



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO
DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO DE CONTROL EN LAS LÍNEAS ENTERRADAS DE CRUDO-
DIESEL EN EL TRAMO POMPEYA- SHUSHUFINDI PARA LA EMPRESA
REPSOL ECUADOR S.A.**

AUTOR: SANDRO FRANCISCO BALAREZO GALLARDO

DIRECTOR: ING. VICENTE HALLO

CODIRECTOR: ING. ERNESTO SANTILLAN

LATACUNGA

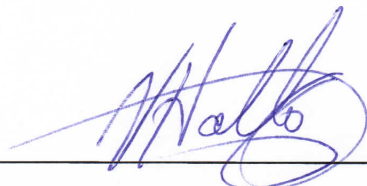
2015

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo titulado ***“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL EN LAS LÍNEAS ENTERRADAS DE CRUDO-DIESEL EN EL TRAMO POMPEYA- SHUSHUFINDI PARA LA EMPRESA REPSOL ECUADOR S.A.”*** realizado por el señor **SANDRO FRANCISCO BALAREZO GALLARDO**; ha sido revisado en su totalidad y cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **SANDRO FRANCISCO BALAREZO GALLARDO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de noviembre de 2015



Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR

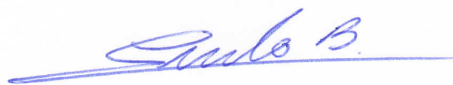
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SANDRO FRANCISCO BALAREZO GALLARDO**, con cedula de identidad N° 0503593691, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL EN LAS LÍNEAS ENTERRADAS DE CRUDO-DIESEL EN EL TRAMO POMPEYA- SHUSHUFINDI PARA LA EMPRESA REPSOL ECUADOR S.A.”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, En virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 30 de noviembre de 2015



Sandro Francisco Balarezo Gallardo

C.C.:0503593691

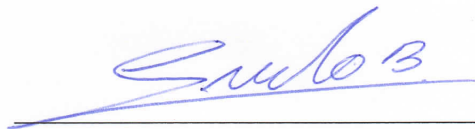


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **SANDRO FRANCISCO BALAREZO GALLARDO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL EN LAS LÍNEAS ENTERRADAS DE CRUDO-DIESEL EN EL TRAMO POMPEYA- SHUSHUFINDI PARA LA EMPRESA REPSOL ECUADOR S.A.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Latacunga, 30 de noviembre de 2015


Sandro Francisco Balarezo Gallardo
C.C.:0503593691

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mis padres **Francisco Balarezo** y **Verónica Gallardo**, a mi hermana **Galilea Balarezo** quienes han estado conmigo en cada paso de mi vida, es por ustedes y para ustedes que me he dedicado para cumplir este objetivo, también lo dedico a mis abuelitos, mis tíos, mis tías, mis primos y en especial a mi abuelito **Salvador Balarezo** que ha sido ejemplo de fuerza y sacrificio.

El camino aun es largo pero con el apoyo de mi familia y fe en Dios superare todos los obstáculos personales y académicos.

Sandro Balarezo

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por darme la salud y la vida para cumplir este gran objetivo en mi vida, a mis padres por estar a mi lado en todos los momentos de soledad y desesperación cuando más los he necesitado, en especial a mi madre por ayudarme a elegir esta grandiosa carrera universitaria *“Lo que soy es por ti mamá”*.

Un especial agradecimiento a **Alex Pazmiño, Iván Almeida, David Mejía, Jaime Narváez, Roberth Manguia, Guillermo Medrano** y a todo el personal de los departamentos de **Mantenimiento Estático e Instrumentos de REPSOL Bloque 16**.

Por ultimo pero no menos importante agradezco a **Jhoana Villacis** por tu compañía y sabios consejos durante mi vida universitaria, sin tu apoyo no lo hubiera logrado, a mi tío **Guillermo Peralta** por apoyarme cuando más lo necesite.

Sandro Balarezo

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
PRESENTACIÓN	xvi

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Repsol ecuado	1
1.3. Resistividad del suelo	3
1.4. Corrosión	5
1.5. Control de corrosión	8
1.6. Protección catódica por anodos galvanicos	10
1.7. Protección catódica por corriente impresa	10
1.8. NACE SP0169.....	11
1.9. Criterio de protección	12
1.10. Transformadores rectificadores en la proteccion catodica.....	15
1.11. Interruptores de protección catódica	16
1.12. Técnicas de inspección en tuberías enterradas	17
1.13. Controlador lógico programable.....	21
1.14. Scada interface hombre maquina hmi	22

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO	23
2.1. Análisis de los requerimientos del sistema de monitoreo y control	23
2.2. Caracterización de los equipos de protección catódica existentes.	24
2.3. Selección de alternativas del sistema de monitoreo y control.	26
2.4. Diseño y construcción del sistema de monitoreo y control	34

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO	56
3.1. Calculo de dimensiones del tablero eléctrico.	56
3.2. Selección de cables y protecciones del sistema.	57
3.3. Distribución de elementos en el tablero eléctrico.	59
3.4. Implementación del sistema de monitoreo y control remoto.....	60
3.5. Programación plc.	65
3.6. Desarrollo hmi.	67
3.7. Tecnología de la construcción	69

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y VALIDACIÓN	78
4.1. Pruebas de funcionamiento.	78
4.2. Comparación de gráficas.	84
4.3. Corrección de funcionamiento sistema de control.	86
4.4. Validación de hipótesis.	87

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones.	89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
---	-----------

ANEXOS92

ANEXO A: Conexiones Externas.

ANEXO B: Conexiones Internas.

ANEXO C: Tablero Eléctrico.

ANEXO D: Entradas Analógicas PLC.

ANEXO E: Salidas Analógicas PLC.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Agresividad del suelo en función de la resistividad	3
Tabla 2: Agresividad del Suelo en Función del Potencial Rédox.....	4
Tabla 3: Normas de uso general recubrimientos.	9
Tabla 4: Potenciales con distintos electrodos.	13
Tabla 5: Características equipos PCM.	17
Tabla 6: Características equipos DCVG.....	19
Tabla 7: Interruptores usados en protección catódica.	25
Tabla 8: Cotización alternativa 1.	28
Tabla 9: Cotización alternativa 2.	30
Tabla 10: Cotización alternativa 3.	31
Tabla 11: Selección de alternativa sistema de monitoreo y control.	33
Tabla 12: Raking de valoración.	33
Tabla 13: Datos rectificador Wayne Broyles de 2.3 KVA	34
Tabla 14: Consumo Circuito de Acondicionamiento y Sincro.....	38
Tabla 15: Medidas Elementos del Sistema.	56
Tabla 16: Selección de Cables.....	57
Tabla 17: Calculo del Área Requerida por los Cables.....	59
Tabla 18: Diagrama de obtención de materia prima.....	70
Tabla 19: Operaciones Tecnológicas.	70
Tabla 20: Máquinas y Equipos.....	71
Tabla 21: Herramientas y Accesorios	72
Tabla 22: Operaciones Tecnológicas	72
Tabla 23: Simbología del diagrama de procesos.	73
Tabla 24: Máquinas y Equipos.....	74
Tabla 25: Herramientas y Accesorios	75
Tabla 26: Operaciones Tecnológicas	75
Tabla 27: Operaciones de Montaje del Sistema.....	76
Tabla 28: Comparación Graficas de Potenciales.....	85
Tabla 29: Corrección Desfase en la Activación ON-OFF.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Determinación de la agresividad de suelos.	5
Figura 2: Dirección de corriente positiva en una pila seca.	6
Figura 3: Reacciones en la zona anódica y catódica.	7
Figura 4: Corrosión por aireación diferencial.	7
Figura 5: Tipos de Corrosión.	8
Figura 6: Protección catódica mediante ánodo galvánico	10
Figura 7: Sistema de protección catódica por corriente impresa.	11
Figura 8: Serie electroquímica del acero.	12
Figura 9: Electrodo de cobre y de calomelanos.	13
Figura 10: Medición de potenciales estructuras sumergidas.	14
Figura 11: Medición potencial tubería enterrada.	14
Figura 12: Transformador/rectificador	16
Figura 13: Interruptores de corriente	16
Figura 14: Equipo PCM: transmisor, receptor y marco-A.	17
Figura 15: Inspeccion CIPS.	20
Figura 16: Conexión de interruptores.	20
Figura 17: PLC Contrologix Allen Bradley.	21
Figura 18: Wonderware InTouch.	22
Figura 19: Requerimientos sistema de monitoreo y control.	24
Figura 20: Alternativa 1 National Instruments.	27
Figura 21: Alternativa 2 ICP DAS.	29
Figura 22: Alternativa 3 Contrologix Allen Bradley.	31
Figura 23: Diagrama de bloques sistema de monitoreo.	35
Figura 24: Diagrama de bloques sistema de control.	36
Figura 25: Diagrama de bloques sincronización hora PLC.	37
Figura 26: Diagrama de bloques del hardware.	37
Figura 27: Fuente AC/DC.	39
Figura 28: Fuente AC/DC.	40
Figura 29: Ruteado Fuente AC/DC.	41
Figura 30: Vista 3D Fuente AC/DC.	41

Figura 31: Fuente AC/DC.....	42
Figura 32: Acondicionamiento SHUNT ELÉCTRICO.....	43
Figura 33: Cálculo Amplificador Operacional Inversor.....	43
Figura 34: Amplificador Operacional Configuración Sumador.	44
Figura 35: Acondicionamiento AD693.....	46
Figura 36: Acondicionamiento Voltaje en Tubería Enterrada.....	47
Figura 37: Cálculos Divisor de Tensión.....	47
Figura 38: Acople de Impedancias AD693 y Divisor de Tensión.....	48
Figura 39: Acondicionamiento AD693.....	49
Figura 40: Circuito de Sincronización.....	50
Figura 41: Configuración de Opto acoplador 4N25.....	51
Figura 42: Acondicionamiento Salida PLC.....	52
Figura 43: Implementación del Circuito de Acond. y Sinc.....	53
Figura 44: Fuente Alimentación AC/DC.....	53
Figura 45: Fuente de Poder DC.....	54
Figura 46: Ruteado Pistas Circuito de Acond y Sinc.....	54
Figura 47: Vista 3D del Circuito de Acond y Sinc.....	55
Figura 48: Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.....	55
Figura 49: Graficas de Fusible, In e Ic.....	58
Figura 50: Breaker y Fusibles para Protección del Sistema.....	58
Figura 51: Medidas de la Canaleta Seleccionada.....	59
Figura 52: Tablero Eléctrico Nema3 IP64.....	60
Figura 53: Contra Fondo de Madera.....	61
Figura 54: Disposición de Elementos en Contra Fondo.....	61
Figura 55: Cableado Tablero Eléctrico.....	62
Figura 56: Soldadura Soportes Tablero Eléctrico.....	63
Figura 57: Orificios para Conectores TMCX y HUBS.....	64
Figura 58: Conectores TMCX y HUBS.....	64
Figura 59: Tendido de Cable en Bandeja Aérea SSFD.....	65
Figura 60: Crear Rutina de Programación.....	65
Figura 61: Configuración de Entrada Analógica.....	66
Figura 62: Entrada Analógica Pulsos de Sincronismo.....	66

	xiii
Figura 63: Generación de Pulsos ON-OFF.....	67
Figura 64: Creación del HMI.....	68
Figura 65: InTouch Maker.	68
Figura 66: HMI Protección Catódica.....	69
Figura 67: Obtención de materia prima.....	71
Figura 68: Construcción de la Fuente AC/DC.....	74
Figura 69: Construcción de la Fuente AC/DC.....	76
Figura 70: Diagrama de Montaje.....	77
Figura 71: Medición de Potenciales Poste a Poste.	78
Figura 72: Potenciales con RadioDetection EP PF 16 Crudo.....	79
Figura 73: Potenciales con RadioDetection EP PF 16 Diésel.....	80
Figura 74: Potenciales con RadioDetection EP PF 14 Crudo.....	80
Figura 75: Potenciales con RadioDetection EP PF 14 Diésel.....	81
Figura 76: Sistema de Monitoreo en la EP PF 14 Crudo.....	81
Figura 77: Sistema de Monitoreo en la EP PF 14 Diésel.....	82
Figura 78: Sistema de Monitoreo en la EP PF 16 Crudo.....	82
Figura 79: Sistema de Monitoreo en la EP PF 16 Diésel.....	83
Figura 80: Comprobación HMI.....	84

