en ambas direcciones. El protocolo DF1 controla el flujo de mensajes, detecta y señala errores y efectúa reintentos si se detectan errores. Presenta por defecto las siguientes características:

TABLA N° X PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN PARA FULL-DUPLEX DF1

Parámetro	Opciones	El valor predeterminado
Baud Rate	300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19.2K, 38.4K	19,2K
Parity	Ninguna par	Ninguno
Source ID (Dirección de nodo)	0 a 254 decimal	1
Control Line	Sin handshaking, comunicación de módem Full-Duplex	Sin handshaking
Error detection	CRC, BCC	CRC
Embedded Responses	Detección automática habilitada	Auto detect
Duplicate Packet (Message) Detect	Habilitada, inhabilitada	Activado
Time Out ACK	1 a 65535 conteos incrementos de 20 ms	50 veces
Nak retries	0 a 225	3 intentos

Como se puede ver en la **TABLA N° X** la velocidad de transmisión por defecto es de 19,2 K. Este dato deberá ser tomado en cuenta más tarde en la configuración del módulo. Para que no existan problemas de comunicaciones, los dos dispositivos deberán tener la misma velocidad de transmisión. Este puerto puede también configurarse mediante el software RSLogix 500 como se muestra en la **Fig.45**, accediendo al menú Channel Configuration del árbol de proyecto.

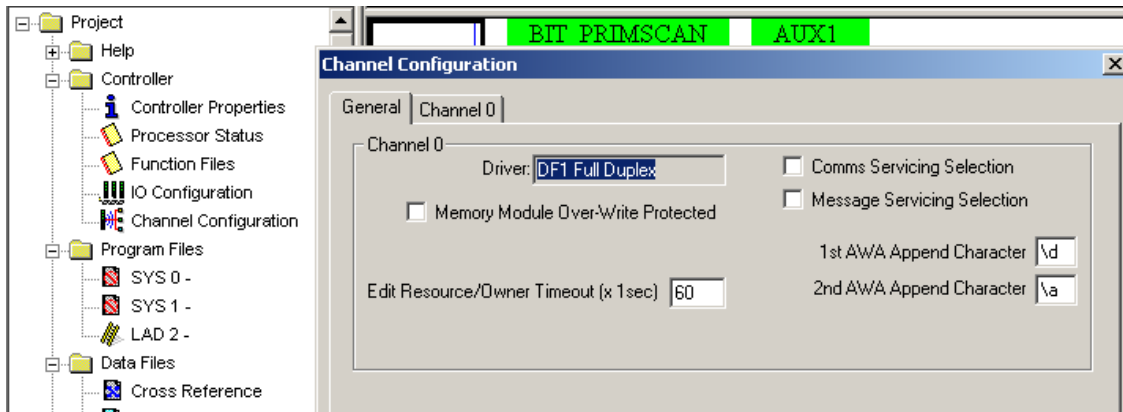


Figura 45: Menú de Configuración del Canal 0

4.2.1.2 Esquema de bloques de terminales

El controlador utilizado contiene únicamente el bloque de entradas/salidas incorporadas, es decir, 16 entradas a 24 Vcc (corriente continua) y 12 salidas de relé. Debido a la tipología de las prácticas donde no se emplean dispositivos de entrada (pulsadores, sensores, etc.) sino que se simulan mediante software, las entradas no se usarán. Las salidas al ser de tipo relé deberán cablearse a un potencial de referencia, en nuestro caso se utilizará el potencial de +24 Vcc, proporcionado por la propia fuente de alimentación del automático. En la **Fig. 46** se muestra el cableado de uno de estos potenciales que corresponde a la salida O: 0/0, en rojo la alimentación y en negro el común.

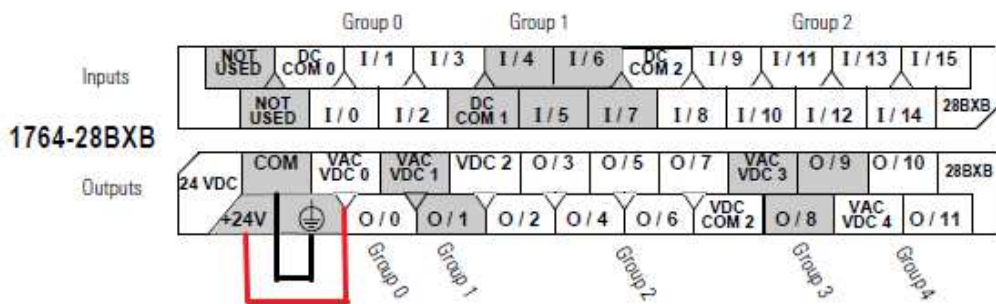


Figura 46: Terminales de la Unidad Base

Los terminales de la unidad base están agrupados diferenciándose en cinco grupos de salidas, **Fig. 46** de esta manera sería posible cablear las salidas a potenciales diferentes. En nuestro caso todas se encuentran cableadas a 24 Vcc.

4.2.1.3 Direccionamiento

Los estados de las entradas y salidas del autómata se pueden verificar mediante el RSLogix, accediendo al menú Data Files>Output o Input. En este menú se puede visualizar su estado, forzar bits y nombrar las salidas. El autómata se refiere a las diferentes entradas y salidas digitales, las que se tienen en este caso, como:

Ejemplo la salida número 2 se escribiría: O: 0/2.

TABLA N° XI NOMENCLATURA ENTRADAS Y SALIDAS

Tipo de archivo*	Delimitador de ranura	N° ranura	Delimitador de bit	N° de ranura
I (entrada)	:	0	/	0 a 15
O (salida)	:	0	/	0 a 15

Para el direccionamiento de las variables internas de la memoria del autómata se usa una nomenclatura similar. La diferencia es que en lugar de llamarse I (Entrada) u O (Salida), se llaman B3. Por ejemplo la primera variable corresponde a B3:0/0. Éstas se reúnen en grupos de 16 variables. La número 17 sería B3:1/0. Y así de manera sucesiva hasta que lo permita la memoria de usuario que posea nuestro controlador.

El forzado de variables nos será muy útil para simular los pulsadores de paro, marcha, etc. Este forzado se puede realizar con el autómata on-line (en línea) y offline (fuera de conexión). Para forzar una variable de bit se debe entrar el menú Data Files> Binary, y pasar el bit correspondiente (círculo azul) de 0 a 1 como se muestra en la **Fig. 47**. En este caso se está activando la variable B3:1/1.



Figura 47: Menú Binary

4.2.2 Descripción del Software

El software RSLogix 500 es destinado a la creación de los programas del controlador en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógica de escalera (Ladder).

Este Incluye editor de Ladder y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras opciones. Este producto se ha desarrollado para funcionar en los sistemas operativos Windows.

4.2.2.1 Ingreso al sistema

Se accede mediante la activación de doble clic del icono RSLogix 500 que se muestra en el escritorio o en el menú de Windows siempre y cuando se haya instalado el programa, en este caso tenemos la versión en inglés, como se muestra en la Fig.48



Figura 48: Icono del Software RSLogix 500

Al entrar al programa mediante el icono se abrirá la ventana de la **Fig. 49**.

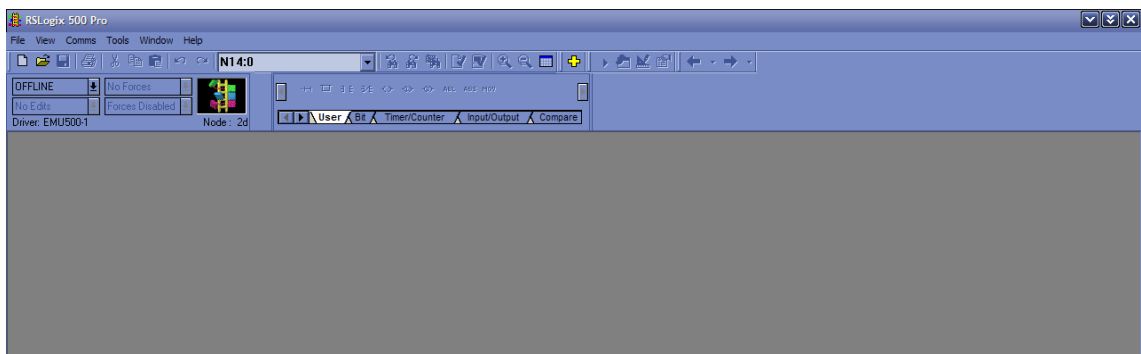


Figura 49: Ventana Principal del RSLogix 500.

Haciendo clic en el ícono New o en el menú File-New se crea un nuevo archivo de programación, al cual se configura de acuerdo a las necesidades que requiere en el proceso a realizar en la programación del autómatas.

4.2.2.2 Selección de autómatas

Al presionar el icono New se presenta la siguiente ventana **Fig. 50**, donde se puede seleccionar el tipo de procesador con el cual se va a trabajar.

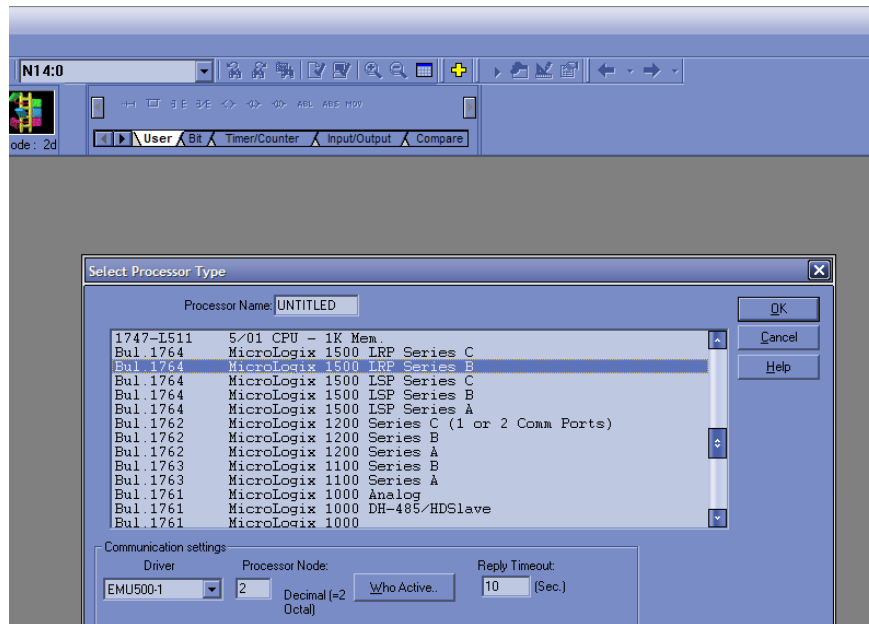


Figura 50: Selección del Autómata en MicroLogix

Una vez seleccionado el procesador el cual satisfaga nuestras necesidades realice clic en Ok, donde muestra la siguiente ventana **Fig. 51**.

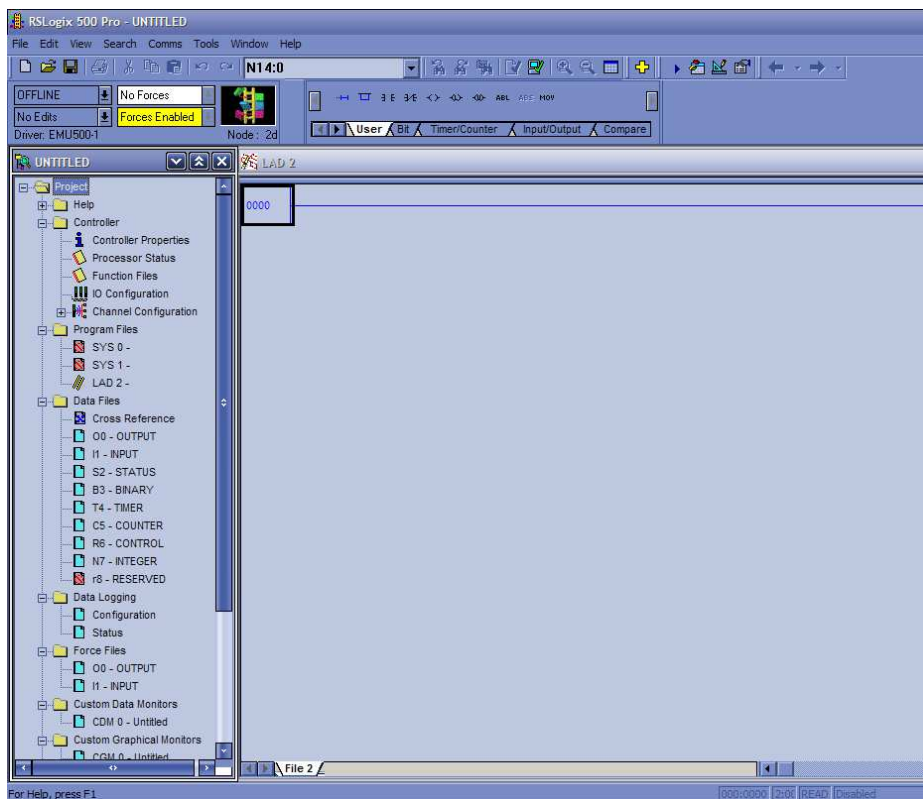


Figura 51: Ventana del Programa RSLogix

En la ventana se encuentra en la parte izquierda el Árbol de Proyectos que contiene todas las carpetas y archivos generados en el proyecto y en la parte derecha la ventana del programa ladder que contiene todas las instrucciones del programa, en lenguaje ladder relacionados con el proyecto que se esté diseñando.

4.2.2.3 Configuración de Entradas y Salidas (I/O)

Seleccionado el controlador o autómatas se procede a configurar las tarjetas que se requiere, dirigiéndose al árbol de proyecto y con doble clic en I/O Configuration, donde habilita una pantalla que nos permite seleccionar el tipo de tarjeta que se requiere **Fig. 52**.

En este caso se seleccionará las siguientes tarjetas:

- 1769-IF8 Entrada de 8 canales analógicas.
- 1769-OF2 Módulo analógico de salida de 2 canales.
- 1769-IT6 Módulo de termopar de 6 canales (2 tarjetas).

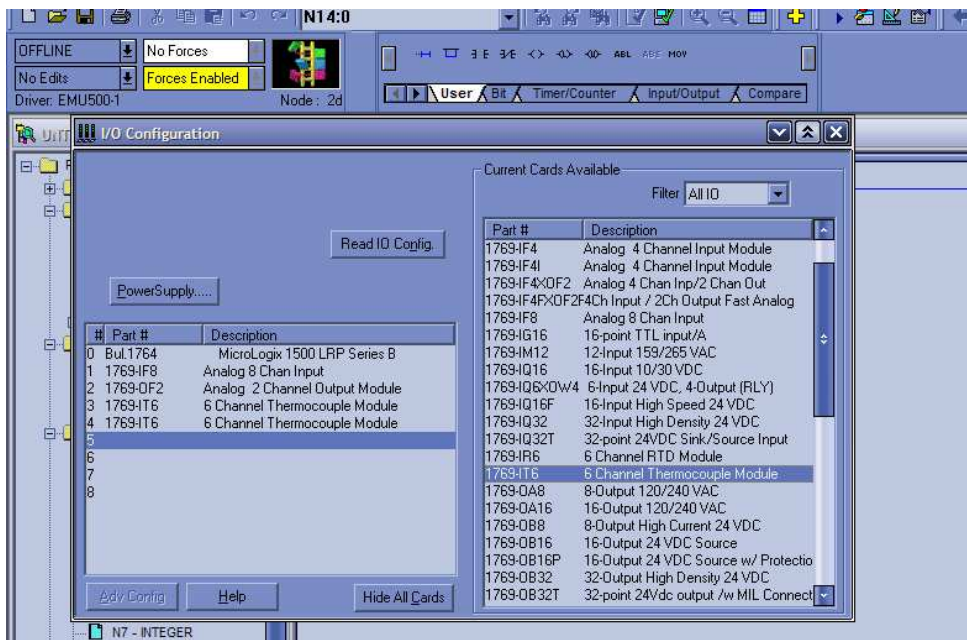


Figura 52: Ventana de Selección de Tarjetas.

Seleccionado las tarjetas con las que se va a trabajar el siguiente paso es configurar cada una de ellas, para lo cual realizar doble clic en cada uno de los nombres de las tarjetas y se configura de acuerdo a las necesidades **Fig. 53**.

Para configurar la 1769-IF8, Se habilita los canales que se van a ocupar, seleccionando el rango de entrada del instrumento y el formato de datos.

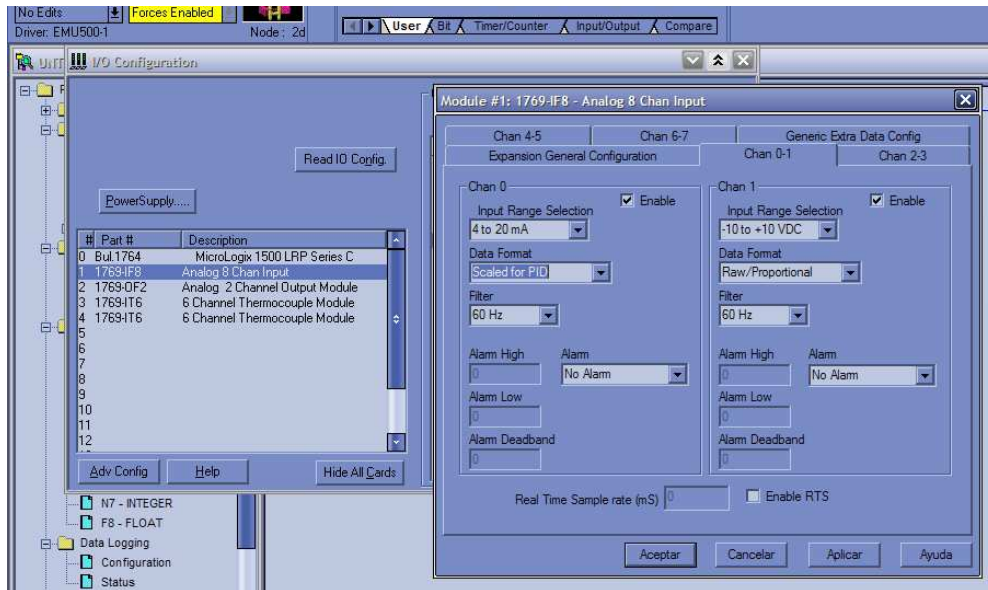


Figura 53: Ventana de Configuración de la Tarjeta 1769-IF8

La configuración de la tarjeta 1769-OF2, donde se habilita los canales a ocupar, seleccionando el rango de salida con el que trabaja el instrumento y el formato de datos **Fig. 54**.

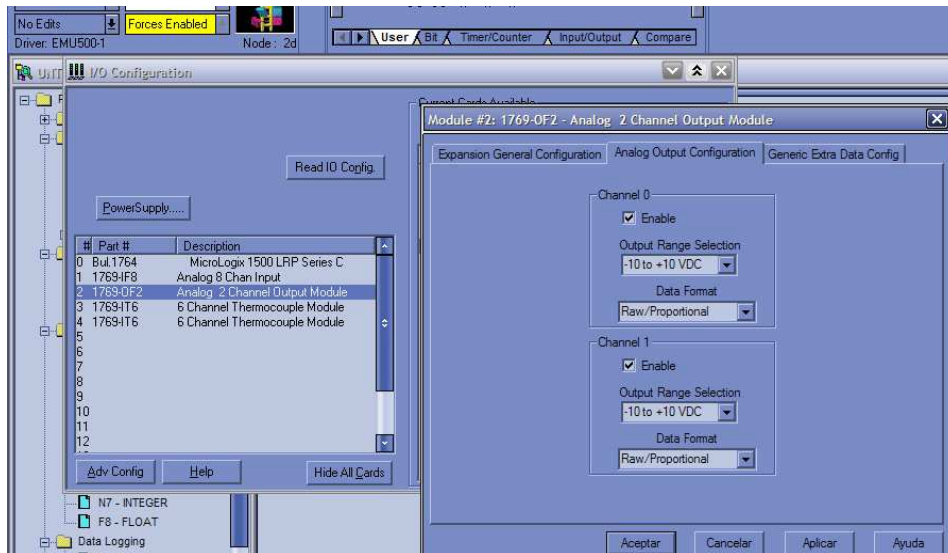


Figura 54: Ventana de Configuración de Tarjeta 1769-OF2

Al configurar la tarjeta 1769-IT6 **Fig. 55**, en el cual se habilita los canales de entrada a utilizarse, se selecciona el formato de datos con el que se va a trabajar, el tipo de la termocupla, el tipo de circuito abierto y las unidades.

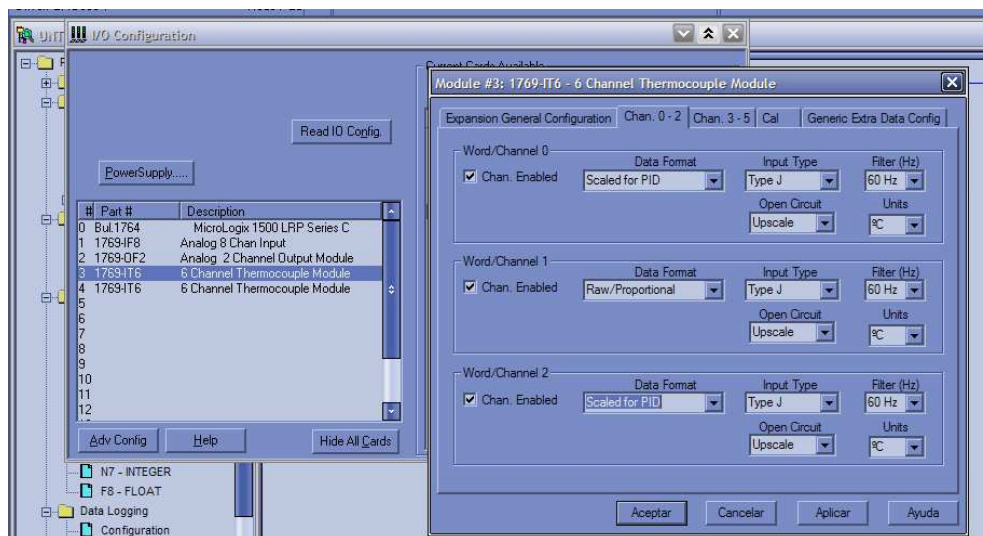


Figura 55: Ventana de Configuración de la Tarjeta 1769-IT6

Una vez configurado todas las tarjetas el paso consecutivo es iniciar con la programación del sistema control de la unidad de bombeo Power Oil.

Para empezar con la programación se debe conocer los valores de las variables que van a ser censadas como son: temperatura, presión y velocidad. Para lo cual a

continuación se describirá cada variable con su respectivo valor de censado. La información se observa en la **Tabla N° XII**.

TABLA N° XII DATOS DE LAS VARIABLES PARA SHUTDOWN

Datos de variables		
Variables	Shutdown	
	Bajando	Subiendo
Temperatura Agua Motor		210°C
Temperatura Aceite Reductor		170°C
Temperatura Aceite Bomba		170°C
Temperatura Cilindro #1		1050°C
Temperatura Cilindro #2		1050°C
Temperatura Cilindro #3		1050°C
Temperatura Cilindro #4		1050°C
Temperatura Cilindro #5		1050°C
Temperatura Cilindro #6		1050°C
Temperatura Cilindro #7		1050°C
Temperatura Cilindro #8		1050°C
Presión Aceite Motor	30 PSI	
Presión Succión	30 PSI	
Presión Descarga	2500 PSI	4100 PSI
Presión Aire Governor	5 PSI	30 PSI
Presión Aire Arranque	5 PSI	
Presión Aceite Bomba	25 PSI	
Vibración Ventilador		10 g
Vibración Motor		10 g
Vibración Reductor		10 g
Vibración Bomba		10 g
RPM	400 RPM	990 RPM

4.3 Diseño del Sistema de Control de la Unidad de Bombeo

4.3.1 Secuencia de operación del proceso

Conjuntamente con los valores de las variables a censar se tienen que conocer la secuencia de operación del proceso, para empezar con la programación en el PLC para evitar tener algún inconveniente, para lo cual a continuación se describirá la operación de la unidad de bombeo Power Oil:

Paso 1.- En primera instancia para dar paso al encendido de la unidad, la presión del aire del governor debe superar o ser igual a 5 psi (libras por pulgadas cuadradas), la válvula de by pass debe estar cerrada.

Paso 2.- Al encender la unidad, habilitará el sistema de prelubricación y el paso de aire al governor del motor de combustión interna. La presión mínima de prelubricación del motor antes de pasar a la segunda fase que es el arranque es de 5psi, si la presión no llega a 5psi existe otro condicionante de que se pre-lubrique el motor por un máximo de 30 segundos. Pasado este tiempo y si no se ha cumplido la condición de subir la presión a un mínimo de 5psi, el sistema de control desconecta el sistema de prelubricación. Para volver a intentar un nuevo arranque hay que accionar en una secuencia los pulsantes de STOP y RESET.

Paso 3.- Si ha cumplido el condicionante de subir la presión de prelubricación a un mínimo de 5psi, el sistema pasa a una segunda fase que es activar el sistema de arranque. El sistema de arranque hace que se abra la válvula de paso de aire al motor de arranque, el cual se engrana al volante del motor de combustión interna, esto hace que el motor comience a girar hasta perder su inercia y haber llegado a una velocidad mínima 500 rpm (revoluciones por minuto). Si se ha superado esta velocidad el motor de arranque es desconectado por el sistema de control.

Si no se ha superado en el primer arranque esta velocidad de 500 rpm, en un tiempo de arranque de 8 segundos, el sistema de control realiza un nuevo intento de

arranque luego que a pasado un tiempo de pausa de 12 segundos, que es un tiempo prudencial en que el motor se haya detenido, luego del primer intento de arranque.

Si luego de que el sistema de control realiza dos intentos de arranque y la unidad responde, el control manda a realizar un shutdown de la máquina por sobrearranque, Si ocurre se tiene que pulsar el botón de RESET para proceder a un nuevo arranque.

Paso 4.- Se debe indicar que cuando se encuentra en la fase inicial de arranque, el operador en una forma manual desde el tablero principal de control debe ir subiendo la velocidad lentamente mediante el pulsante de subir velocidad, este pulsante permite inyectar aire regulado al sistema de governor, en el cual al ingresar mayor cantidad de aire, en su mecanismo hidráulico permite mayor paso de combustible a las válvulas inyectoras y de esta manera se sube su velocidad hasta el valor nominal de trabajo (800 rpm).

Paso 5.- Ya estabilizada la unidad, si se requiere apagar, procedemos a accionar el pulsante STOP del tablero, en estas condiciones se cierra el paso de aire hacia el governor, y se ventea por la tercera vía de la electroválvula el aire empaquetado en el governor, por lo que la unidad se apaga y se prende la lámpara roja de apagado normal.