RESUMEN

En el proyecto que se presenta a continuación, se realiza un diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo y control remoto para la protección catódica de la empresa REPSOL ECUADOR S.A., el mismo que será ubicado en la estación de bombeo en SHUSHUFINDI. Con este sistema se podrá reducir los tiempos de viaje dentro del tiempo efectivo de trabajo evitando desplazamiento innecesario del personal de mantenimiento estático de la empresa encargado de los sistemas de protección catódica de toda la planta. A partir de los parámetros de sistemas de monitoreo y control existentes y la información proporcionada por el personal de mantenimiento estático de la empresa sobre protección catódica, se diseñó varios subsistemas como: sistema de monitoreo para la adquisición de datos, sistema de control encargado de la interrupción de corriente hacia la tubería de crudo y diésel enterradas, sistema de sincronización GPS y una interface hombre maquina (HMI) que estará ubicada en el sistema SCADA de la planta. El funcionamiento del sistema inicia con la adquisición del voltaje y amperaje suministrados por el rectificador de la protección catódica hacia las líneas de crudo diésel de 16 y 4 pulgadas respectivamente, dichos valores son representados en el SCADA de la planta desde donde se puede crear intervalos de pulsos para estudios CIPS o medición de potenciales sobre la tubería, con la utilización de un circuito de sincronización GPS externo el PLC puede estar en sincronismo con otros interruptores conectados a la misma tubería.

PALABRAS CLAVE:

- **PROTECCIÓN CATÓDICA**
- **REPSOL ECUADOR S.A.**
- **SISTEMA DE MONITOREO**
- **CONTROL REMOTO**
- **SINCRONIZACIÓN GPS**

ABSTRACT

In the project presented below, a design and implementation of a prototype system of remote monitoring and control for cathodic protection company REPSOL ECUADOR SA, the same that will be placed in the pumping station in Shushufindi it is performed. This system will reduce travel times within the effective working time avoiding unnecessary displacement of static maintenance staff of the company in charge of cathodic protection systems throughout the plant. Monitoring system for data acquisition, system control manager: From the parameters of existing monitoring systems and control and information provided by static maintenance staff of the company on cathodic protection, several sub-systems as designed interruption of power to the buried pipe oil and diesel, GPS timing system and human machine interface (HMI) to be located in the SCADA system of the plant. The operation of the system begins with the acquisition of voltage and amperage supplied by the rectifier cathodic protection to the lines of crude diesel 16 and 4 inches respectively, these values are represented in the SCADA plant from which you can create intervals CIPS pulses for studies or potential measurement on the pipe, with the use of an external GPS synchronization circuit the PLC being in synchronism with other switches connected to the same pipe.

KEYWORDS:

- **CATHODIC PROTECTION**
- **REPSOL ECUADOR S.A.**
- **SYSTEM MONITORING**
- **REMOTE CONTROL**
- **GPS SYNCHRONIZATION**

PRESENTACIÓN

Este proyecto consiste en el “Diseño de un sistema de monitoreo y control remoto de la protección catódica existente e implementación de un prototipo de control en las líneas enterradas de crudo-diésel en el tramo pompeya-shushufindi para la empresa REPSOL ECUADOR S.A.”

El Capítulo I, contiene información sobre sistemas de protección catódica, normas utilizadas para inspección indirecta de tuberías, interruptores de corriente DC, controladores lógicos programables y software SCADA.

El Capítulo II, analiza los requerimientos del sistema, selección de la alternativa más idónea, diseño de los subsistemas y construcción de los distintos circuitos que componen el sistema.

El Capítulo III, se implementa el circuito de adquisición de datos, circuito de sincronización, circuito de control, programación en el PLC AB y el diseño del HMI para el SCADA.

El Capítulo IV, se realizan las pruebas parciales y totales del sistema, validación de hipótesis y corrección de errores.

El Capítulo V, se muestran las conclusiones y recomendaciones del proyecto de titulación.

Se incluyen los respectivos anexos y referencias bibliográficas consultadas durante el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. ANTECEDENTES

La corrosión es la principal causa de fallas en tuberías alrededor del mundo. Cuando una tubería falla, ocasiona grandes impactos en términos de pérdidas de producción, daños a la propiedad, contaminación y riesgo a vidas humanas.

En la mayor parte de los sistemas acuosos, la reacción de corrosión se divide en una porción anódica y otra catódica, que se producen simultáneamente en puntos discretos sobre la superficie metálica. Se genera un flujo de electricidad entre las zonas anódicas y las zonas catódicas mediante celdas locales desarrolladas ya sean en una superficie metálica simple o entre metales distintos.

Este tipo de corrosión se conoce como corrosión metálica y su característica principal es la formación de una pila electroquímica. La presencia de humedad con sales disueltas y un diferencial de potencial eléctrico en la armadura generarán procesos intensos de corrosión.

1.2. REPSOL ECUADOR

Repsol es una compañía energética global cuyo principal objetivo es contribuir en la construcción de un modelo energético sostenible a largo plazo, a través del desarrollo de energías inteligentes, que beneficien el crecimiento económico de la sociedad y el bienestar de las personas.

Repsol está presente en Ecuador a través de sus actividades de Exploración y Producción de crudo y de GLP (Gas Licuado de Petróleo), bajo la premisa de ser una compañía que busca el bienestar de las personas y el desarrollo del futuro.

La presencia de Repsol en Ecuador data del año 2001 y sus operaciones de Exploración y Producción están centradas en los Bloques 16 y Tivacuno.

1.2.1. Exploración y Producción

Repsol Ecuador tiene contratos de prestación de servicios con la operación de los Bloques 16 y Tivacuno. En total suman una superficie neta de 752 Km².

Tanto las Facilidades de Producción del Norte (NPF) como las Facilidades de Producción del Sur (SPF) tienen todas las disposiciones que la técnica moderna aconseja para este tipo de infraestructura. El petróleo que se produce en el Bloque 16 y Bloque Tivacuno es transportado hasta Lago Agrio a través de un oleoducto subterráneo de 120 kilómetros de longitud con los más innovadores sistemas y estándares de seguridad.

a) Bloque 16:

Desde el año 2001, Repsol Ecuador opera el Bloque 16 junto con sus socios OPIC y Sinochem al haber asumido el 99% de las acciones de YPF, y mediante un acuerdo con la estatal Petroecuador. Este Bloque posee una característica fundamental, ya que es la operación de crudos pesados con mayor complejidad dentro de la industria petrolera del Ecuador.

b) Bloque Tivacuno:

El Consorcio del Bloque 16 tiene a su cargo la operación del Bloque Tivacuno desde el año 1992. Está ubicado al norte del Bloque 16, con una superficie de 7,000 hectáreas.

1.2.2. Hitos en Exploración y Producción

Durante 2011 la compañía ha operado con normalidad después de los nuevos contratos de servicios acordados con el Estado ecuatoriano. La participación de Repsol en los dos Bloques es del 55% y la concesión se alargará hasta 2018.

Los socios que participan en los dos Bloques de Ecuador son OPIC (31%) y Sinochem (14%).

1.3. RESISTIVIDAD DEL SUELO

La corrosión es la causa principal de fallas en tuberías enterradas, cuando una tubería falla ocasiona pérdidas a la empresa por impactos sobre la producción, daños al medio, contaminación, etc. Las tuberías sin un recubrimiento que son expuestas a la atmosfera o sumergidas en agua están expuestas a la corrosión.

La velocidad con que la corrosión afecta a la tubería está ligada a la resistividad del terreno en el que se encuentra, Tabla 1.

Tabla 1:

Agresividad del suelo en función de la resistividad

<i>Resistividad (ohm – m)</i>	<i>Grado de agresividad</i>
<10	Severo
10-100	Discreto
100-1000	Escaso
>1000	Nulo

Fuente: (Torres, 2008)

La resistividad del suelo depende de varios factores como las dimensiones de las partículas que lo componen, permeabilidad, porosidad, humedad y su contenido de iones. Por tanto la resistividad de un terreno no va ser la misma durante todo el año, esta puede variar con las condiciones climáticas, precipitaciones fluviales, actividades industriales, etc.

El pH del suelo es un factor que puede incrementar o disminuir la corrosión hacia las tuberías enterradas, es decir, si el suelo tiene un pH<5.5 son suelos muy ácidos y pueden ocasionar un incremento en la velocidad de corrosión

hacia el metal desprovisto, y un $\text{pH} > 8.5$ el grado de agresividad del suelo es prácticamente nulo y la tubería no sufriría daños.

En un medio anaerobio se realiza mediciones de potencial rédox y pH para determinar si el medio ayuda a la corrosión o no. Para la medición del potencial rédox se utiliza un electrodo de platino, estos datos son comparados con los de la Tabla 2 con lo cual se puede determinar la agresividad del suelo.

Tabla 2:

Agresividad del Suelo en Función del Potencial Rédox.

<i>Valor del potencial rédox en mV vs. Electrodo de hidrogeno</i>	<i>Grado de agresividad potencial (posibilidad de corrosión anaerobia)</i>
<100	Severa
100-200	Moderada
200-400	Escasa
>400	Nula

Fuente: (Torres, 2008)

Un suelo con potencial rédox de +200 mV es un ambiente adecuado para la corrosión, si en otro terreno se obtiene un valor del potencial rédox de + 400 mV quiere decir que no es favorable para la corrosión y no existe presencia de bacterias anaerobias, en la Figura 1 se encuentran los factores más importantes al momento de determinar la agresividad de un suelo.

		INDICE
Resistividad, ρ (Ω -cm)	> 12 000	0
	12 000 - 5 000	-1
	5 000 - 2 000	-2
	< 2 000	-4
Potencial rédox, E_{redox} (mV vs. enh)	> + 400	+2
	400 - 200	0
	200 - 0	-2
	< 0	-4
pH	> 5	0
	< 5	-1
Cloruros, Cl^- (mg/kg)	< 100	0
	100 - 1 000	-1
	> 1 000	-4
Sulfatos, SO_4^{2-} (mg/kg)	< 200	0
	200 - 300	-1
	> 300	-2
Sulfuros, S^{2-} (mg/kg)	0	0
	0 - 0.5	-2
	> 0.5	-4
<i>Características del suelo</i>		<i>Suma</i>
No agresivo		0
Débilmente agresivo		-1 a -8
Medianamente agresivo		-8 a -10
Sumamente agresivo		< -10

Figura 1: Determinación de la agresividad de suelos.

Fuente: (Torres, 2008)

1.4. CORROSIÓN

La corrosión es la disposición de los metales para volver a su estado original, es decir, al estado en el que se encuentran en la naturaleza. La corrosión es un proceso electroquímico en el cual se forma una pila con una corriente eléctrica que circula entre varias zonas de la superficie metálica, a estas zonas se las conoce con el nombre de ánodos y cátodos.

1.4.1. Definición de ánodo y cátodo

En una celda galvánica o electrolítica existen dos electros el ánodo y el cátodo los cuales están unidos mediante un electrolito.

El **ánodo** es el electrodo por el cual circula una corriente positiva hacia el electrolito, en cambio el **cátodo** es un electrodo por el cual circula una corriente negativa.

Generalmente, las siguientes reglas son consideradas validas:

- La oxidación es considerada como una reacción anódica y una reacción catódica es considerado como una reducción.

- b) Una pila seca (Figura 2) puede ser considerada como una celda galvánica, en la cual la corriente positiva externa fluye del polo (+) al polo (-), mientras que dentro de la celda la corriente positiva fluye del polo (-) al polo (+).