Paso 6.- Si se produce algún apagado por parada de emergencia o alguna protección configurada para que haga shutdown, automáticamente la unidad de igual forma que en el apagado normal cierra el paso de aire al governor y se apaga, en este caso se prendera la lámpara de color amarillo que nos indica que es un shutdown por falla.

4.3.2 Programación del sistema de control en software RSLogix

Al conocer la secuencia de operación de la unidad y los valores de las variables a sensar se procede con la respectiva programación del proceso.

Crear el primer archivo del programa el cual se llamara SUBRUTINAS, en este archivo se encontraran todas las subrutinas del programa, **Fig. 56**.

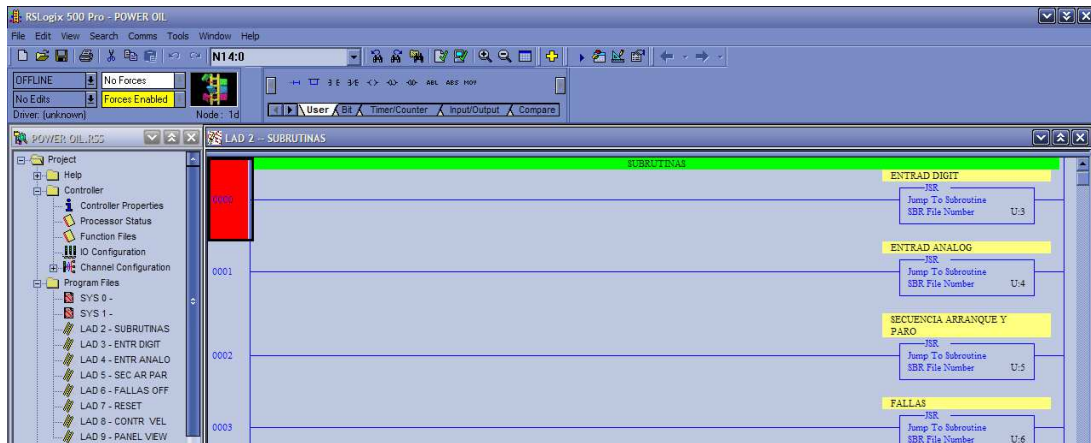


Figura 56: Pantalla del Archivo Subrutinas

El siguiente archivo del programa se llamará ENTR DIGIT, que significa entradas digitales en el cual se encontraran todas las entradas digitales del programa.

Todas las entradas digitales serán direccionadas a una instrucción Binaria (bit de memoria), donde se utilizará el archivo de datos B3 como auxiliar de todas las entradas de protección y el archivo de datos B10 como auxiliar de las entradas de control, **Fig.57**.

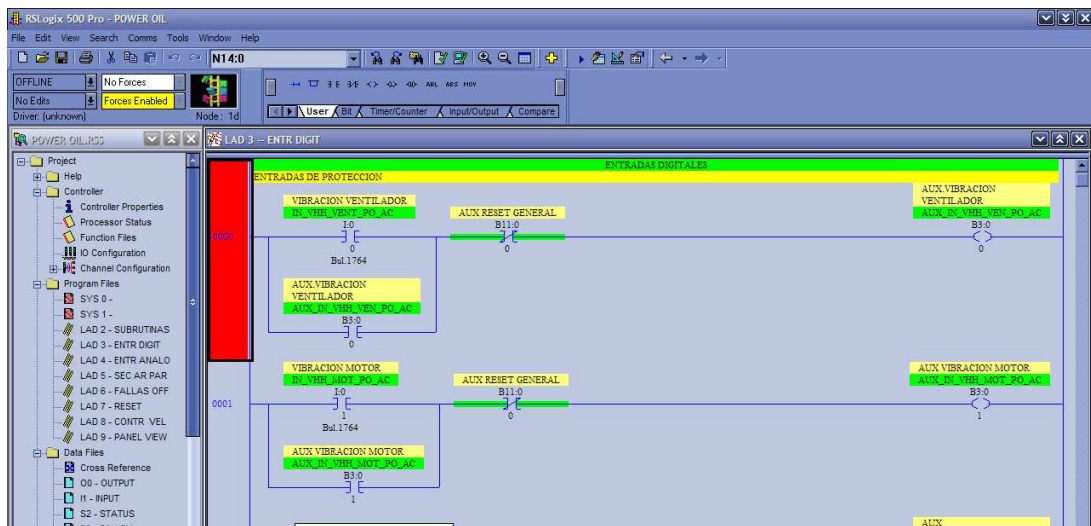


Figura 57: Pantalla del Archivo de Entradas Digitales

En el archivo siguiente se encontraran todas las entradas analógicas que serán sensadas el cual se llamará ENTR ANALO.

Todos los datos de entrada como: temperaturas, presiones y velocidad serán escalados de acuerdo a las características de cada uno de los sensores descritos anteriormente. Para la salida de datos escalados de las temperaturas se utilizará el archivo de datos N7 y para las presiones y velocidad el archivo de datos N12, **Fig. 58.**

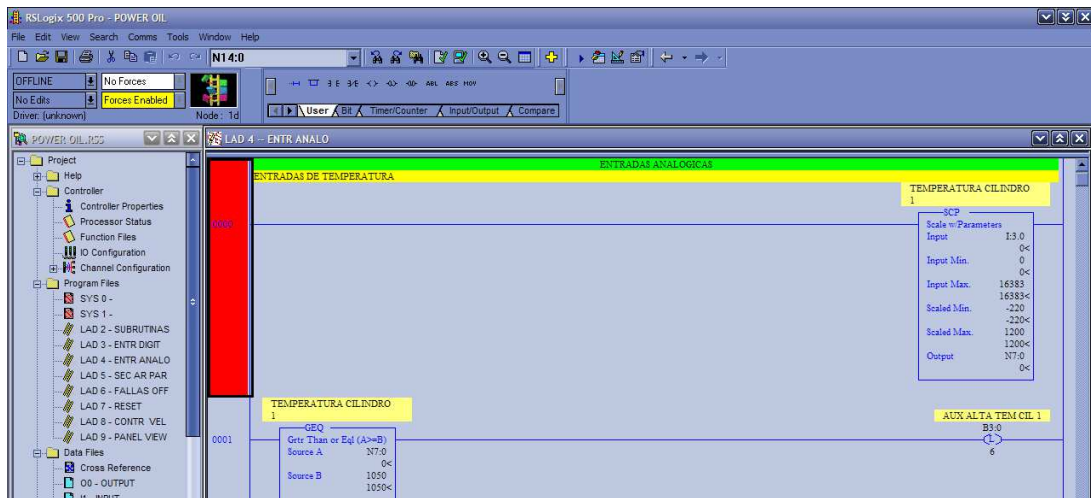


Figura 58: Pantalla del Archivo de Entradas Analógicas.

En el siguiente archivo del programa se destina a SEC ARRANQ, que significa secuencia de arranque de la unidad. En este archivo se procede a la programación de la secuencia de arranque, utilizando las entradas, salidas digitales o analógicas que en los archivos anteriores que se hayan utilizado, **Fig 59.**

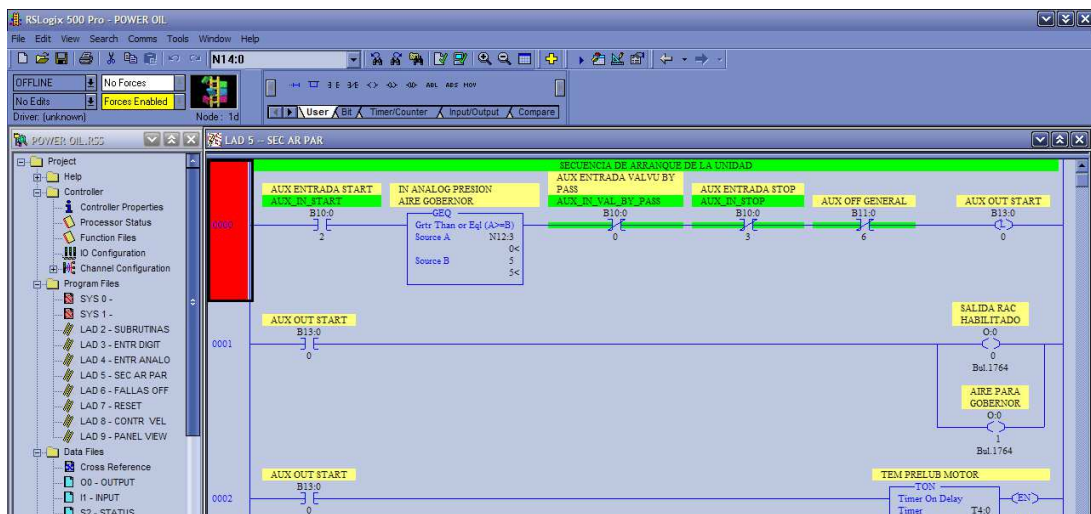


Figura 59: Pantalla del Archivo de la Secuencia de Arranque.

Al crear un archivo de programa llamado FALLAS OFF, se encarga de agrupar las diversas fallas ocasionadas por vibración y conteo de arranques, altas temperaturas, presiones bajas, altas presiones y velocidad, paradas de emergencia y en una sola llamada Off General. Las cuales al ocurrir cualquiera de ellas manda a la maquina a Shutdown y de esta forma se protegiera la unidad de cualquier daño, **Fig 60.**

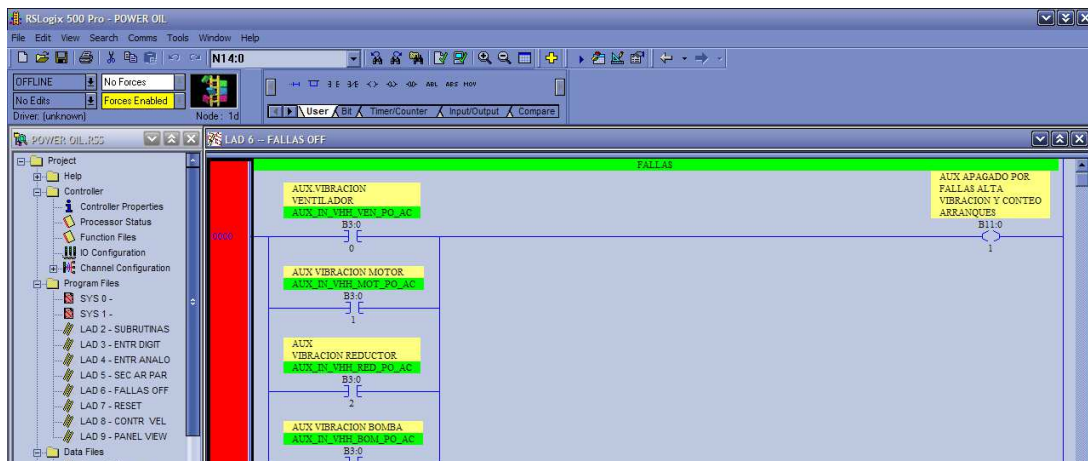


Figura 60: Pantalla del Archivo Fallas

Al crear un archivo de programa RESET, se realiza el desenclavamiento de todas las fallas producidas en la unidad por alguna de las variables de control o protección.

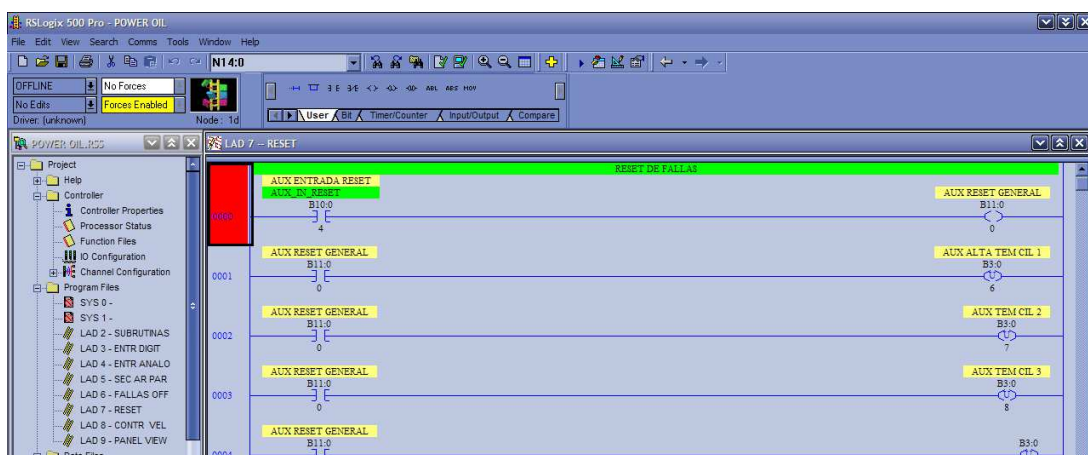


Figura 61: Pantalla del Archivo de Reset

El archivo de programa CONTR VEL, que significa control de velocidad **Fig. 62.** Este archivo de programa se encarga del control de velocidad en dos formas:

- **Primera:** Un control manual de velocidad es decir pulsando los botones subir y bajar velocidad del tablero de control.
- **Segunda:** Es un control automático de la velocidad.