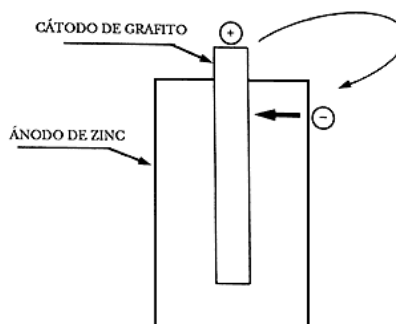


Figura 2: Dirección de corriente positiva en una pila seca.

Fuente: (Joan, 1995)

1.4.2. Corrosión electroquímica

Es un proceso espontáneo en el cual existe una zona anódica (la que se corroe), una zona catódica y un electrolito, tres elementos fundamentales para una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, favoreciendo la existencia de la corrosión.

En la naturaleza la corrosión más común es la de origen electroquímico y resulta de la existencia de varias zonas anódicas y catódicas sobre la superficie metálica, unidas por un electrolito que puede ser el suelo, agua o simplemente la humedad de la atmósfera que deberá ser mayor al 70%.

En la Figura 3 se puede observar las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas.

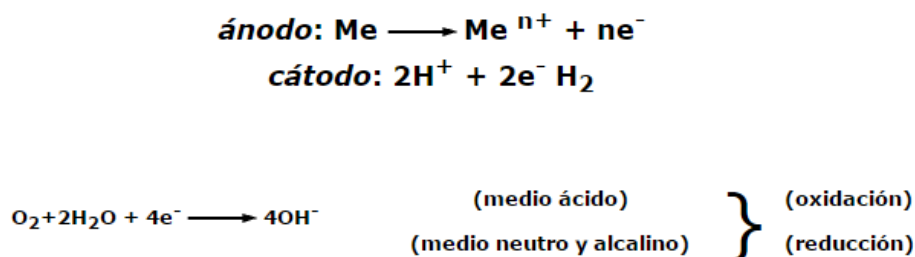


Figura 3: Reacciones en la zona anódica y catódica.

Fuente: (Joan, 1995)

1.4.3. Corrosión por aireación diferencial

La mayoría de electrolitos son considerados homogéneos pero existe una diferencia en la concentración de aire disuelto, esta causa de corrosión en los metales fue expuesta por Evans (llamada aireación diferencial o efecto Evans). Por ejemplo, una tubería metálica que se encuentre enterrada en un suelo con concentración diferente de oxígeno, la zona con menos oxígeno será la zona anódica y será la que sufra el efecto de la corrosión.

La corrosión en la tubería enterrada se verá agravada si atraviesa terrenos de naturaleza diferente, ya que pueden tener una concentración de oxígeno muy variable. En la Figura 4 se puede observar la creación de zonas anódicas y catódicas por diferencia de concentración de oxígeno en el suelo.

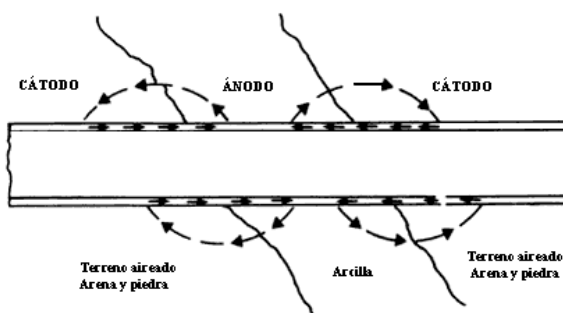


Figura 4: Corrosión por aireación diferencial.

Fuente: (Joan, 1995)

1.4.4. Corrosión galvánica

La corrosión galvánica existe cuando se unen dos metales diferentes, por ejemplo, existen situaciones en las que de un conducto principal de acero se derivan conductos de cobre o acero galvanizado, esto genera en el primer caso el ataque al acero y en el segundo caso se disuelve el Zinc (Zn), ejemplos que se pueden visualizar en la Figura 5 (a) y (b) respectivamente.

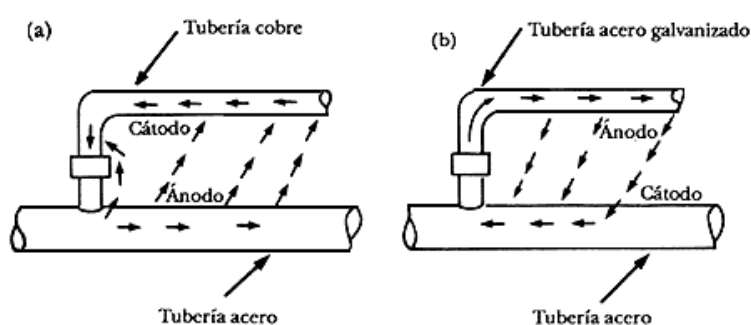


Figura 5: Tipos de Corrosión.

Fuente: (Joan, 1995)

1.5. CONTROL DE CORROSIÓN

1.5.1. Recubrimiento

Se define como recubrimiento a la mezcla de un pigmento en una solución de resina y aditivos, su composición debe ser capaz de formar una capa fina seca sobre el metal a ser protegido y actué como barrera protectora contra la corrosión. Generalmente se definen tres mecanismos de protección anticorrosiva los cuales son: barrera impermeable, pasivación y protección catódica.

a) Barrera impermeable

La resina crea enlaces con el pigmento de tal manera que forman una barrera impermeable que impide la propagación de los elementos de la corrosión al metal.

b) Pasivación

Se coloca un depósito de recubrimiento sobre el metal el cual impide el proceso anódico y catódico de la corrosión, en determinados casos actúa como material dieléctrico evitando el flujo de electrones y aislando el metal protegido.

c) Protección catódica

La protección catódica consta de un ánodo de sacrificio que generalmente es de Zinc instalados a una determinada distancia del metal a ser protegido, con un transformador rectificador se inyecta corriente continua al circuito entre la tubería y los ánodos de sacrificio, forzando a que el flujo de electrones sea desde los ánodos de sacrificio hacia la tubería. La protección catódica necesita de un recubrimiento externo en la tubería que puede ser pintura para complementar su protección y evitar la corrosión.

En la Tabla 3 se encuentran las normas de uso general de los recubrimientos para metales como la NACE y ANSI.

Tabla 3:

Normas de uso general recubrimientos.

TEMA	REFERENCIA
Aplicación de recubrimientos orgánicos gasoducto	ANSI/AWWA C 203 NACE Standard RP0375 Peabody's Control of Pipeline Corrosion ANSI/AWWA C 213 API RP 5L7 CSA Z245.20M
Espesor de película de los recubrimientos de tuberías	ASTM G 128
Inspección de recubrimientos de tuberías	NACE Standard RP0274

Fuente: (Torres, 2008)

1.6. PROTECCION CATÓDICA POR ANODOS GALVANICOS

En la Figura 6 se puede observar un sistema de protección catódica mediante ánodos galvánicos. Los ánodos galvánicos están hechos de aleaciones de magnesio, zinc o aluminio lo cual les permite tener la cualquier tipo de forma mediante los procesos de fundición, moldeo o extrusión.

Para proteger la tubería metálica enterrada en el suelo se la debe conectar a los ánodos de sacrificio mediante cables ya sea individualmente o en grupo, el flujo de electrones que fluye por el sistema está limitado por el voltaje desde el ánodo hacia la tubería, la resistividad del electrolito (suelo) y la resistencia total del circuito.

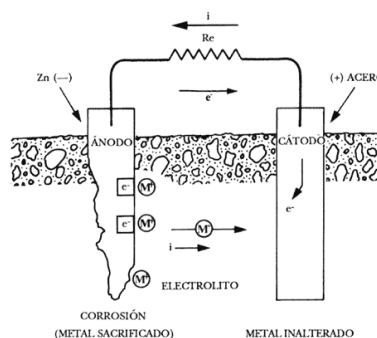


Figura 6: Protección catódica mediante ánodo galvánico

Fuente: (Imbat, 2009).

1.7. PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

Este método consiste en conectar la tubería al polo negativo de una fuente de corriente continua y el polo positivo a una cama anódica o un ánodo auxiliar, de esta manera se garantiza que fluyan los electrones desde la cama anódica hacia la tubería evitando la pérdida de electrones y protegiendo a la tubería de la corrosión.

La cama anódica puede ser una mezcla de elementos metálicos situados a una distancia adecuada de la tubería a ser protegida, estos metales deben tener la capacidad de perder electrones rápidamente. El suelo en este caso

se convierte en el electrolito por el cual fluyen los electrones completando el circuito electrolítico.

La cantidad de voltaje inyectado por la fuente de corriente continua está determinado por resistividad del suelo, longitud de tubería, distancia de la cama anódica y por la norma NACE SP-0169. En la Figura 7 se tiene el esquema de conexión de la protección catódica por corriente impresa.

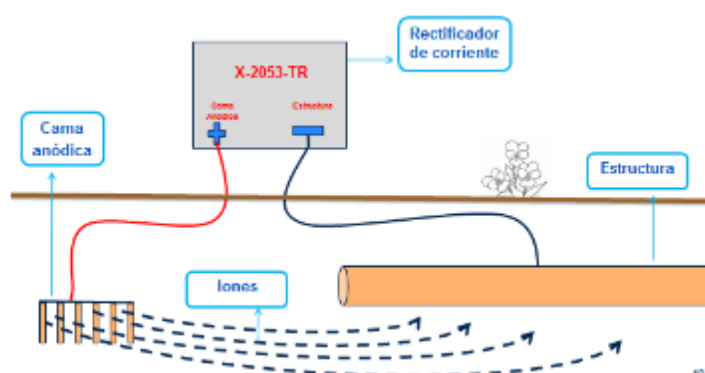


Figura 7: Sistema de protección catódica por corriente impresa.

1.8. NACE SP0169

Es una norma internacional que se encarga del control de sistemas de tuberías metálicas enterradas o sumergidas, se puede encontrar métodos y prácticas aceptadas para el control de corrosión en tuberías enterradas o sumergidas. También contiene consideraciones para tuberías de acero inoxidable, hierro fundido, hierro dúctil, de cobre y aluminio.

Contiene estándares para el diseño e instalación de sistemas de protección catódica, manejo de registros del control de la corrosión externa en las tuberías y control de corrientes parasitas. Basándose en esta norma se puede obtener un sistema eficiente, para proteger y aumentar la vida útil de la tubería enterrada.

Cabe recalcar que esta norma no está diseñada para su uso en el control de la corrosión interna de la tubería.

1.9. CRITERIO DE PROTECCIÓN

Los criterios de protección se basan en el potencial que debe existir en el metal para permanecer protegido contra la corrosión, así como también define los métodos por los cuales se debe medir dicho potencial.

La Figura 8 representa la serie electroquímica en la cual se observan los potenciales de los metales, los cuales han sido medidos respecto a un electrodo de hidrogeno.

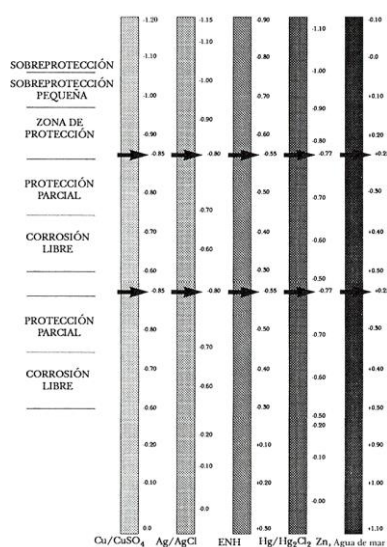


Figura 8: Serie electroquímica del acero.

Fuente: (ARGO, 2005)

El potencial de protección del acero en un suelo corrosivo es de -950mV con una celda de referencia de Cu/CuSO₄.

En la práctica para medir este potencial se tiene dos semipilas electrolíticas: una está constituida por el acero rodeado de la tierra o agua y la otra por la barra de cobre sumergida en solución de sulfato de cobre, la cual es utilizada para medir potenciales. En la Tabla 4 se encuentra la conversión de potenciales de acuerdo al tipo de electrodo de referencia utilizado para medir potenciales en la tubería.

Tabla 4:

Potenciales con distintos electrodos.

<i>Electrodo</i>	<i>Potencial (mV)</i>
<i>Cu/CuSO₄</i>	<i>-850 mV</i>
<i>Ag/ClAg</i>	<i>-810 mV</i>
<i>Hg/ClHg</i>	<i>-770 mV</i>
<i>Zn</i>	<i>+240 mV</i>

Fuente: (ARGO, 2005)

Existen celdas de referencia o electrodos de cobre pero también existen los electrodos calomelanos, estos electrodos son utilizados para medir potenciales en estructuras enterradas como se observa en la Figura 9.

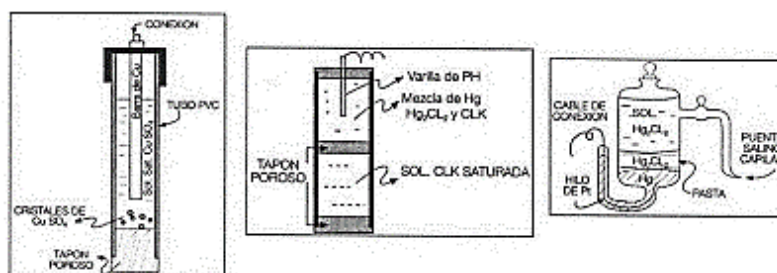


Figura 9: Electrodos de cobre y de calomelanos.

Fuente: (ARGO, 2005)

Los electrodos de plata son utilizados para medir potenciales en estructuras sumergidas como se observa en la Figura 10. Los valores de potencial deben ser aislados de otros potenciales generados por el paso de corriente a través de resistencias externas.

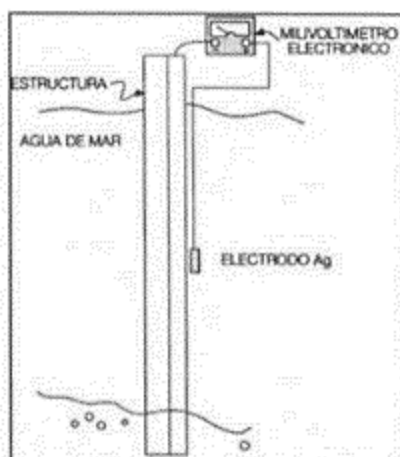


Figura 10: Medición de potenciales estructuras sumergidas.

Fuente: (ARGO, 2005)

En la Figura 11 se representa un ejemplo de medición de potencial en una tubería enterrada, el cual consiste en el colocación de un electrodo de cobre sobre la vertical de la tubería, existe una resistencia R generado por resistencia propia del electrodo, la resistividad del suelo y el recubrimiento de la tubería.

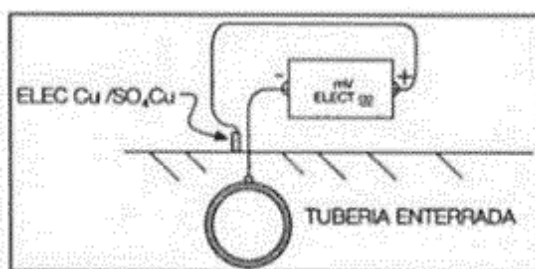


Figura 11: Medición potencial tubería enterrada.

Fuente: (ARGO, 2005)

La resistencia R es despreciable frente a la resistividad interna del voltímetro, este valor puede ser de $10\text{M}\Omega$ mínimo por lo cual la medida de potencial natural obtenida con este método es totalmente válida.

Con el sistema de protección catódica por corriente impresa instalada en la tubería se debe medir el potencial de protección con el método antes descrito, pero se debe considerar una corriente "I" que al pasar a través de R producirá un potencial denominado "Factor IR", que el voltímetro medirá sumado con el potencial verdadero de polarización de la tubería.

Para eliminar el potencial generado por el "Factor IR" en sistemas de protección catódica por corriente impresa se debe instalar un interruptor temporizado y programable en el cual se establezcan secuencias de ON - OFF en la corriente inyectada a la tubería, midiendo el potencial verdadero en los instantes en OFF en el cual la corriente "I" será igual a cero.

1.10. TRANSFORMADORES RECTIFICADORES EN LA PROTECCION CATODICA

Son equipos que convierten energía alterna de 220/440 Vac a corriente continua 0-60 Vdc para de esta manera polarizar el sistema de protección catódica, permitir la inyección de voltaje y corriente continua a la tubería.

REPSOL utiliza en sus sistemas de protección catódica transformadores/rectificadores trifásicos para obtener una mayor potencia que alimenten a varias líneas o tuberías. En la Figura 12 se puede observar un transformador/rectificador trifásico utilizado para alimentar varias líneas y protegerlas de la corrosión mediante la protección catódica.



Figura 12: Transformador/rectificador

1.11. INTERRUPTORES DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Son equipos utilizados para cortar el flujo de corriente hacia la tubería con el fin de generar pulsos ON-Off, estos pulsos sirven para la aplicación de técnicas de inspección externa como DCVG y CIPS, los cuales permiten verificar el estado del recubrimiento en una tubería enterrada.

Los interruptores de protección catódica son programables y permiten sincronización entre varios de estos mediante satélites que proporcionan cada empresa que distribuye los equipos. El tiempo mínimo en ON y OFF debe ser de 10 milisegundos los cuales favorecen a los estudios antes mencionados. Los interruptores más comunes y fáciles de instalar se encuentran en la Figura 13.



Figura 13: Interruptores de corriente

1.12. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN EN TUBERÍAS ENTERRADAS

Existen varios métodos como PCM, DCVG y CIPS para inspección indirecta en tuberías enterradas con el fin de determinar el estado del recubrimiento e identificar rápidamente posibles daños en la tubería.

1.12.1. Mapeo de corriente de tubería (PCM)

Esta técnica permite detectar problemas en el sistema de protección catódica producto de fallas en los aislamientos eléctricos, interconexión con otros sistemas, y defectos en el recubrimiento en tuberías enterradas. El sistema PCM consta de 3 equipos transmisor, receptor y marco A identificados en la Figura 14.



Figura 14: Equipo PCM: transmisor, receptor y marco-A.

Fuente: (Torres, 2008)

En la Tabla 5 se detalla las características de los equipos utilizados en los estudios PCM para tuberías enterradas.



Tabla 5:

Características equipos PCM.

Equipo	Característica	Fotografía
Transmisor	d) Genera Corriente Alterna de 4Hz. e) Alcance de 32Km. f) Compatible con protección catódica	A photograph of the PCM transmitter unit, which is a black rectangular device with a screen and various buttons. It is shown next to a white vertical probe. The word "Radiodetection" is visible in the top right corner of the photo.

Continua



Receptor	<ul style="list-style-type: none"> g) Localiza tubería. h) Localiza defectos en el recubrimiento. 	
Marco-A	<ul style="list-style-type: none"> i) Mayor sensibilidad. j) Defecto en escala de decibeles (dB.) 	



1.12.2. Gradiente de voltaje en corriente directa (DCVG)

DCVG utiliza corriente continua inyectada hacia la tubería por un sistema de protección catódica o un sistema provisional la cual debe ser interrumpida en cortos espacios de tiempo mediante un interruptor programable. La corriente que fluye por la línea genera un gradiente de potencial sobre la tubería, si existe una falla en el recubrimiento los valores detectados por un voltímetro de alta sensibilidad se ven afectados.

La magnitud del defecto se obtiene de la comparación de la caída de potencial entre los dos electrodos del voltímetro y la diferencia de potencial ON-OFF aplicada a la tubería. En la Tabla 6 se describen las características de los equipos utilizados en estudios DCVG.

Tabla 6:

Características equipos DCVG.

Equipo	Característica	Fotografía
Interruptor	k) Sincronización GPS l) Interrupción de Corriente 100 A / 100 VDC m) Las actualizaciones de software por RS232. n) On / Off rangos entre 0 a 100 segundos. o) Compacto y ligero, cabe en espacios reducidos. p) Microprocesador completo controlado.	
Voltímetro	q) Alta sensibilidad. r) Celdas de referencia de Cu/CuSO ₄	

1.12.3. Técnica de intervalos cerrado del estudio de potenciales (CIPS)

Esta técnica permite medir los potenciales en una tubería enterrada de manera indirecta, obteniendo un análisis detallado del estado del recubrimiento de la tubería, con lo cual se puede determinar la efectividad de la protección catódica utilizada.

Para su realización se necesita que un operador del equipo de CIPS camine sobre la tubería de manera paralela extendiendo un cable que a su vez estará conectado a un punto de prueba cercano, con la ayuda de celdas de referencia de Cu/CuSO₄ y un colector o registrador de datos se procede a tomar lecturas de los potenciales sobre la extensión de la tubería como se muestra en la Figura 15.



Figura 15: Inspección CIPS.

Fuente: (PROTAN, 2007)

Se debe eliminar el potencial generado por el “Factor IR” para lo cual se debe instalar un interruptor en el sistema de protección catódica el mismo que generara pulsos de ON y OFF en tiempos de 700ms y 300 ms respectivamente, método por el cual se elimina el potencial “Factor IR” y se obtiene le potencial de protección con el cual se analiza el estado del recubrimiento.

Si la extensión de la tubería tiene varios rectificadores instalados se debe utilizar interruptores en cada uno de ellos con sincronización vía satélite para evitar desfases en los estados de ON y OFF.

En la Figura 16 se identifica de manera clara la instalación de un interruptor programable para obtener los estados de ON y OFF.

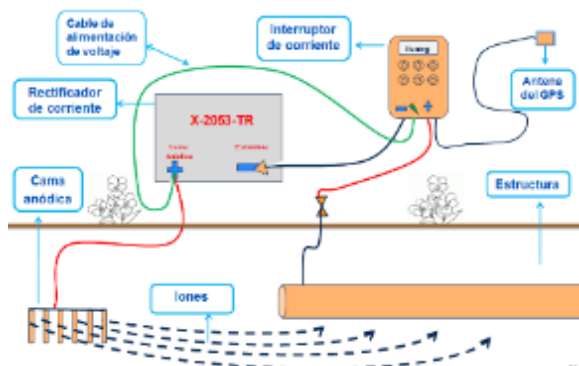


Figura 16: Conexión de interruptores.

1.13. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable o PLC (Programmable Logic Controller) representado en la Figura 17 es un dispositivo digital en el cual se pueden grabar instrucciones o rutinas que se ejecuten de acuerdo a las distintas entradas analógicas o digitales que contiene.

El PLC desempeña el papel más importante en una industria porque es el encargado de realizar las tareas de monitoreo y control de los procesos industriales, también se lo utiliza para llevar la seguridad de los sistemas más complejos. Desempeña funciones como: cálculos lógicos, secuenciación, control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas.



Figura 17: PLC Contrologix Allen Bradley.

Fuente: (Maza, 2009)

Los PLC's operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción. Los elementos que contiene un PLC son:

- a) Unidad Central de proceso
- b) Módulos de entrada
- c) Módulos de salida
- d) Fuente de Alimentación
- e) Dispositivos periféricos
- f) Interfaces

1.14. SCADA INTERFACE HOMBRE MAQUINA HMI

Los sistemas SCADA por sus siglas en ingles Supervisión, Control y Adquisición de Datos son utilizados como una interface hombre maquina HMI, en los cuales se pueden desarrollar imágenes, procesos industriales de forma didáctica, vinculación entre el proceso real y su respectiva representación gráfica para tener un control del mismo de forma remota.