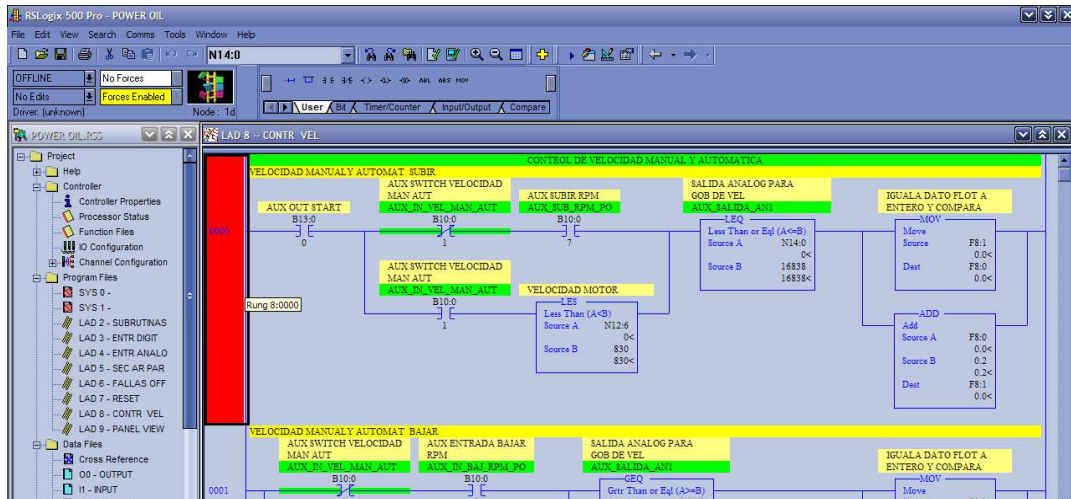


Figura 62: Pantalla del Archivo de Control de Velocidad

Es necesario tener un archivo llamado PANEL VIEW, que al realizar un direccionamiento de las variables, fallas y estado de la máquina en el que se encuentra operando, se puede utilizar este archivo como un intermediario entre la información de todo el programa y la información que va a ser mostrada en el panel view el cual va a estar en contacto con el operador.

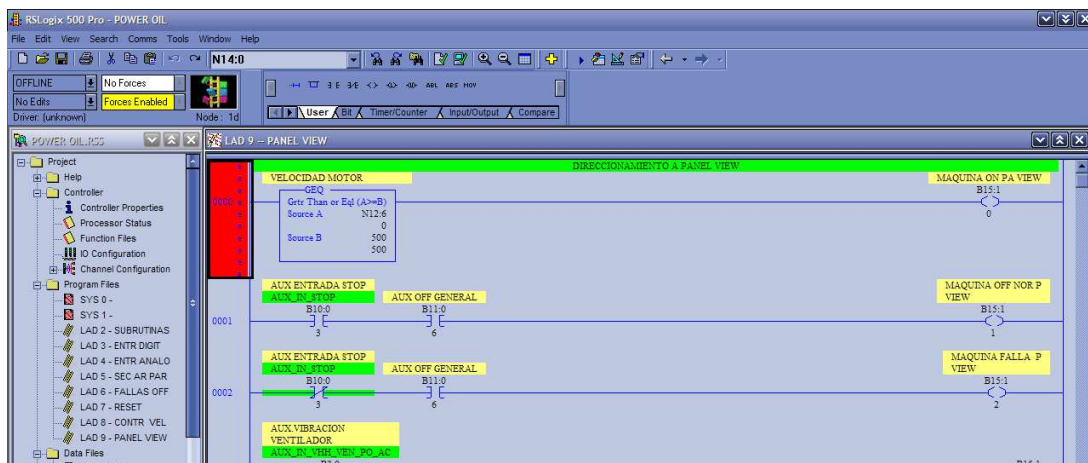


Figura 63: Pantalla del Archivo PanelView

4.3.3 Informe de la programación ladder

Al realizar una programación en el software RSLogix 500 se accede a un informe mediante el menú File>Report preview, el cual se aprecia todos los archivos del programa realizado en lenguaje ladder, ver **Anexo N° 7**. En este caso obtendremos toda la programación de control subdivididas en las pantallas de:

- LAD 2 SUBRRUTINAS
- LAD 3 ENTR DIGIT
- LAD 4 ENTR ANALO
- LAD 5 SEC AR PAR
- LAD 6 FALLAS OF
- LAD 7 RESET
- LAD 8 CONTR VEL
- LAD 9 PANEL VIEW

4.3.3.1 Direcciones y símbolos del programa

Otra opción que brinda el software RSLogix es obtener la base de datos de direcciones/símbolos en el cuál se aprecia: la dirección, símbolo, alcance y descripción de las diferentes entradas o salidas utilizadas en la programación, ver **Anexo N°8**.

4.3.4 Comunicación del PLC Micrologix y un PC

Para la comunicación del software RSLogix con el autómatas será necesario obtener otro software llamado RSLinx que se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos utilizando el Microsoft NT de Windows. Este proporciona el acceso de los controladores Allen-Bradley a una gran variedad de aplicaciones de Rockwell Software, tales como RSLogix 500.

Para la configuración del software RSLinx que se encarga en la comunicación entre software RSLogix y el autómata MicroLogix 1500 se realiza los siguientes pasos:

4.3.4.1 Ingreso al sistema

El primer paso es abrir el programa el cuál lo se encuentra en el escritorio o en el menú de programa de inicio de Windows, **Fig. 64**.



Figura 64: Icono de Acceso RSLinx

Realizando doble clic sobre el acceso directo, se abre el programa con la siguiente ventana **Fig.65**.

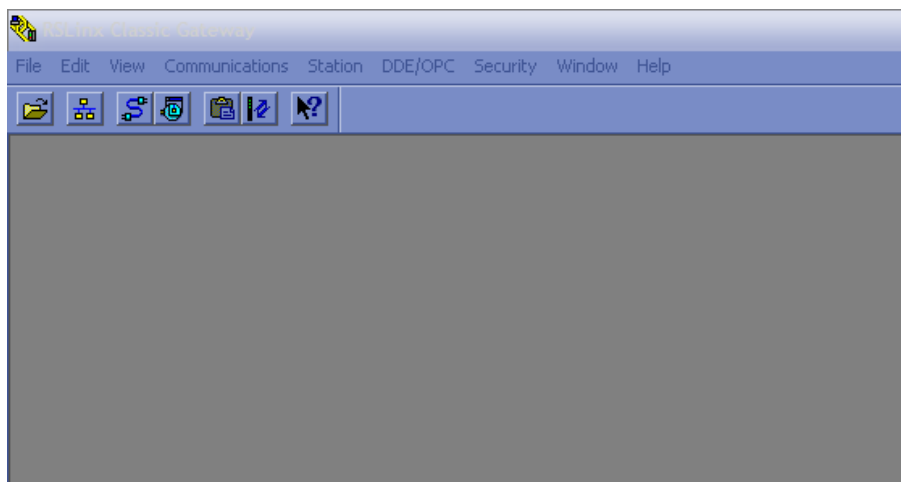


Figura 65: Ventana Principal RSLinx

Al abrir el programa, en el menú: Communications seleccionamos la opción Configure Drivers, que nos ayuda a configurar el tipo de driver que usaremos para la red existente como se ve en la **Fig.66**

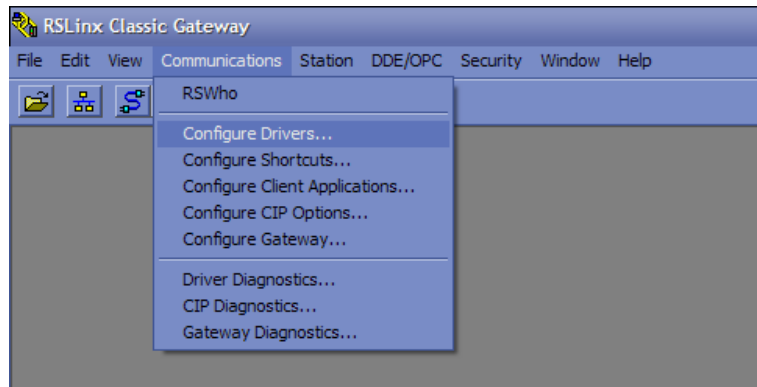


Figura 66: Configure Drive

En esta ventana presenta un menú para escoger el tipo de driver de comunicación, el cual al desplazarse de la ventana Available driver types, con el que se va a trabajar, en este caso se selecciona la conexión de Ethernet devices para luego hacer clic en Add New para crear la nueva conexión, **Fig.67**.

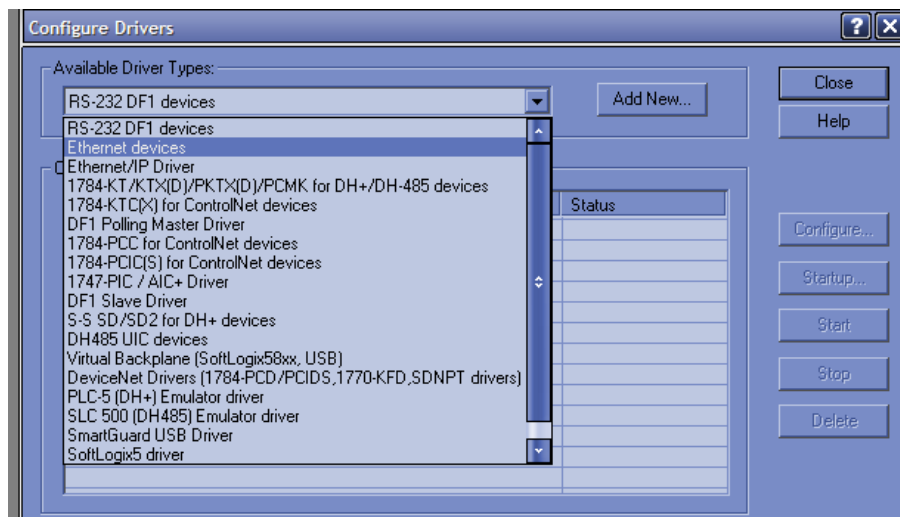


Figura 67: Elección del Controlador de Comunicación

Se presenta una nueva ventana el cual da la opción de cambiar el nombre o mantener el nombre asignado automáticamente, que depende del programador. Prosiguiendo a dar clic en OK **Fig. 68**.

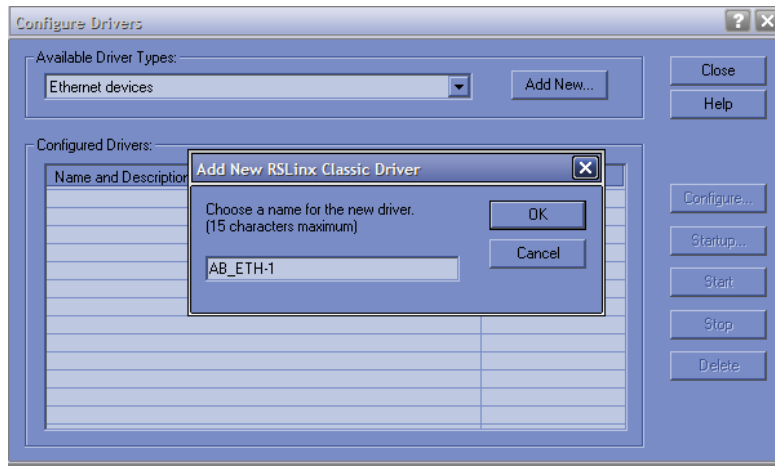


Figura 68: Nombre de Configuración del Drive de Comunicación

Una vez configurado el nombre, nos pide las direcciones IP de los elementos que forman la red. La red está formada únicamente por el módulo ENI (Ethernet Network Interface) ya que el ordenador personal está representado por el propio programa RSLinx. Se Ingresa la dirección IP del autómatas, **Fig. 69**.

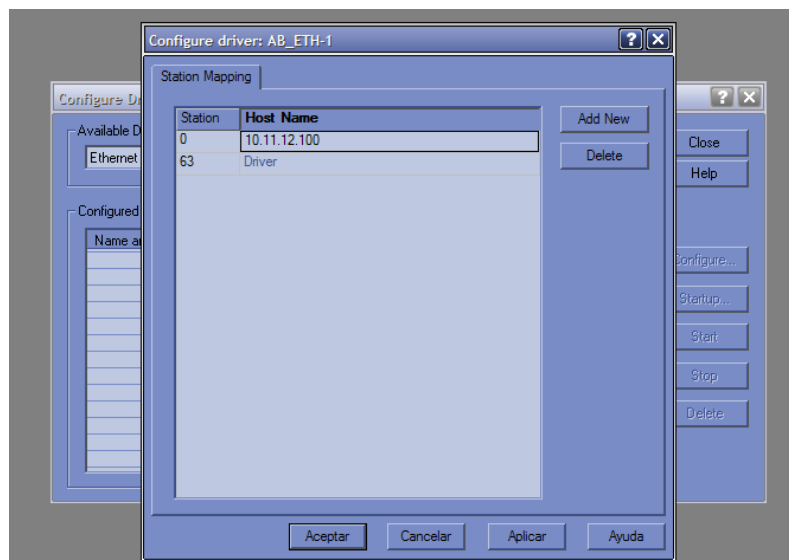


Figura 69: Dirección IP del Autómata

Y el controlador está configurado y funcionando (Running) como se muestra en la **Fig. 70**.

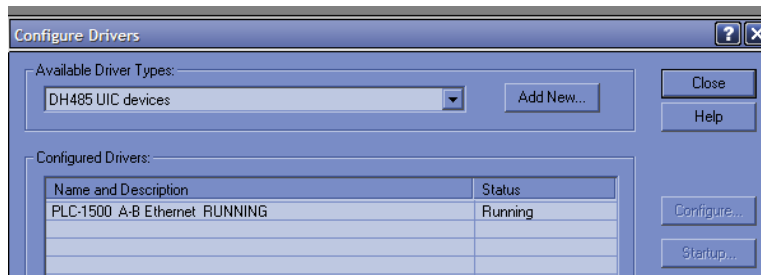


Figura 70: Controlador Configurado

En el menú Communications > opción RSWho dentro del programa RSLinx se muestra todas las estaciones disponibles/activas en las redes de comunicación. Desde esta aplicación se observa cada momento de la red que está funcionando, sus componentes y propiedades.

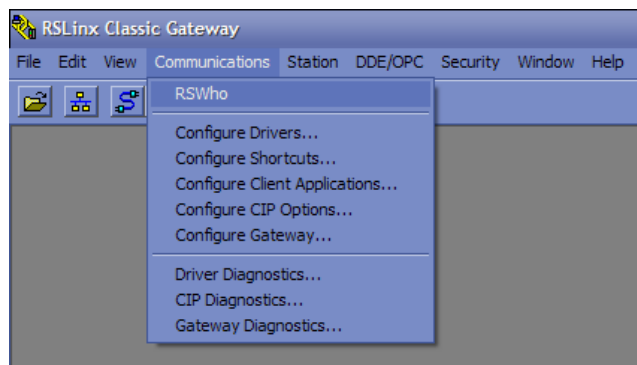


Figura 71: Diálogo del RSWho dentro de RSLinx

Una vez configurada la red en esta aplicación se observa el autómata activo y listo para ser utilizado. Como se muestra en la **Fig. 72**

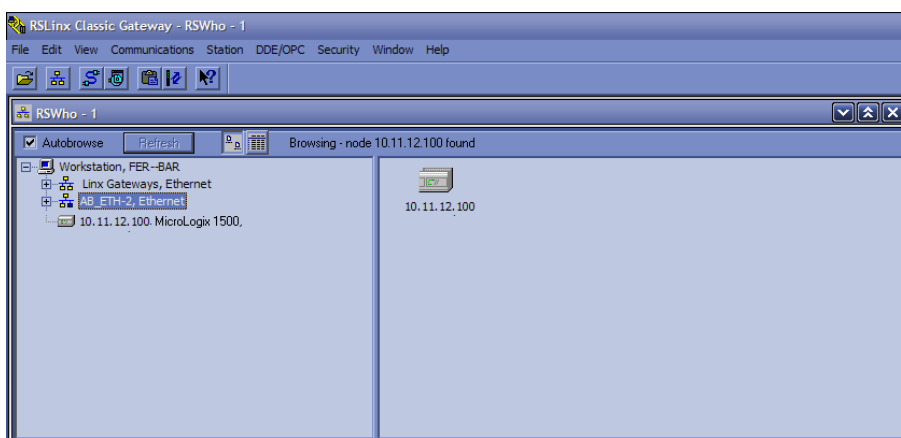


Figura 72: Autómata Configurado a Utilizar

4.3.5 Descarga del programa al controlador

Una vez que se ha realizado el programa, se ha verificado que no exista ningún error y hemos efectuado correctamente la configuración de la red de comunicación anteriormente anunciada (con el RSLinx) se procede a descargar el programa de la computadora al procesador del controlador MicroLogix 1500. Del icono desplegable OFFLINE de la barra de herramientas se desplaza opciones para la descarga, se selecciona Download como se muestra en la **Fig.73**.

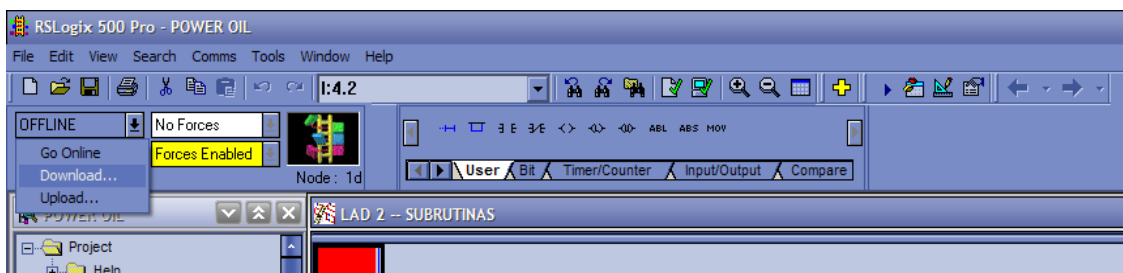


Figura 73: Descarga del Programa al PLC

Seleccionado la opción download se debe aceptar las diversas ventanas de diálogo que sirven para revisión de alguna nota y la confirmación de descarga al PLC MicroLogix como se muestran en las **Fig. 74,75 76 y 77**:

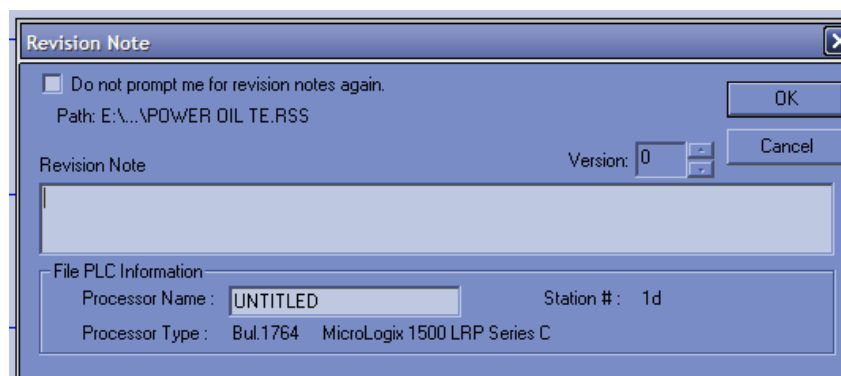


Figura 74: Revisión de Nota

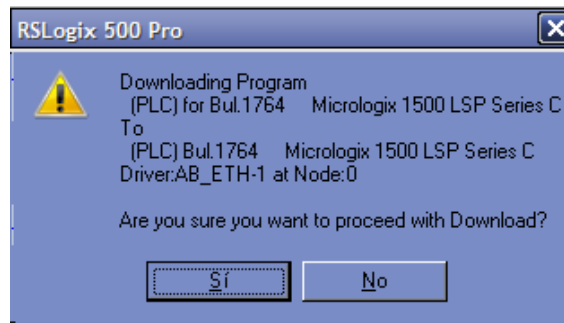


Figura 75: Confirmación de Descarga

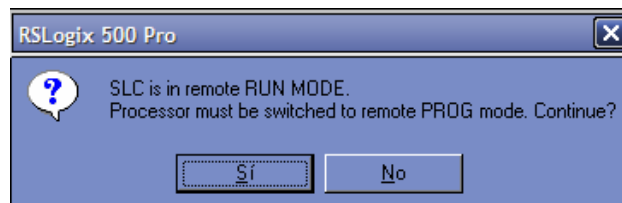


Figura 76: Confirmación de RUN MODE

Al confirmar SLC está en remote RUN MODE procede al transferir el programa **Fig. 77** para lo cual se esperara un tiempo de descarga.

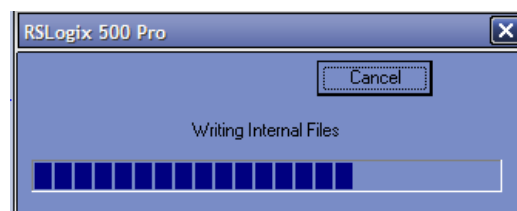


Figura 77: Transferencia del Programa

Una vez concluida la transferencia se muestra la confirmación del cambio a modo Run **Fig. 78**.

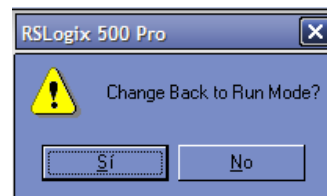


Figura 78: Confirmación RUN MODE

Una vez aceptado el RUN MODE el programa preguntara si desea ir a modo on-line (conectado) **Fig. 79**.

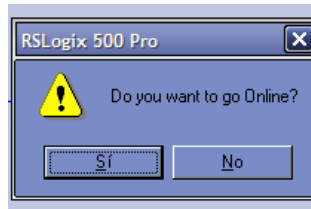


Figura 79: Confirmación de modo On-line

El programa se encuentra corriendo en el autómata y monitoreado en línea por el programa RSLogix 500, Fig. 80.

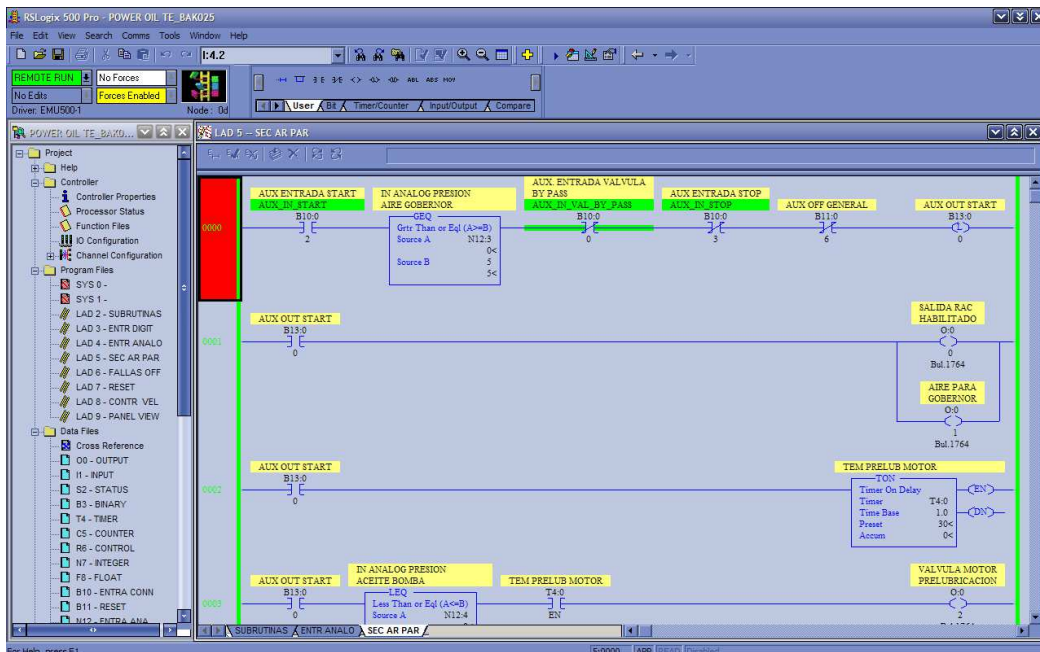


Figura 80: RUN MODE del programa

Para desconectar el enlace entre el ordenador personal y el autómata se deben seguir los siguientes pasos, siempre teniendo en cuenta que una vez desconectado el PLC este sigue funcionando con el programa descargado.

En la barra de estado REMOTE RUN se realiza clic en icono desplegable y presenta opciones donde se selecciona Go Offline Fig.81.

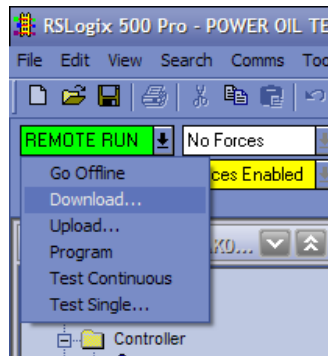


Figura 81: Desconexión del Computador y el Autómata

A continuación se presenta un diálogo para guardar cambios del programa realizado, de esta manera se puede salvar todos los archivos de datos (tablas de variables, salidas, temporizadores, etc.).

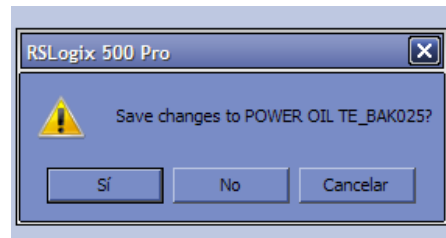


Figura 82: Ventana de Diálogo de Cambios en la Programación

4.4 Descripción del Interfaz Hombre-Máquina HMI

4.4.1 Descripción del software

La siguiente descripción de HMI (Interfaz Hombre-Máquina), indica de manera visual para facilitar al lector a comprender de manera rápida el modo de operación del sistema de adquisición de datos.

4.4.1.1 PanelBuilder32

PanelBuilder32 se ejecuta en el entorno Windows de Microsoft. El usuario debe estar familiarizado con las operaciones básicas con ventanas, tales como el uso de menús, cuadros de diálogo y barras de herramientas.

El software PanelBuilder32 le permite crear aplicaciones de panel de control para la línea estándar de terminales de operador PanelView. Dado que los terminales ofrecen opciones de comunicación flexibles, tiene la posibilidad de crear aplicaciones que se ejecuten en una diversidad de entornos de comunicación, entre los que se incluyen:

- Data Highway Plus
- E/S remotas
- DH-485
- RS-232 (DH-485)
- DeviceNet
- ControlNet
- EtherNet/IP
- DF1
- Modbus y otros protocolos disponibles

Luego que los sensores adquieren la señal, son obtenidos por una valija de adquisición de datos y acoplados para ser reconocidos por el computador, este

sistema sensa los valores del puerto serial RS-232 con una visualización en tiempo real.