El software más utilizado en los sistemas SCADA es InTouch (Figura 18) por su alta compatibilidad con los controladores en el mundo industrial los PLC's, con los sistemas SCADA se puede:

- a) Tomar mejores decisiones
- b) Control para un máximo rendimiento
- c) Aumenta tu agilidad
- d) Baje sus costos
- e) Reducir el Riesgo y Permanece seguro

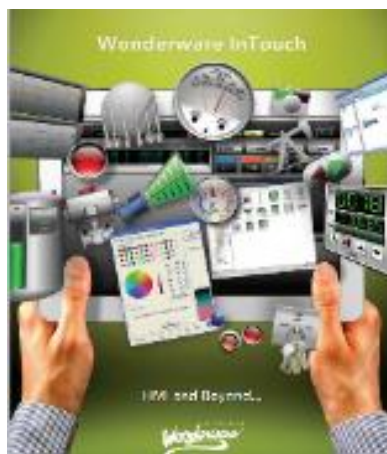


Figura 18: Wonderware InTouch.

CAPITULO II

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO

2.1. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

En la actualidad REPSOL no cuenta con un sistema de monitoreo de los valores como voltaje y amperaje inyectados por el rectificador trifásico existente y utilizado en la protección catódica del tramo Pompeya-Shushufindi (PPY-SSFD) en la línea de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas, tampoco cuenta con un interruptor de corriente programable remotamente con el cual se pueda variar los estados de ON y OFF para los estudios de CIPS o medición de potenciales de protección en la tubería.

El sistema de monitoreo y control remoto diseñado e implementado permitirá visualizar en las oficinas de mantenimiento estático mediante un HMI instalado en el SCADA InTouch de Integridad los estados de ON-OFF del rectificador, así como valores de voltaje y amperaje inyectados por el rectificador a la línea de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas, ofreciendo al personal información sobre el funcionamiento del rectificador en tiempo real.

El control remoto configurara los tiempos que se mantendrán los estados de ON-OFF en el interruptor de forma remota, evitando el desplazamiento del personal hacia el sitio del rectificador. A su vez el prototipo implementado en Shushufindi permitirá la sincronización de la hora con los interruptores Radiodetection utilizados actualmente en los procesos de estudios CIPS.

De esta manera los puntos críticos del sistema de monitoreo y control serán los siguientes:

- a) **Sincronización GPS**
- b) **Adquisición de Datos**

- c) **Control Remoto de estados ON-OFF**
- d) **HMI-SCADA**

En Figura 19 se muestra un diagrama de bloques en el que se puede observar los puntos críticos el sistema de monitoreo y control remoto a ser diseñado e implementado.

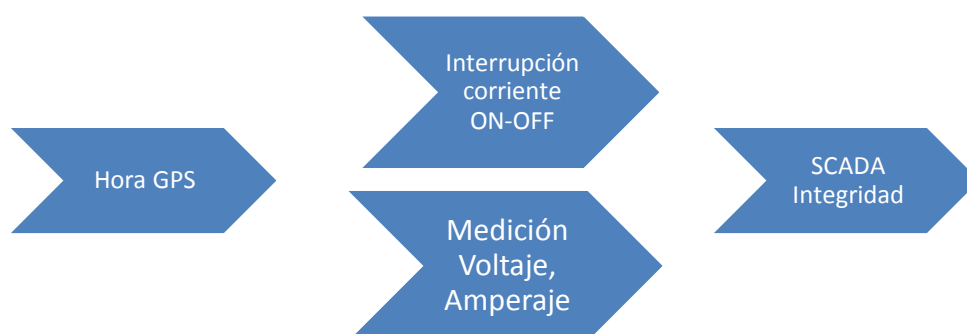


Figura 19: Requerimientos sistema de monitoreo y control.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTES.

La protección catódica cuenta con equipos de monitoreo, control y monitoreo-control los cuales permiten interrumpir el flujo de corriente hacia la tubería mediante la generación del pulsos ON-OFF con la opción de variar su periodo de forma remota mediante internet, SCADA, GMS, Mail, etc.; también permiten un monitoreo y registro de la actividad de los rectificadores mediante un SCADA, en la

Tabla 7 se identifican los equipos existentes en el Departamento de Mantenimiento Estático de REPSOL y los más comunes utilizados en la protección catódica.

Con esta lista de equipos se pretende obtener las características principales para poder generar un prototipo de sistema de monitoreo y control remoto para la protección catódica, que tenga un funcionamiento similar pero

con menor inversión para determinar su utilidad y así definir si es necesario que el Departamento de Mantenimiento Estático de REPSOL adquiera uno de los equipos para ser implementado en el rectificador trifásico utilizado para la protección catódica de la línea de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas en el tramo PPY-SSFD.


Tabla 7:

Interruptores usados en protección catódica.

Equipo	Características	Foto
Radiodetection Smart Interrupter 100AG	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye antena GPS. • Valores Max 100 A / 100 VDC. • On / Off rangos de 0 a 100 segundos. • Incrementos de 0,1 segundo. • Sincronización maestro/esclavo. • Compacto y ligero. 	
American Innovation MicroMax GPS200 Current Interrupter	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye antena GPS. • Valores Max 100 A / 100 VDC. • On / Off rangos de 0 a 100 segundos. • Incrementos de 0,1 segundo. • Sincronización maestro/esclavo. • Compacto y ligero. 	
American Innovation BULLHORN RM4010-4011	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de voltaje, amperaje, potenciales en tuberías, etc. • Configuración de parámetros de interrupción y generación de reportes de forma remota. • Satélites propios. • Configuración desde la oficina y sitios remotos. 	
Elsys Corporation WATCHDOG II MESH	<ul style="list-style-type: none"> • Módulos de sensores inalámbricos. • Monitor de múltiples rectificadores en líneas o tanques. • Generación de informes • GPS a prueba de fallos. • Comunicación con SCADA 	
BORIN COMANCHE CHIEF	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye antena GPS o reloj interno. • Comunicación RS-232 para la red, GSM, radio satelital, fibra óptica SCADA. • Medición de Voltaje y amperaje de salida del rectificador, potenciales, sensores de flujo, presión, etc. 	

Continúa



KMT Rectificadores SMART ENDURANCE	<ul style="list-style-type: none"> • Salidas Simples y salidas múltiples. • Regulación: Potencial ON, corriente, voltaje, potencial OFF (Potencial de polarización Verdadero) • Test: ON-OFF sincronizado con GPS / Medición de potencial natural y curva de despolarización. 	
---	--	---

La característica común de estos equipos es que poseen una antena GPS la cual facilita la sincronización entre varios equipos separados por grandes distancias y que estén conectados a un mismo sistema de protección catódica, en la actualidad la empresa KMT está construyendo rectificadores con sistemas incluidos de monitoreo y control evitando de esta manera la adquisición de nuevos equipos.

Los equipos de monitoreo y control remoto permiten medición de otras variables que también afectan a la protección catódica como los potenciales, utilizando una celda de referencia fija de Cu/CuSO₄ instalada previamente en el suelo cerca al equipo, algunos equipos tiene compatibilidad con sensores inalámbricos para una mayor cobertura en la medición de potenciales.

Las empresas se han visto en la necesidad de generar SCADAS para sus equipos facilitando así su operación, también cuentan con aplicaciones para celulares o sistemas de envío de correos electrónicos, todo esto con el fin de mantener al usuario totalmente informado sobre el estado de la protección catódica y del rectificador en tiempo real.

2.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL.

Los requerimientos utilizados para la formulación de las soluciones se encuentran en la Figura 19, adicionalmente la Empresa REPSOL solicitada la consideración de otros factores como:

- a) Económico
- b) Compatible con sistemas existentes

- c) Confiable
- d) Fácil de adquirir los equipos.

2.3.1. Diseño de alternativas del sistema de monitoreo y control.

a) Alternativa 1

El diseño de la primera alternativa se realiza con equipos de la empresa National Instruments los cuales facilitan la implementación de varios sistemas de monitoreo y control remoto, cuenta con programación grafica orientada a objetos.

En la Figura 20 se ilustra la alternativa 1 utilizando equipos National Instruments.

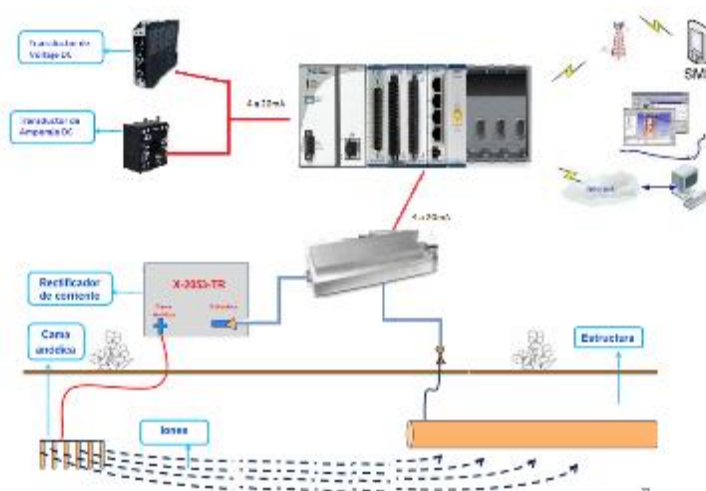


Figura 20: Alternativa 1 National Instruments.

Como controlador se tiene un CompaqRio, con módulos de adquisición de datos como entrada analógicas 4-20mA y salida digital 0-10 Vdc con las cuales se obtendrá las señales de los sensores de voltaje y amperaje utilizados para medir las variables del rectificador de la protección catódica. Como elemento de potencia actuara un relé de estado sólido a 40Amp Dc suministrado por la empresa American Innovation.

Este controlador será parte de la red de la planta mediante la utilización de un módulo de comunicaciones Ethernet o Rs-485 el cual permitirá direccionar las variables usadas en el controlador desde la programación o HMI realizado en el software Labview.

Un módulo GPS servirá para la sincronización del reloj interno del CompaqRIO, cabe recalcar que los sensores deben transmitir una señal estándar de 4-20mA.

En la siguiente Tabla 8 se resumen los equipos utilizados y la cotización de los mismos:

Tabla 8:

Cotización alternativa 1.

Elemento	Equipo	Precio
Controlador	CI cRIO-9022	\$ 3.770,00
Módulo Medición	NI9381	\$ 455,00
Modulo GPS	NI9467	\$ 655,00
Sensor voltaje	z202-LP	\$ 200,00
Sensor corriente	T201DC-LP	\$ 200,00
Relé de estado solido	Crydom 100 A DC	\$ 250,00
Software	Labview	\$ 3.300,00
	Total	\$ 8.830,00

b) Alternativa 2

La segunda alternativa consta de equipos ICP DAS (Industrial Control Products & Data Acquisition Systems) los cuales son utilizados para automatización de subprocesos en plantas industriales. En la Figura 21 **Tabla 9** se ilustra la alternativa 2 con equipos ICP DAS.

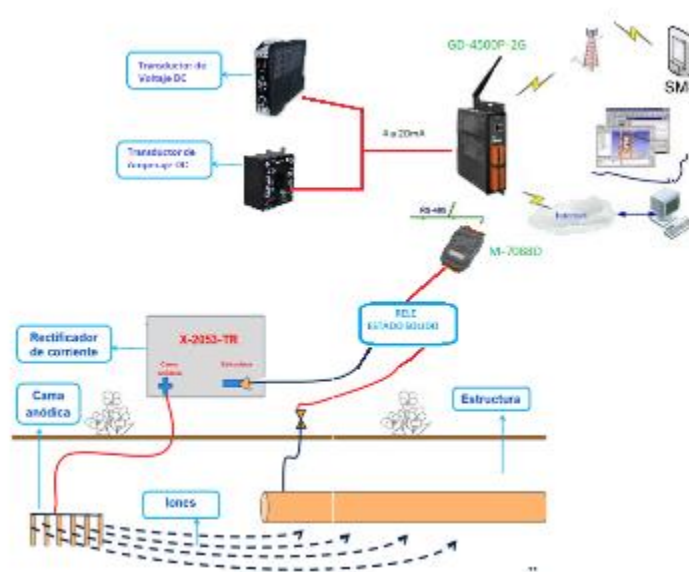


Figura 21: Alternativa 2 ICP DAS.