Conexiones RS-232 (protocolo DF1)

Las versiones DF1 de los terminales PanelView tienen un puerto de comunicacion DF1 (Full Duplex) y un puerto RS-232 para transferencia de archivos e impresión. El puerto DF1 del PanelView es un conector RS-232 macho de 9 pines, como se puede apreciar en la **Fig. 83**

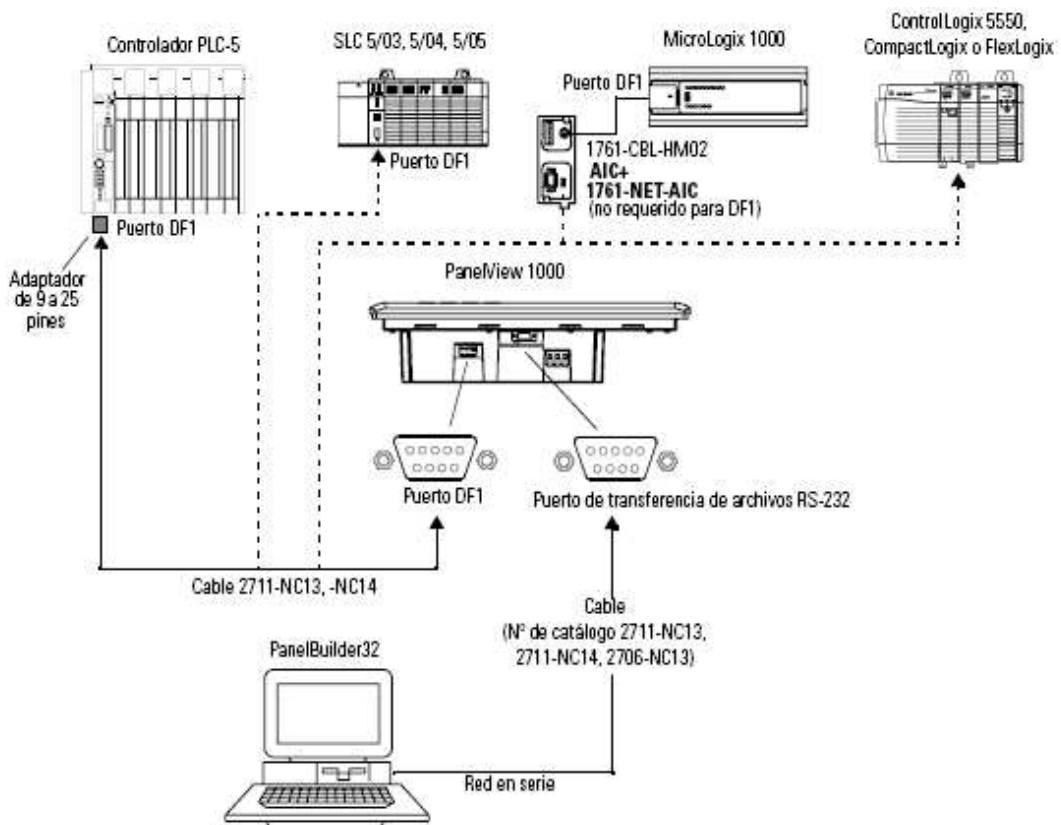


Figura 83: Conexiones RS-232 (Protocolo DF1)

4.4.2 Ingreso al sistema

En el escritorio o menú de windows se encuentra el icono PanelBuilder32, **Fig. 84**



Figura 84: Icono de Acceso al Programa PanelBuilder32

Haciendo doble clic sobre el acceso directo, se abre la siguiente ventana **Fig. 85**. En la cual se puede elegir: Crear una nueva aplicación, abrir una aplicación existente en examinar (Browse), actualizar una aplicación para un terminal PanelView o descargar una aplicación para un terminal PanelView. Al seleccionar el requerido procedemos hacer clic en OK.

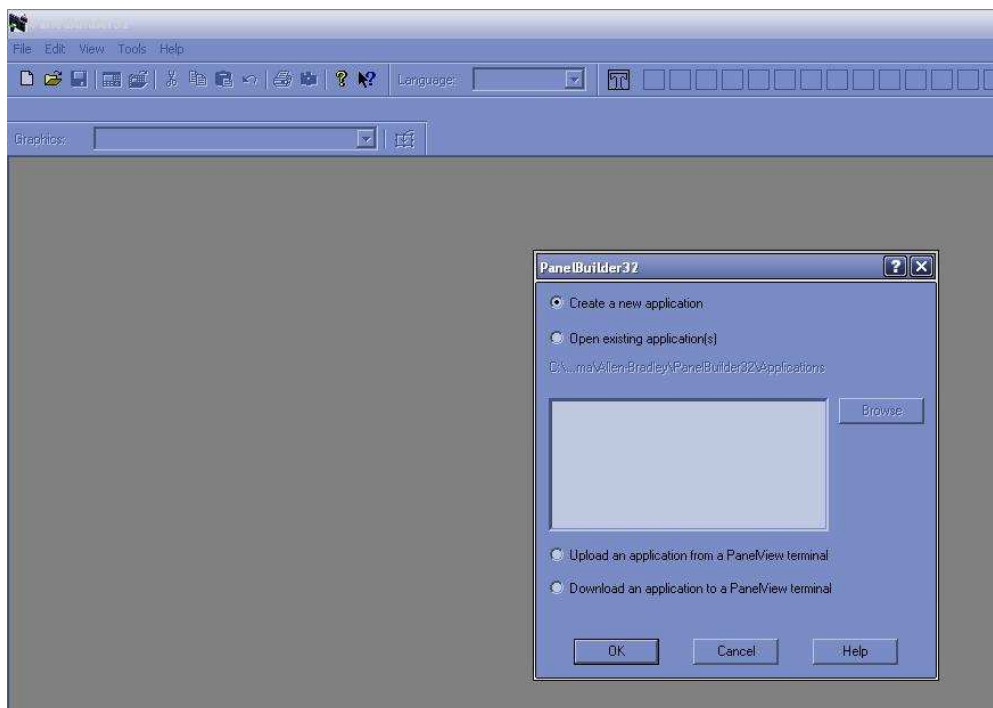


Figura 85: Selección de Archivo de PanelBuilder32

El cual muestra la siguiente pantalla en la que se nombra a la aplicación que vamos a realizar, **Fig. 86**, en Application Name (necesario) y se escoge, tipo y protocolo, el cual habrá seleccionado el terminal 2711-M3A18L1PV300Microkey,

FRN 4.10-4.xx (automáticamente) habilitando el icono de OK que se activa mediante un clic.

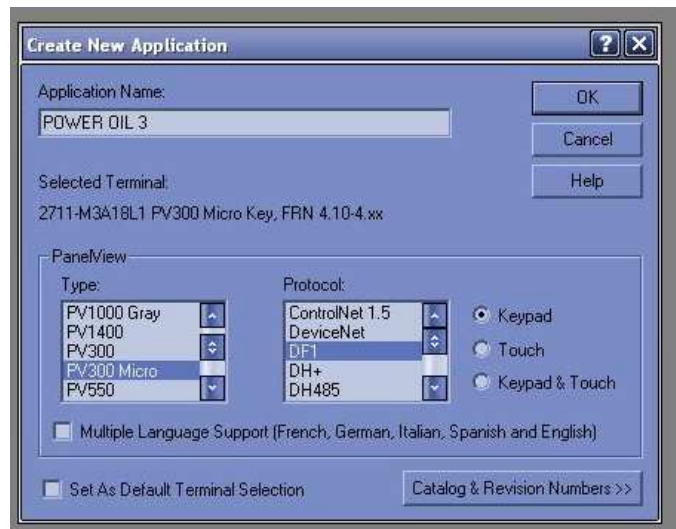


Figura 86: Selección del Tipo y Protocolo

Este habilita la ventana PanelBuilder32 donde se encuentra 9 barras de herramientas **Fig. 87**. Estas permiten el acceso a los comandos y cuadros de diálogo mediante el simple clic de un botón.

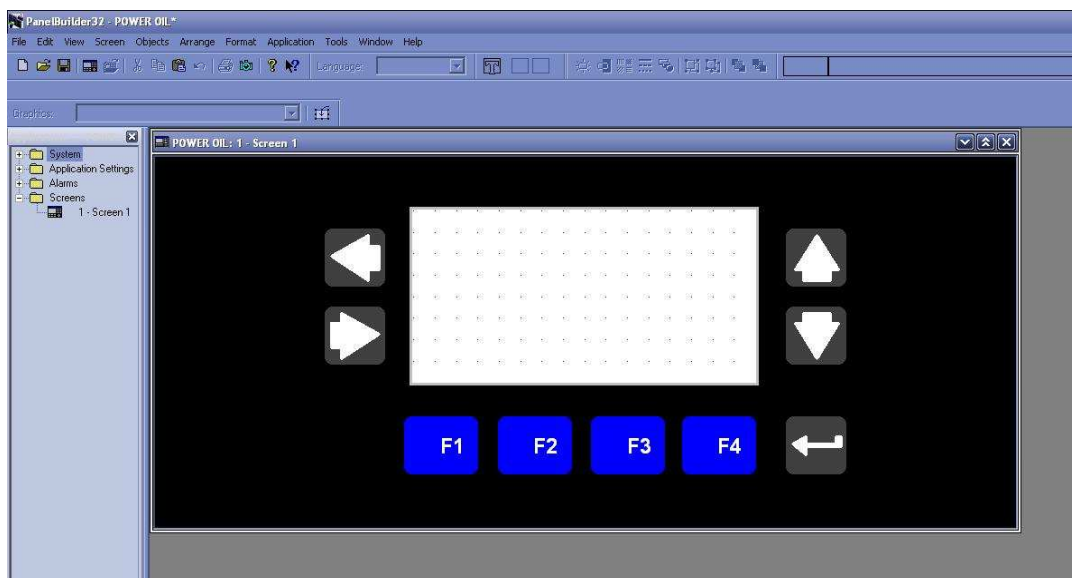


Figura 87: Pantalla Principal del Programa PanelBuilder32

4.4.2.1 Barras principales del programa PanelBuilder32

- **Barra de herramientas estandar:** Proporciona herramientas de edición y administración de pantallas y archivos.
- **Barra de herramientas de estado:** Permite el acceso a los estados de un objeto de lista o de estado múltiple, al modo de texto interior y al modo de gráfico interior. También presenta iconos de zoom para ampliar o reducir la vista de una pantalla.
- **Barra de herramientas de texto interior:** Permite introducir, dar formato y alinear texto en objetos. Desde esta barra de herramientas puede editar texto en el cuadro de texto, hacer clic en la flecha hacia abajo para abrir el cuadro de diálogo de edición de texto o abrir el editor de texto de la aplicación. También se pueden insertar variables en el texto.
- **Barra de herramientas de formato:** Permite aplicar a los objetos características de formato tales como tipo de línea, patrón de relleno, forma, video inverso y parpadeo. También incluye iconos para agrupar, desagrupar o apilar objetos.
- **Barra de herramientas de gráficos:** Proporciona una lista de mapas de bits o símbolos ISA que se pueden insertar en un objeto. También es posible importar gráficos mediante esta barra de herramientas.
- **Caja de herramientas de símbolos ISA:** Contiene símbolos ISA estándar. Puede colocar directamente esos objetos en una pantalla, o bien insertarlos en un objeto (en modo de gráfico interior).
- **Caja de herramientas:** Contiene objetos (controles, visualizadores, alarmas, gráficos) que se pueden colocar en una pantalla. El acceso a estos objetos también se obtiene desde el menú **Objetos**.
- **Barra de herramientas de idioma:** Activa otro idioma para la aplicación. La aplicación puede almacenar texto en 5 idiomas si está habilitada la compatibilidad con varios idiomas.

4.4.3 Diseño del visualizador

El control de las diferentes variables que van a ser observadas por el operador deben tener accesibilidad, visibilidad para lo cual se ha procedido a diseñar mediante el uso de los diferentes comandos de la barra de herramientas anteriormente mencionadas. Con la finalidad de organizar las cifras de las variables que se encuentran en la unidad.

4.4.4 Informe del Visualizador

Al realizar un diseño en el software PanelBuilder32 se accede a un informe mediante el menú File>Reports> Screen list y Screen Images, el cual se aprecia el diseño del visualizador. En este caso obtendremos imágenes de la presentación de pantallas como se han diseñado ver **Anexo N° 9**.

4.4.5 Comunicación con el PanelView 300 micro

Para la transferencia de aplicaciones a través de una red de comunicación, deberá configurar el driver de RSLinx apropiado en la computadora.

El cual se lo realiza de la misma manera como lo hicimos con la comunicación del autómatas, solo que esta vez utilizaremos el driver RS 232 DF1.

4.4.6 Descarga al PanelView 300 micro

Una vez realizado el diseño del PanelView, direccionado todas las variables al visualizador y configurada la red con la que se va a conectar al PanelView, procedemos a descargar el archivo de aplicaciones para lo que se dirige a File>Download para empezar con la descarga **Fig. 88**.

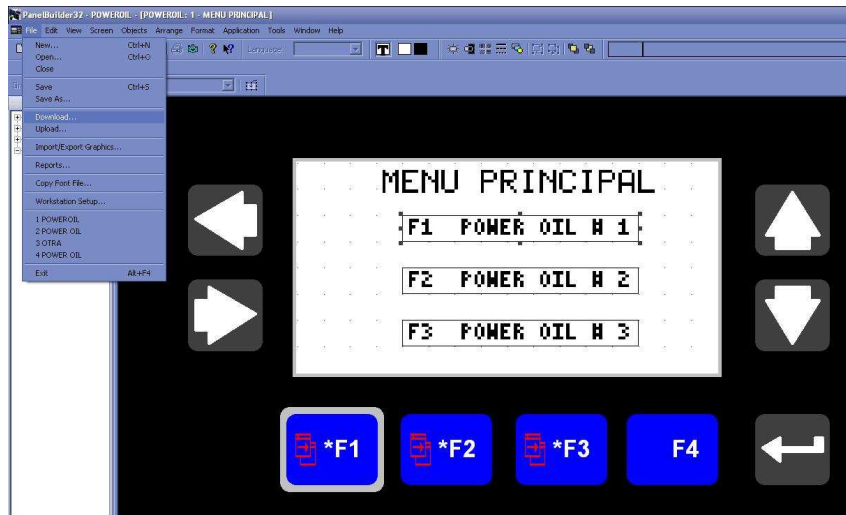


Figura 88: Descarga del Programa al Visualizador

En la pantalla que aparece se puede seleccionar el tipo de drivers que se ha configurado que es el de una red de RSLinx **Fig. 89**.

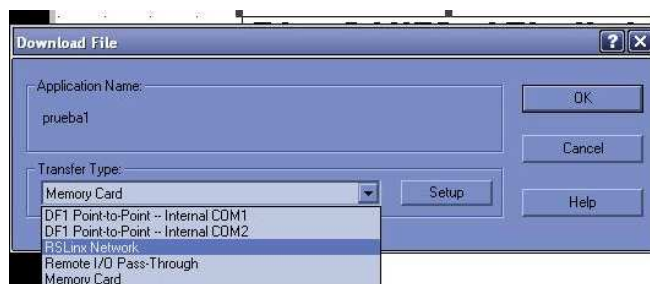


Figura 89: Tipo de Transferencia

Como muestra la **Fig. 90** seleccionamos el driver configurado donde muestra el nombre del PanelView 300 micro y hacemos clic en Ok.

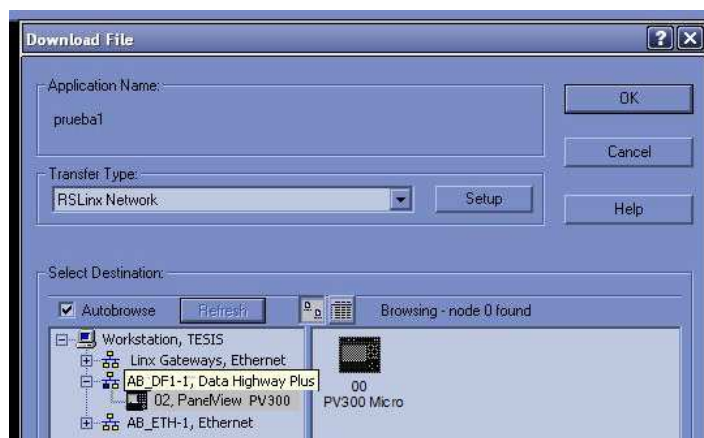


Figura 90: Destino Seleccionado de Descarga

Una vez seleccionado el driver se abre un cuadro de diálogo desde el que se puede monitorear el progreso de la transferencia **Fig. 91**.

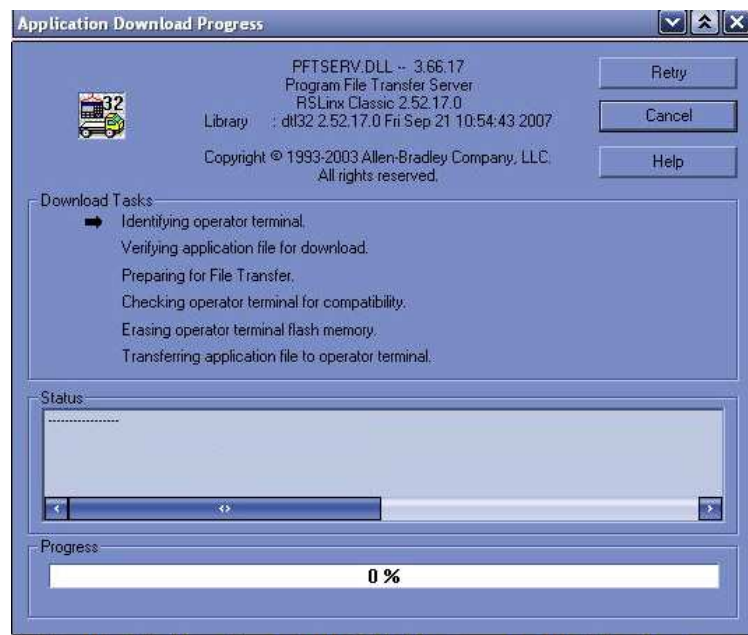


Figura 91: Transferencia del Programa al PanelView 300micro

Una vez llegado al 100% de la transferencia y cerrado el cuadro de diálogo el PanelView se encuentra listo para ser conectado con el autómata que también estará cargado con la programación.

4.5 Diseño de las Conexiones

4.5.1 Requerimientos de protección para el sistema de control

4.5.1.1 Tablero

El tablero a instalar tendrá que cumplir con las especificaciones de protección a los equipos que se alojaran ahí, es necesario revisar sus especificaciones mecánicas, donde generalmente encontraremos grados IP (Ingress protection), NEMA (National Electrical Manufacturers Association) o IEC (Internacional Electrotechnical Commission).

El tablero debe estar diseñado especialmente para su uso en interiores y exteriores, protegiendo a los equipos contra salpicaduras, filtraciones, caída y condensación de agua, debe tener ejes para conductos para conexión sellada contra agua a la entrada de los conductos y medios de montaje externos a la cavidad para el equipo y resistentes a la corrosión características que deberán cumplir según la norma NEMA 4x.

El tablero deberá cumplir con las especificaciones, ver **Anexo N° 10**, para las instalaciones óptimas en su interior.

4.5.1.2 Instalaciones Eléctricas

Para la protección de las líneas eléctricas que lleva la señal de los sensores ubicadas en la unidad de bombeo, **ver Anexo 11**, hasta el tablero de control donde se encuentra el PLC se requiere un sistema de protección que mantenga su eficiencia, en las condiciones normales de uso y con el mantenimiento apropiado, durante todo el tiempo que trabaja la unidad.

Teniendo en cuenta los puntos esenciales de protección básica y en caso de fallas o defectos, que no alteren la señales transmitidas en el sistema de control. Los puntos que se debe tomar en cuenta son:

- Entorno no conductor
- Separación simple
- Blindaje de protección
- Aislamiento complementario
- Protección por compensación de potencial.

Una protección externa que cumple los puntos anteriormente mencionados es una instalación de tubería.

4.5.2 Diagramas de lazo de entradas y salidas digitales

Los diagramas de lazo de entradas y salidas digitales, sirven para una buena instalación, guía de los técnicos que realizarán la instalación y el normal desempeño del programa. Ver **Anexo N° 12**.

4.5.3 Diagramas de lazo de entradas y salidas analógicas

Los diagramas de lazo de entradas y salidas analógicas, que se encontraran en el programa servirán de guía para la instalación y el desempeño normal del programa. Ver **Anexo N° 13**.

4.6 Pruebas y Simulación del Sistema de Control

Luego de terminado el diseño del programa en el software se realizaron pruebas de alarmas y seteo de sensores, estas pruebas consistieron en lo siguiente:

Chequeo de las diferentes señales enviadas al PLC, realizando una simulación de cada una, esto se logra mediante la conexión del PLC demo que se encuentra en el laboratorio de instrumentación del distrito amazónico en Lago Agrio. **Fig. 92**.



Figura 92: Instalación PLC DEMO

Los sensores de temperatura para el motor vienen calibrados de fábrica para activarse a las temperaturas correspondientes.

El sensor de velocidad o Pickup, que envía una señal de voltaje con variación de frecuencia, no necesita calibración, la intensidad de la señal que este produce depende de la cercanía que tenga con el volante del motor (rueda dentada) pero el módulo/tarjeta que sensa esta señal si necesita ser calibrado, para esto se utilizó un generador de frecuencia, existente en el laboratorio como se ve en la **Fig. 93**.



Figura 93: Generador de Frecuencia

Finalmente se ha efectuado una prueba final del programa manteniendo en RUN MODE al programa diseñado, probando con activaciones y desactivaciones de las entradas analógicas como digitales para comprobar que el sistema apague por falla y se visualice en el PanelView 300 micro que es parte del demo **Fig.94**



Figura 94: Simulación del Programa en RUN MODE

CAPÍTULO V

5. INVERSIONES

5.1 Costos del Estudio

5.1.1 Costos del diseño del programa

Como el costo de diseño se interpreta el valor de la elaboración del estudio esto implica la recopilación de información, investigación del proceso, elaboración de planos, consultas de internet, suministros de oficina, etc.

TABLA N° XIII COSTOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Elaboración del estudio	1	2400.00
	TOTAL(\$)	2400,00

5.1.2 Costos de instalación

A continuación se detalla el costo de los sistemas eléctrico y protección, esto implica equipos, accesorios, y materiales que se encuentran en el mercado con valores actuales, mediante empresas que suministran a PETROECUADOR.

Costos de Equipos

TABLA N° XIV COSTOS DE EQUIPOS

ITEM	CONCEPTO	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MICROLOGIX 1500 BASE 24V DC IN /RELAY OUT / AC POWER	1	1.164,00	1.164,00
2	MICROLOGIX 1500 RS-232 PROCESSOR UNIT	1	764,00	764,00
3	ETHERNET INTERFACE FOR MICROLOGIX AND COMPACTLOGIX	1	1.520,00	1.520,00
4	8 CHANNEL ANALOG VOLTAGE/CURRENT INPUT MODULE	1	1.484,00	1.484,00
5	2 CHANNEL ANALOG CURRENT/VOLTAGE OUTPUT MODULE	1	928,00	928,00
6	6 CHANNEL THERMOCOUPLE/MV INPUT MODULE	2	1.884,00	1.884,00
7	RIGHT END CAP/TERMINATOR	1	62,00	62,00
8	MICROLOGIX 150 MEMORY MODULE AND/OR REAL TIME CLOCK	1	270,00	270,00
9	PANELVIEW 300 MICRO TERMINALS	1	855,00	855,00
10	PC TO MICROLOGIX COMMS. CABLE	1	35,00	35,00
11	AIC TO MICROLOGIX COMMS. CABLE	1	35,00	35,00
12	BATERÍA 12V	2	500,00	1.000,00
13	TERMOCUPLA	8	200,00	1.600,00
14	TERMOCUPLA CON POZO	3	400,00	1.200,00
15	INTERRUPTOR DE VIBRACIÓN	4	700,00	2.800,00
16	ELECTROVÁLVULAS 3 VÍAS UNIVERSAL 24VDC	5	220,00	1.100,00
17	CONVERTIDOR DE CORRIENTE A PRESION(4-20MA/6-30PSI)	2	800,00	1.600,00
18	TRANSMISOR DE PRESIÓN 0-100 PSI	4	1.250,00	5.000,00
19	TRANSMISOR DE PRESIÓN 0-300 PSI	2	1.250,00	2.500,00
20	TRANSMISOR DE PRESIÓN 0-5000 PSI	1	1.250,00	1.250,00
21	LITIUM BATTERY	1	96,00	96,00
22	CARGADOR DE BATERÍAS 24 VDC/50AH	1	4.500,00	4.500,00
			TOTAL(\$)	30.483,00
			IVA 12%	3.658,00
			TOTAL(\$)	34.141,00

Costos de material eléctrico

TABLA N° XV COSTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

ITEM	CONCEPTO	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MÓDULO DE RELÉS AUXILIARES	3	80,00	240,00
2	MÓDULO INTERRUPTOR	4	18,00	72,00
3	BLOQUE BASE PARA INTERRUPTOR	4	5,00	20,00
4	MÓDULO FUSIBLE	5	5,00	75,00
5	BLOQUE BASE PARA MÓDULO FUSIBLE	5	3,00	15,00
6	MÓDULO DE PROTECCIÓN TRANSITORIOS	3	60,00	180,00
7	BASE PARA MODULO DE TRANSITORIOS	10	9,00	90,00
8	FUSIBLES FINOS DE 5 X 20mm	3	0,50	1,50
9	FUSIBLES FINOS DE 5 X 20mm	3	0,50	1,50
10	FUSIBLES FINOS DE 5 X 20mm	3	0,50	1,50
11	SELECTOR DE DOS POSICIONES STAY PUT	5	35,00	175,00
12	SELECTOR DOS POSICIONES STAY PUT CON RESORTE	2	40,00	80,00
13	PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA	1	65,00	65,00
14	PULSADOR (FLUSH PUSHBUTTON / NEGRO)	4	23,00	92,00
15	PULSADOR (FLUSH PUSHBUTTON / VERDE)	2	23,00	46,00
16	PULSADOR (FLUSH PUSHBUTTON / ROJO)	2	23,00	46,00
17	LÁMPARA PILOTO VERDE TIPO LED	1	45,00	45,00
18	LÁMPARA PILOTO ROJA TIPO LED	1	45,00	45,00
19	LÁMPARA PILOTO AMARILLA TIPO LED	1	45,00	45,00
20	BULBOS TIPO LED ROJO	2	8,00	16,00
21	BULBOS TIPO LED VERDE	2	8,00	16,00
22	BULBOS TIPO LED AMARILLO	2	8,00	16,00
23	INTERUPTORES DE PROTECCION MINIATURA PARA RIEL DIN 35 MM	5	20,00	100,00
24	INTERUPTORES DE PROTECCION MINIATURA PARA RIEL DIN 35 MM	8	20,00	160,00
25	CABLE EXTENSIÓN DE TERMUCUPLA TIPO J MULTIPAR	300FT	8,00	2.400,00
26	CABLE DE TERMOCUPLA TIPO J (ROLLOS DE 1000 FT)	300	1,00	300,00
27	CABLE DE CONTROL MULTICONDUCTOR (ROLLOS DE 1000 FT)	1000FT	1,00	1.000,00
28	CABLE MULTICONDUCTOR (ROLLO DE 500 FT)	150FT	10,00	1.500,00
29	CABLE MULTIFILAR 16 AWG	1000FT	1,00	1.000,00
30	CABLE DE CONTROL MULTICONDUCTOR (ROLLO DE 500 FT)	150 FT	16,00	2.400,00
			TOTAL(\$)	10.243,50
			IVA 12%	1.229,22
			TOTAL	11.472,72