Como controlador se tiene un PLC-GPS el cual incluye una antena para sincronización GPS, cuenta con salidas y entradas digitales-analógicas evitando la adquisición de módulos adicionales para realizar la sincronización y la adquisición de datos del rectificador, estas entradas analógicas tienen estándares de 4-20mA.

Como elemento de potencia se tiene un relé de estado sólido a 40Amp Dc al cual se debe ingresar un voltaje de control de 3.5-25Vdc para realizar el corte de corriente, elemento suministrado por la empresa American Innovation.

El PLC cuenta con comunicación RS-485 compatible con la red de la planta lo cual facilitara la comunicación entre el HMI y el PLC. El software utilizado para desarrollo del HMI será Local Interface Development que maneja alrededor de 1500 tags y es amigable con el usuario facilitando de esta manera la programación.

En la siguiente Tabla 9 se resumen los equipos utilizados y la cotización de los mismos:

Tabla 9:

Cotización alternativa 2.

Elemento	Equipo	Precio
Controlador	PLC-GPS G-4500P-2G	\$ 1.100,00
Módulo PWM	M-7088D	\$ 320,00
Sensor voltaje	z202-LP	\$ 200,00
Sensor corriente	T201DC-LP	\$ 200,00
Relé de estado solido	Crydom 100 A DC	\$ 250,00
Software	IND-15520-NT	\$ 1.250,00
	Total	\$ 3.320,00

c) Alternativa 3

Se utilizara los equipos existentes en la planta SSFD para implementar el sistema de monitoreo y control remoto, existe un PLC Contrologix Allen Bradley en las cercanías al rectificador a ser monitoreado, este PLC cuenta con salidas y entradas analógicas libres para conectar los equipos necesarios.

El HMI será diseñado en el Software InTouch existente en la planta del SPF de REPSOL y se cargara la pantalla en el SCADA de Integridad donde se podrá visualizar todas las variables del prototipo de sistema de monitoreo y control remoto.

La sincronización de la hora del PLC será de forma indirecta, con la ayuda de un circuito de sincronización y un módulo GPS los cuales generaran pulsos de 500ms cada segundo y 4 pulsos de 100ms cada minuto, con esto se obtendrá la hora GPS dentro del PLC.

Circuitos electrónicos en baquelita:

- **Fuente de voltaje con $\pm 12Vdc$.**
- **Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.**

El elemento de potencia será un relé de estado sólido con salida por MOSFET para manejar cargas en corriente continua, el cual deberá contar con una señal de control de 3.5 a 25Vdc y manejar los valores del rectificador que se encuentran en la

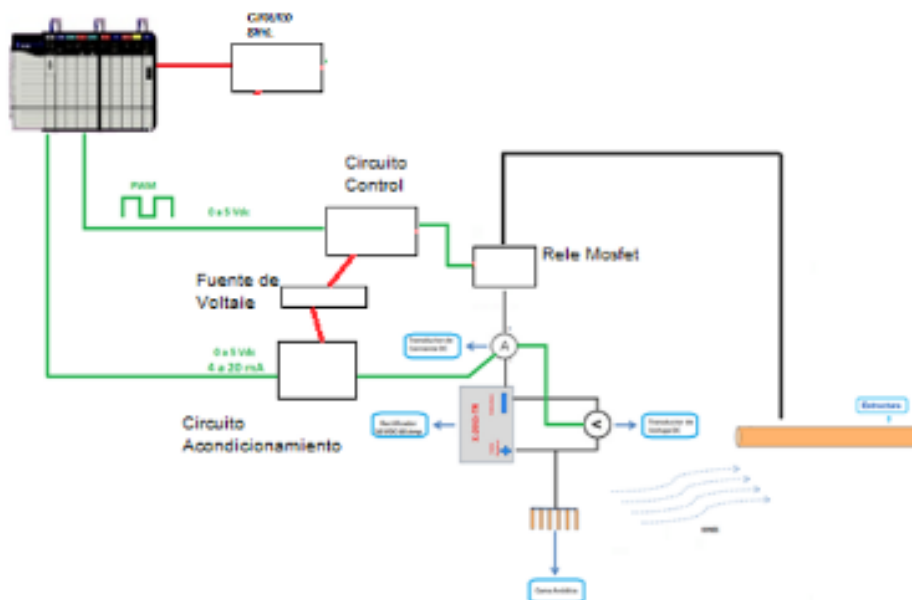


Figura 22: Alternativa 3 Contrologix Allen Bradley.

La cotización de los equipos se encuentra en la Tabla 10, en la cual no se representan los valores del PLC Contrologix AB y el software Intouch.

Tabla 10:

Cotización alternativa 3.

Elemento	Equipo	Precio
Controlador	Contrologix AB	\$ 10.000,00
Circuito Acond y Sinc.	PCB	\$ 210,00
Circuito Control	PCB	\$ 210,00
Sensor voltaje	z202-LP	\$ 200,00
Sensor corriente	T201DC-LP	\$ 200,00
Relé de estado solido	OPTEC TD20D46	\$ 150,00
Software	Intouch	\$ -
	Total	\$ 10.970,00

En la Alternativa 3 se debe reducir el valor del controlador ya que este se encuentra en existencia en la planta donde se instalara el sistema, dando un valor final de inversión para la empresa REPSOL de 970,00 dólares llegando ahorrar hasta en un 90%.

2.3.2. Selección de alternativa sistema de monitoreo y control.

Para la selección de la alternativa más idónea se utilizará los siguientes criterios que engloban los requerimientos de la empresa REPSOL ECUADOR S.A, con el fin de justificar la solución más idónea.

- a) Inversión
- b) Costo de manutención
- c) Confiabilidad
- d) Robustez
- e) Versatilidad
- f) Vida útil

Inversión: hace referencia a la inversión inicial que se requiere el sistema.

Costo de manutención: costo anual para mantenimiento del sistema.

Confiabilidad: los datos emitidos por el sistema en el HMI son los exactamente los mismo emitidos por le rectificador y la veracidad de la sincronización de la hora.

Robustez: el sistema es capaz de soportar condiciones ambientales sin perjudicar el funcionamiento del mismo.

Versatilidad: capacidad del sistema de acoplar nuevos equipos como sensores, actuadores o sistemas de visualización.

Vida útil: tiempo estimado de funcionamiento del sistema sin problemas.

Estos datos serán ponderados mediante un ranking de 1-5 siendo 5 el más alto, y mediante porcentajes 0-100% se dará importancia a los ítems antes mencionados. Siendo la alternativa que menor porcentaje total alcance la mejor y la que se procederá al diseño final y su construcción.

La Tabla 11 representa las valoraciones de cada alternativa de acuerdo los parámetros solicitados por la empresa.

Tabla 11:

Selección de alternativa sistema de monitoreo y control.

	Importancia	Rankin	Valor	Rankin	Valor	Rankin	Valor
Inversión	25%	5	1,25	3	0,75	1	0,25
Costo Manutención	15%	1	0,15	2	0,3	4	0,6
Confiabilidad	20%	5	1	4	0,8	4	0,8
Robustez	15%	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Versatilidad	5%	1	0,05	3	0,15	1	0,05
Vida Útil	20%	5	1	4	0,8	3	0,6
TOTAL	100%		4,2		3,4		2,75

El ranking utilizado para determinar la valoración de cada alternativa se encuentra en la Tabla 12.

Tabla 12:

Raking de valoración.

Ranking	4	Alto
	3	Medio
	2	Bajo
	1	Muy bajo

Como se puede observar en la Tabla 11 la alternativa que menor valor alcanzo es la N°3, con esto se tiene una alternativa viable para la diseño del sistema de monitoreo y control.

Cabe recalcar que la disminución del costo se da por la existencia y disponibilidad de un controlador y un software en la empresa, de no ser así el costo del sistema ascendería a 10.000,00 dólares siendo una alternativa no viable.

La alternativa 3 fue presentada y aprobado su diseño por los departamentos de Mantenimiento Estático e Instrumentos de REPSOL ECUADOR S.A. BLOQUE 16 NPF.

2.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

2.4.1. Sistema de monitoreo

Será la etapa de adquisición del voltaje y amperaje inyectado por el rectificador trifásico existente y utilizado en la protección catódica de la línea de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas del tramo PPY - SSFD, estos valores se convertirán a un estándar de 4-20mA para ser ingresados a un PLC existente en la estación de bombeo de SSFD para poder visualizarlos en el SCADA de Integridad. Las pantallas utilizadas en el SCADA de Integridad se encuentran ubicadas aproximadamente a 200 Km de la estación de bombeo de SSFD.

En la

Tabla 13 se puede observar las características del rectificador trifásico utilizado en la protección catódica de la línea de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas del tramo Pompeya –Shushufindi:

Tabla 13:

Datos rectificador Wayne Broyles de 2.3 KVA

Transformador/Rectificador Wayne Broyles		
Voltaje Nominal	460 V	Entrada (Ac)
Corriente Nominal	5 A	
Fases	3	
Frecuencia	60 Hz	
Factor de Potencia Min	0.8	
Voltaje Nominal	0-60 V	Salida (Dc)
Amperaje	0-35 A	

En la Figura 23 se puede observar el diagrama de bloques correspondiente al sistema de monitoreo del voltaje y amperaje inyectado por el rectificador a la tubería enterrada de crudo - diésel.

El voltaje de 0-60Vdc y la corriente de 0-25A es el rango de valores que pueden ser inyectados a la tubería enterrada por el rectificador trifásico, estos valores se acondicionan en un rango de corriente de 4-20mA, corriente que será ingresada al PLC mediante entradas analógicas y a su vez se enviarán los datos al SCADA para su posterior visualización.

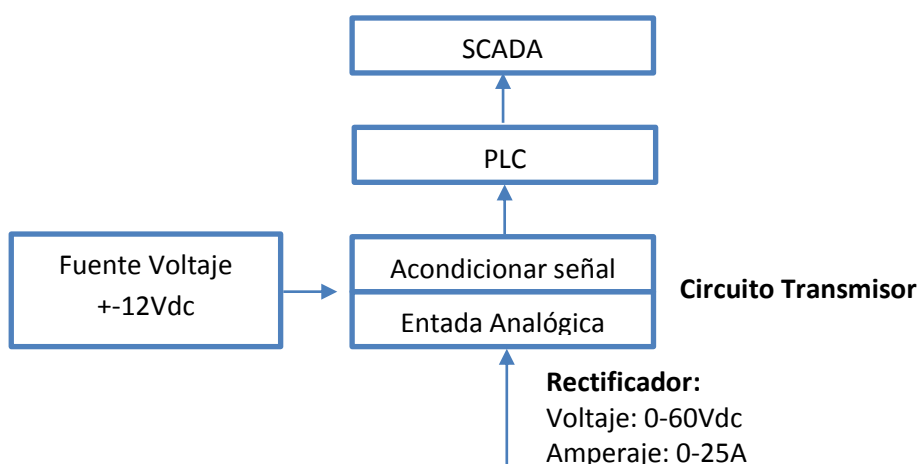


Figura 23: Diagrama de bloques sistema de monitoreo.

2.4.2. Sistema de control

Actualmente los interruptores Radiodetection utilizados en la planta por el personal de REPSOL manejan incrementos de tiempo de 0,1 segundos para los estados de ON-OFF, la corriente de interrupción que manejan es de hasta 100A en corriente continua.

El sistema de control representado en la Figura 24 se utilizará para variar los tiempos de ON-OFF, datos que serán enviados desde el SCADA de Integridad hacia el PLC de la estación de bombeo en SSFD, el cual

acondicionara de 4-20mA los pulsos de activación y desactivación del relé de estado sólido MOSFET generando los estados de ON-OFF en la línea de crudo – diésel, permitiendo realizar los estudios de CIPS en la línea. Además mediante el SCADA se podrá modificar el tiempo de inicio y final del funcionamiento del interruptor.