Costos de materiales de protección

TABLA N°XVI COSTOS DE INSTALACIONES DE PROTECCIÓN

ITEM	CONCEPTO	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TABLERO DE CONTROL	1	3.000,00	3.000,00
2	CAÑERÍA DE 1/4 DE ACERO INOXIDABLE	1000FT	1,60	1.600,00
3	CAÑERÍA DE 3/8 DE ACERO INOXIDABLE	700FT	1,75	1.225,00
4	CONECTOR 1/4 NPT X 1/4 TUBING	30	10,00	300,00
5	CONECTOR CODO 1/4 NPT X 1/4 TUBING	25	20,00	500,00
6	CONECTOR 1/4 NPT X 3/8 TUBING	15	18,00	270,00
7	CONECTOR CODO 3/8 TUBING X 1/4 NPT	10	20,00	200,00
8	TEE CONECTOR DE 3/8 TUBING X 1/4 NPT	10	45,00	450,00
9	UNIÓN RECTA 1/4 X 1/4 TUBING	40	10,00	400,00
10	UNIÓN RECTA 3/8 X 3/8 TUBING	20	20,00	400,00
11	CONECTOR DE PARED DE 1/4 TUBING X 1/4 NPT	15	49,00	735,00
12	CONECTOR DE 1/4 X 1/4 NPT HEMBRA	7	19,00	133,00
13	UNIÓN TEE DE 3/8 X 3/8 TUBING	10	50,00	500,00
14	UNIÓN CODO 3/8 NPT X 3/8 TUBING	7	35,00	245,00
15	CONECTOR 1/2 NPT X 1/4 TUBING	15	35,00	525,00
16	UNIÓN REDUCTORA	15	22,00	330,00
17	VÁLVULA DE AGUJA	10	100,00	1.000,00
18	HEXNIPLE (HN)/ 1/4"NPT	15	14,00	210,00
19	HEXNIPLE (HN)/ 1/2"NPT	15	19,00	285,00
20	CLOSE NIPLE (CN)/ 1/4" NPT	8	15,00	120,00
21	CLOSE NIPLE (CN)/ 1/2" NPT	8	16,00	128,00
22	DUCTOS PLÁSTICOS PARA CABLE CON TAPA	7M	5,00	35,00
23	DUCTOS PLÁSTICOS PARA CABLE CON TAPA	3M	3,00	9,00
24	CONDUIT RÍGIDO 1/2" , RIDGID STEEL (10 FT)	35	10,00	350,00
25	CONDUIT RÍGIDO DE 3/4", RIDGID STEEL (10 FT)	8	13,00	104,00
26	CONDUIT RÍGIDO DE 1", RIDGID STEEL (10 FT)	35	18,00	630,00
27	CAJA DE CONEXIÓN TIPO GUAL 1"	10	40,00	400,00
28	CAJA DE CONEXIÓN TIPO GUAT 1"	3	45,00	135,00
29	CAJA DE CONEXIÓN TIPO GUAX 1"	3	50,00	150,00
30	CAJA DE CONEXIÓN TIPO X DE 1"	35	30,00	1.050,00
31	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LL DE 1"	15	24,00	360,00
32	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LR DE 1"	20	24,00	480,00
33	CAJA DE CONEXIÓN TIPO T DE 1"	20	27,00	540,00
34	CAJA DE CONEXIÓN TIPO X DE 3/4"	2	24,00	48,00
35	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LL DE 3/4"	3	18,00	54,00
36	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LR DE 3/4"	3	18,00	54,00
37	CAJA DE CONEXIÓN TIPO T DE 3/4"	3	22,00	66,00
38	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LL DE 1/2"	10	14,00	140,00

39	CAJA DE CONEXIÓN TIPO LR DE 1/2"	10	14,00	140,00	
40	CAJA DE CONEXIÓN TIPO T DE 1/2"	10	16,00	160,00	
41	TAPA PARA CAJAS SERIES MARK 9	35	3,00	105,00	
42	TAPA PARA CAJAS SERIES MARK 9	15	4,00	60,00	
43	TAPA PARA CAJAS SERIES MARK 9	35	5,00	175,00	
44	CAUCHO NEOPRENO PARA TAPAS SERIES MARK 9	35	0,40	14,00	
45	CAUCHO NEOPRENO PARA TAPAS SERIES MARK 9	15	0,60	9,00	
46	CAUCHO NEOPRENO PARA TAPAS SERIES MARK 9	70	0,70	49,00	
47	UNIVERSAL PARA CONDUIT RÍGIDO DE 1"	30	25,00	750,00	
48	UNIVERSAL PARA CONDUIT RÍGIDO DE 3/4"	8	20,00	160,00	
49	UNIVERSAL PARA CONDUIT RÍGIDO DE 1/2"	30	16,00	480,00	
50	CODO UNIVERSAL PARA CONDUIT RÍGIDO DE 1/2"	8	18,00	144,00	
51	CODO UNIVERSAL PARA CONDUIT RÍGIDO DE 3/4"	3	22,00	66,00	
52	BUSHING DE 1 "A 1/2"	30	3,00	90,00	
53	BUSHING DE 1 "A 3/4"	8	4,00	32,00	
54	BUSHING DE 3/4 A 1/2"	8	3,00	24,00	
55	COUPLING FLEXIBLE EC	10	160,00	1.600,00	
56	COUPLING FLEXIBLE EC	7	120,00	840,00	
57	SELLOS PARA CONDUIT RÍGIDO 1"	8	24,00	192,00	
58	SELLO PARA CONDUIT RÍGIDO 3/4"	3	20,00	60,00	
59	SELLO PARA CONDUIT RÍGIDO 1/2"	15	16,00	240,00	
60	NIPLA CORRIDA PARA CONDUIT RÍGIDO 1"X1 1/2"	15	2,00	30,00	
61	NIPLA CORRIDA PARA CONDUIT RÍGIDO 3/4"X1 3/8"	3	1,50	4,50	
62	NIPLA CORRIDA PARA CONDUIT RÍGIDO 1/2X1 1/8"	15	1,00	15,00	
63	TAPON MACHO DE 1/2" SIN CABEZA	30	1,50	45,00	
64	TAPON MACHO DE 3/4" SIN CABEZA	8	1,75	14,00	
65	TAPON MACHO DE 1" SIN CABEZA	30	2,00	60,00	
66	GRAMPA DE ACERO PARA CONDUIT RÍGIDO	70	0,80	56,00	
67	GRAMPA DE ACERO PARA CONDUIT RÍGIDO	15	1,00	15,00	
68	GRAMPA DE ACERO PARA CONDUIT RÍGIDO	70	1,30	91,00	
				TOTAL(\$)	22.881,50
				IVA 12%	2.745,78
				TOTAL(\$)	25.627,28

Costos de Accesorios

TABLA N° XVII COSTOS DE ACCESORIOS

ITEM	CONCEPTO	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	BORNAS DE PASO (WAGO)	200	0,80	160,00
2	PLACA FINAL E INTERMEDIA	35	0,40	14,00
3	SEPARADOR SOBRESALIENTE	35	0,40	14,00
4	TOPE FINAL DE PLÁSTICO	15	1,00	15,00
5	PUENTE CONTIGUO	70	0,80	56,00
6	PUENTE ALTERNADO	15	1,20	18,00
7	BORNA TOMA TIERRA	35	4,00	140,00
8	NUMERACIÓN PARA BORNAS DE PASO	10PK	5,00	50,00
9	NUMERACIÓN PARA BORNAS DE PASO	2PK	4,00	8,00
10	RIEL DIN DE 35 mm	3M	20,00	60,00
11	MARCACIÓN DE CABLES	7	1,00	7,00
12	ROTULAS PARA INTERRUPTORES Y PULSADORES	1	200,00	200,00
			TOTAL(\$)	742,00
			IVA 12%	89,04
			TOTAL(\$)	831,04

Costo mano de obra

TABLA N° XVII COSTO MANO DE OBRA

Descripción	Horas/Hombre	Costo Horario	Costo Total
Ingeniero	270	6,67	1.800,00
Ayudante	270	3	810,00
TOTAL(\$)			2.610,00

5.2 Costo total de inversión

TABLA N° XVIII CONSTO TOTAL DE INVERSIÓN

INVERSIÓN TOTAL					
	RUBROS	CANT	V. UNITARIO	V.TOTAL	
Costos Directos					73.851,00
	EQUIPOS/ HERRAMIENTAS			34.141,00	
	MATERIALES ELÉCTRICOS			11.472,72	
	MATERIALES PROTECCIÓN			25.627,28	
	MANO DE OBRA			2610,00	
	Ingeniero	1	1.800,00		
	Ayudante	1	810,00		
Costos Indirectos					8.000,00
	TRANSPORTE	3	200	600	
	COSTO INGENIERIL			7.400,00	
	Costo Diseño	1	5.000,00		
	Costo de Estudio	1	2.400,00		
	Utilidad		0,00		
	Costos Directos + Costos Indirectos			TOTAL	81.851,00

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Mediante este estudio se realizó la optimización del Sistema de Control de la unidad de bombeo, utilizando un Controlador Lógico Programable, MicroLogix 1500 y el software RSLogix, que mejora la rapidez de respuesta, facilidad de cambiar los niveles de seteo de protecciones y alarmas, el registro de todo evento, la posibilidad de contar con proyecciones y tendencias, la alternativa de visualizar en tiempo real los valores de las variables del proceso.
- El actual sistema de control con que funciona la unidad de bombeo Power Oil 3 es de tipo neumático, cuyos componentes ya no se encuentran en el mercado o a su vez están obsoletos, lo que implica costos elevados de mantenimiento y tiempo de reparación.
- Se estableció un plan de mejoramiento para el Control de la Unidad de tipo electrónico compuesto por: la programación del autómata y el diseño de su instalación basado en un PLC
- Se ha diseñado un Sistema de Control, basado en un Controlador Lógico Programable MicroLogix 1500, usando el lenguaje LADDER con una flexibilidad de configuración y programación en la puesta en servicio, que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del control del proceso.
- La simulación del control de la unidad mediante el RUN MODE del software RSLogix, ha constituido una poderosa herramienta para el diseño, análisis y optimización del sistema de control.

6.2 Recomendaciones

- Al aplicar el nuevo sistema de control, con los elementos que se utilizan se requerirá realizar un mantenimiento mínimo, ocupará menor espacio en el tablero y flexibilidad de configuración y programación, lo que permitirá implementarse en otras locaciones donde existan unidades de bombeo.
- Existen varias alternativas para la programación, se recomienda utilizar PLC MICROLOGIX 1500 debido a su facilidad de comunicación con cualquier HMI, manejo de archivos de proyecto, organización de la lógica, organización de los tags, amplitud de entradas y salidas mediante utilización de tarjetas específicas.
- La información recopilada en las simulaciones del software en RUN MODE ayudará a verificar, controlar la secuencia del programa y a la capacitación de nuevas tecnologías a los técnicos.
- La óptima selección de los equipos, sensores y medios de transmisión permitirán que el sistema de control sea más eficiente.
- El control de procesos es parte del progreso industrial, por lo cual se debe de tomar en cuenta en la preparación académica de los estudiantes en las distintas áreas de control.

BIBLIOGRAFÍA

- **ALLEN B.S.**, Date Highway Links Control Equipment of Any Number Different Manufactures. New York: Rockwell Software, 1995
- **ALBERT, CL.** Fundamentals of Industrial Control, New York :Instrument Society off America,1992, pp 85.
- **DORF, Richard.** Sistemas Modernos de Control. 2^{da}ed. México: Addison Wesley Iberoamericana, 1989
- **GRANTHAM, Vicent.** Sistemas de Control Moderno Análisis y Diseño. México: Limusa, 1998
- **ORTÍZ, Hugo.** Sistemas de Control Industrial. curso para personal de petróleos. Quito: ESPE, 2001
- **RSLogix 500.** Programming For The SLC 500 and Micrologix Familias. New York: Rockwell Software, 1999.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **ORTÍZ, Hugo.** Sistemas de Control Industrial. curso para personal de petróleo. Quito: ESPE, 2001.pp2.
- [2] **QUANTUM, IEC.** Automation Training. New York: Schneider Electric, 2002. pp11.
- [3] **ALBERT, CL.** Fundamentals of Industrial Control. New York :Instrument Society off America,1992, pp 85.
- [4] **ALBERT, CL.** Fundamentals of Industrial Control. New York: Instrument Society of America,1992, pp 86.

LINKOGRAFÍA

Descripción Hardware MicroLogix 1500

www.ab.com/micrologix

2009-07-23

Instrumentación Neumática

www.amot.com

2009-04-16

Información Petroecuador

www.petroecuador.com.ec

2009-03-20

Tipos de Sensores

www.sapiensman.com

2009-03-23

Automatización

www.tecnologiasdelaautomatizacion.blogspot.com

2009-03-23

Sistemas de Bombeo de Petróleo

www.monografias.com

2009-08-15