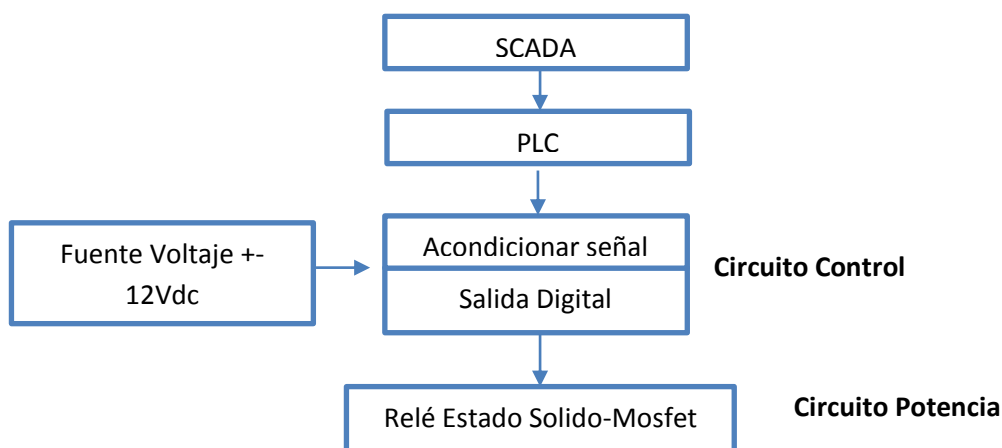


Figura 24: Diagrama de bloques sistema de control.

2.4.3. Sistema de sincronización

El GPS al estar sincronizado con varios satélites permite tener la hora y la fecha con una precisión de microsegundos, esta información será enviada a un Atmega328 mediante comunicación RS232 a 9600 Baudios. El Atmega328 generará un pulso de 500ms cada segundo y 4 pulsos de 100ms cada minuto, para ingresarlos al PLC con niveles de voltaje de 0-10Vdc como señal de sincronización o de activación.

Esta señal servirá al PLC de referencia para generar nuevos pulsos de activación y desactivación con los datos del tiempo requerido en ON-OFF enviado desde el SCADA. En la Figura 25 se describe el funcionamiento del sistema de sincronización.

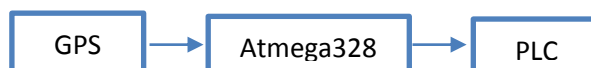


Figura 25: Diagrama de bloques sincronización hora PLC.

2.4.4. Diagrama de Bloques del Hardware.

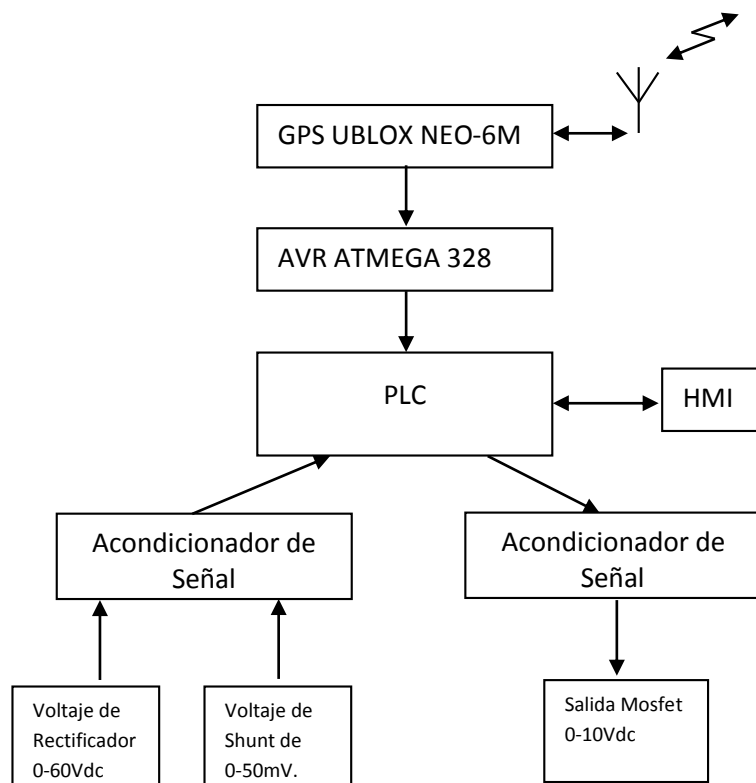


Figura 26: Diagrama de bloques del hardware.

En la Figura 26 se muestra el diagrama de bloques correspondiente a la solución que se procederá a diseñar. Este diseño posee un módulo GPS Ublox Neo-6M que envía información en RS-232 a 9600 baudios de latitud, longitud, velocidad, fecha, hora, número de satélites, etc.

Esta información es recibida por un AVR ATMEGA328 el cual genera una señal de reloj de 500ms en alto y 500ms en bajo cada segundo, en cada minuto se genera 4 pulsos de 100ms para de este modo sincronizar la generación de pulsos por una salida analógica (4-20mA) del PLC con el interruptor RadioDetection.

El sistema posee además dos entradas analógicas una de voltaje y otra de amperaje las cuales serán acondicionadas de 4-20mA mediante un circuito integrado AD693, señales que se ingresarán al PLC.

Se diseñara un HMI en el software INTOUCH el cual permitirá la visualización de los valores de voltaje, amperaje, tiempos en ON, tiempos en OFF y hora de inicio de los pulsos de interrupción de corriente en el rectificador.

2.4.5. Diseño y Construcción de la Fuente Alimentación AC/DC.

La fuente tiene voltajes de salida positivos de +12Vdc y voltajes negativos de -12Vdc los cuales alimentaran los amplificadores operacionales LM741, que a su vez serán utilizados para acoplar impedancias y para el acondicionamiento de las entradas del circuito integrado AD693.

a) Cálculo de Potencia de la Fuente DC.

El circuito de acondicionamiento y sincronización tiene un consumo de 167mA y 775mW valores reflejados en la Tabla 14.

Tabla 14:

Consumo Circuito de Acondicionamiento y Sincro.

Elemento	Cantidad	Corriente (mA)	Potencia (mW)	Corriente Total (mA)	Potencia Total (mW)
LM741	4	6	100	24	400
AD693	2	10	25,2	20	50,4
ATMEGA 328	1	23,5	24,75	23,5	24,75
Ublox NEO-6M	1	100	300	100	300
Total				167,5	775,15

b) Diseño de la Fuente AC/DC.

El circuito de la Figura 27 será diseñado y simulado en software PROTEUS para posteriormente pasar a la implementación en protoboard y comprobar su funcionamiento.

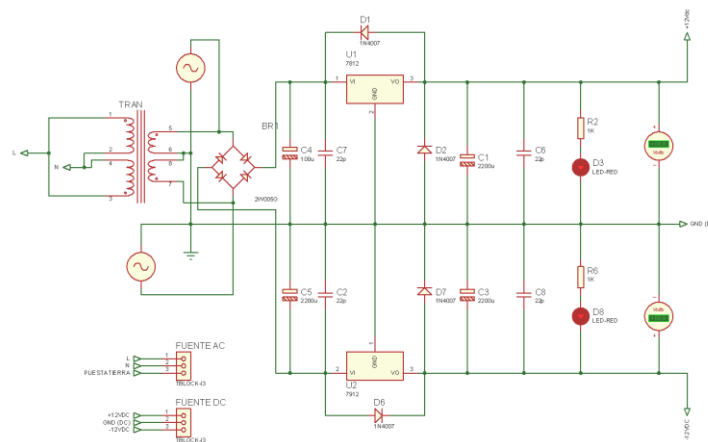


Figura 27: Fuente AC/DC.

La fuente AC/DC es la encargada de alimentar al circuito de acondicionamiento y sincronización, consta de un transformador AC/AC (FP30-200) que tiene un voltaje en el primario de 115Vac y en el secundario de 15Vac a 2 Amperios.

Los voltajes del secundario son enviados a un puente rectificador GRAETZ que es un rectificador de voltaje AC de doble onda, este voltaje se filtra mediante capacitores en paralelo de $2200\mu F$ y $0.1\mu F$ para obtener un voltaje DC constante. Se encuentra también regulares de voltaje, el LM7812 para obtener el +12Vdc y un LM7912 para obtener -12Vdc.

Cuando el circuito se encuentra energizado y los dos voltajes tanto positivo como negativo están operativos se encienden led's, los cuales son indicadores del funcionamiento de la fuente.

c) Pruebas en Protoboard.

Con la implementación del circuito en protoboard como lo muestra la Figura 28 se puede comprobar físicamente su funcionamiento, corregir los errores que surjan. Con el asesoramiento del personal de Instrumentos NPF-

REPSOL se aprueba su funcionamiento y se procede al ruteado de pistas para posteriormente su construcción.

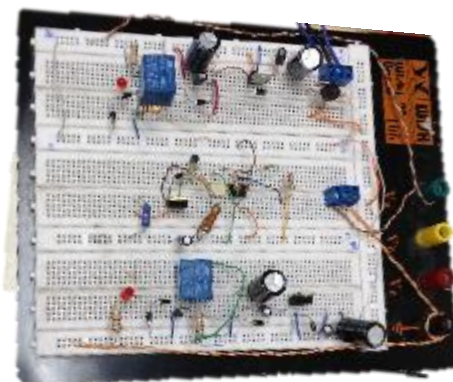


Figura 28: Fuente AC/DC.

d) Ruteado de Pistas Fuente AC/DC.

En el software ARES se realizan las pistas como lo muestra la Figura 29 y Figura 30 correspondientes a la fuente de alimentación, considerando los tamaños reales de los elementos a ser utilizados y con las correcciones respectivas.

La disposición de los elementos debe ser tal que tengan el suficiente espacio y no exista contactos no deseados entre las pistas lo cual generaría corto circuitos.

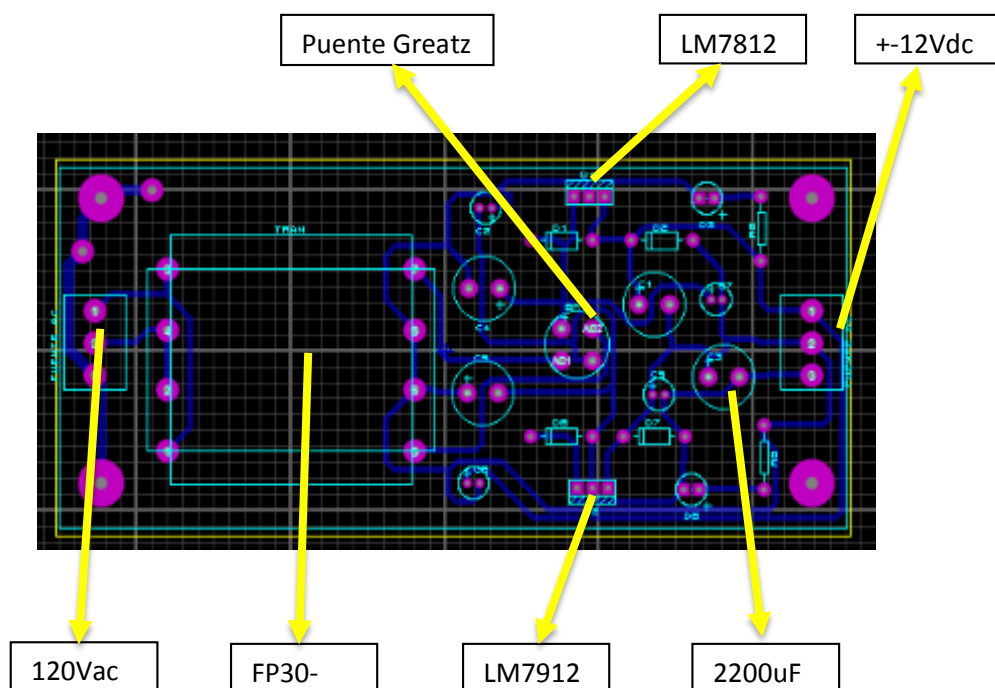


Figura 29: Ruteado Fuente AC/DC.

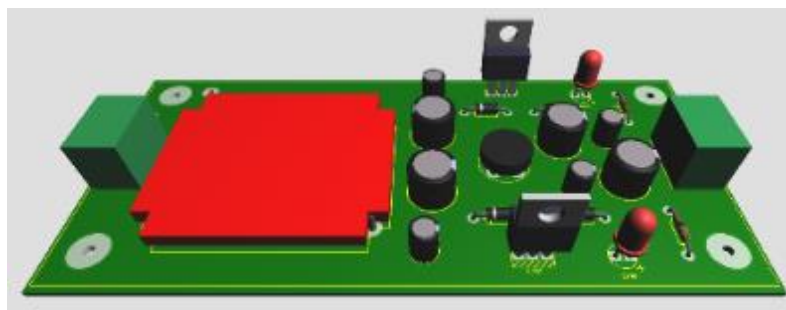


Figura 30: Vista 3D Fuente AC/DC.

e) Construcción de la Fuente AC/DC.

Utilizando el método “De La Plancha” se procede a la construcción de la placa de circuito electrónico como lo muestra la Figura 31 este método consiste en:

- Imprimir mediante una impresora láser el Ruteado en papel termotransferible.

- Utilizar una plancha para aplicar calor por 2 min al papel sobre la baquelita.
- Verter agua sobre la placa para retirar el papel.
- Sumergir la baquelita con las pistas transferidas en Cloruro Férrico.
- Perforar los pad's.
- Soldar los respectivos elementos.



Figura 31: Fuente AC/DC.

2.4.6. Diseño de Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

a) Acondicionamiento SHUNT ELÉCTRICO.

El SHUNT ELÉCTRICO es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica generando una caída de tensión, está ubicada entre la salida positiva del rectificador y la cama anódica del sistema de protección catódica.

En la Figura 32 se muestra el sistema completo de acondicionamiento de la caída de voltaje en el SHUNT el cual es acondicionado a un rango de 4-20mA.

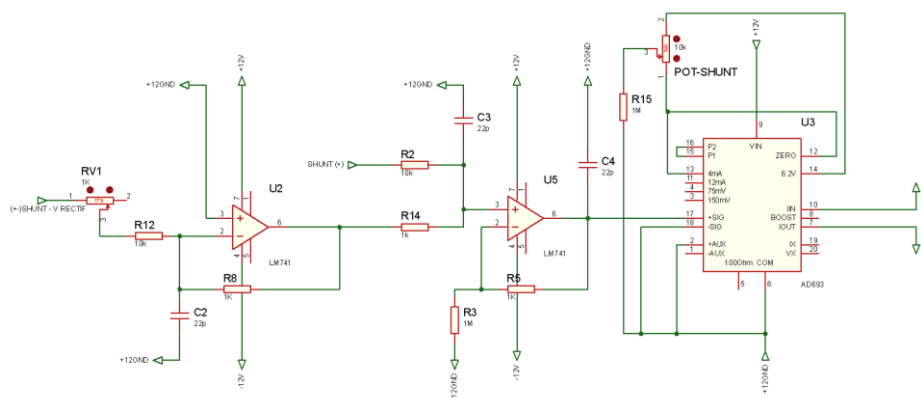


Figura 32: Acondicionamiento SHUNT ELÉCTRICO.

En la Figura 33 se especifican los cálculos del voltaje entre el SHUNT y la cama anódica, el cual ingresa a un amplificador operacional LM741 con configuración de inversor con una ganancia G (**Ec. 1**) de $1/10$, lo cual significa que se tiene un voltaje de salida V_{sum} (**Ec. 2**) igual al de entrada V_{SHUNT} dividido para 10.

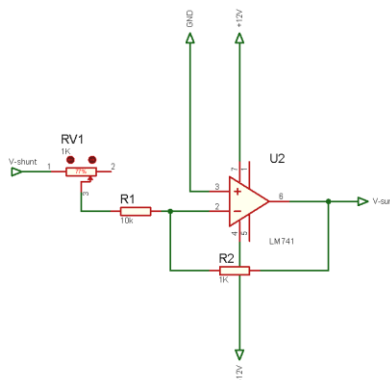


Figura 33: Cálculo Amplificador Operacional Inversor.

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

Ec. 1

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

$$G = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 1K \Omega$$

$$R_1 = 10K \Omega$$

$$V_{sum} = -V_{shunt} *$$

Ec. 2

$$V_{sum} = -V_{shunt} * \left(\frac{1}{10}\right)$$

En la Figura 34 se muestra la suma de los voltajes V_{sum} y V_{Rect} para obtener la caída de tensión únicamente en el SHUNT, el voltaje V_{sum} ingresa a un amplificador operacional LM741 con configuración de sumador y ganancia G_2 (Ec. 6), el voltaje V_{Rect} también ingresa al LM741 con una ganancia G_1 (Ec. 5) dando como resultado el voltaje VAD693 (Ec. 3) multiplicado por una ganancia G en mili voltios.

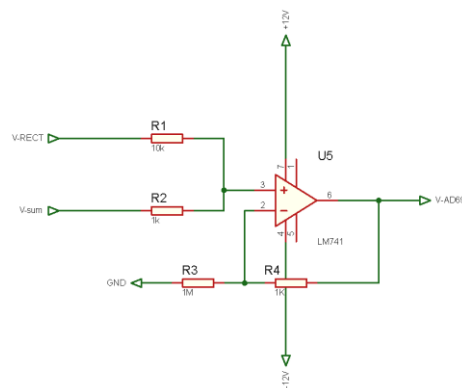


Figura 34: Amplificador Operacional Configuración Sumador.

$$V_{AD693} = G * (V_{rect} * G_1 + V_{sum} * G_2) \quad \text{Ec. 3}$$

$$G = 1$$

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad \text{Ec. 4}$$

$$G = 1 + \frac{1K \Omega}{1M \Omega}$$

$$G = 1 + 0.001 = 1.001$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10000} \quad \text{Ec. 5}$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1000} \quad \text{Ec. 6}$$

$$V_{AD693} = 1.001 * \left(\frac{V_{rect}}{10000} + \frac{V_{sum}}{1000} \right)$$

$$V_{AD693} = 1.001 * \left(\frac{V_{rect}}{10000} + \frac{-V_{shunt}}{1000} \right)$$

$$V_{AD693} = 1.001 * \left(\frac{V_{rect}}{10000} - \frac{V_{shunt}}{10000} \right) mV$$

El rango de voltaje V_{AD693} es de 0-50mV el cual es ingresado al circuito integrado AD693 para su conversión a corriente en un rango de 4-20mA con una alimentación del lazo de 24Vdc, para lo cual se debe utilizar la configuración del AD693 que se muestra en la Figura 35 con las ecuaciones Ec. 7 y Ec. 8 descritas se calculara los valores de las resistencias y potenciómetros.

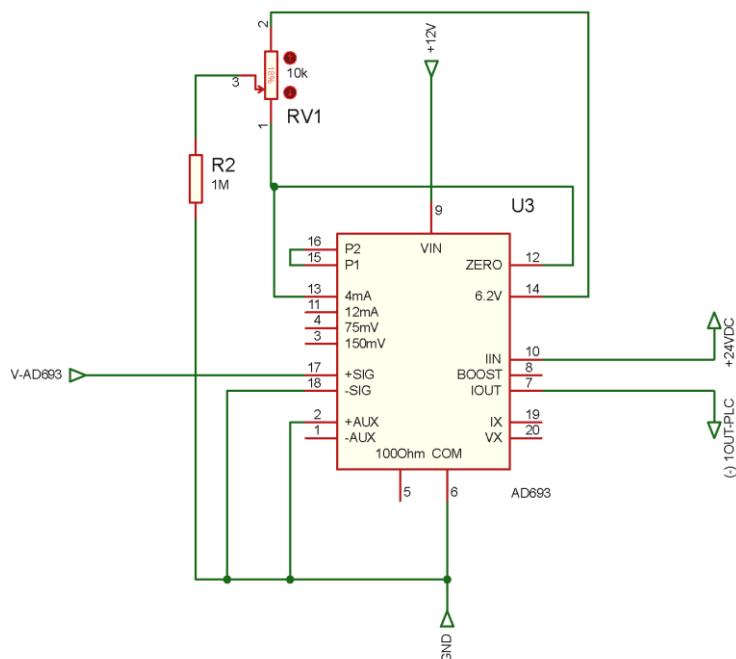


Figura 35: Acondicionamiento AD693.

$$RV_1 = \left(\frac{1.6V}{I_A} \right) - 400 \Omega \quad \text{Ec. 7}$$

$$R2 = RV_1 * \frac{3.1V}{15mV} + I_A * 3.75\Omega \quad \text{Ec. 8}$$

$$I_A = 200\mu A$$

$$RV_1 = \left(\frac{1.6V}{200\mu A} \right) - 400 \Omega = 7.6K \Omega$$

$$RV_1 \approx 10K \Omega$$

$$R2 = 7.6K \Omega * \frac{3.1V}{15mV} + 200\mu A * 3.75\Omega = 1.5M \Omega$$

$$R2 \approx 1M \Omega$$

b) Acondicionamiento Voltaje en Tubería Enterrada.

En la Figura 36 se muestra el diagrama de acondicionamiento del voltaje inyectado por el rectificador, el cual se mide entre la cama anódica y el negativo del rectificador con una caída de tensión de 0-60Vdc correspondiente al voltaje en la tubería metálica enterrada.

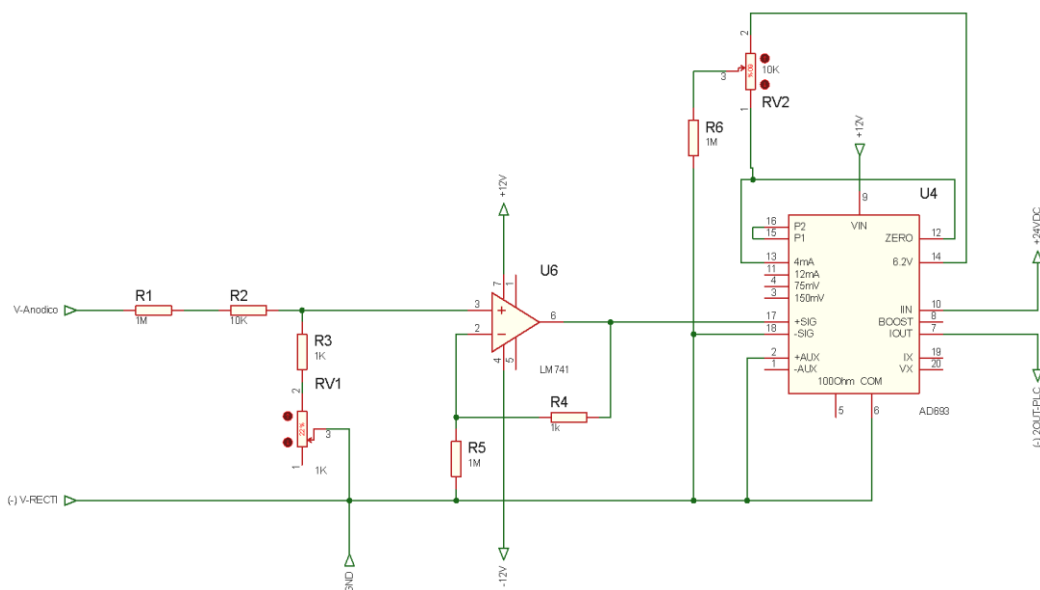


Figura 36: Acondicionamiento Voltaje en Tubería Enterrada.

El voltaje ingresa a un divisor de tensión (Ec. 9) con una relación directamente proporcional a 1/1000 para obtener valores de $V_{Divisor}$ de 0-60mV y tener un voltaje adecuado para el ingreso al AD693 para su posterior conversión a corriente en un rango de 4-20mA.

En la Figura 37 se encuentran los cálculos del divisor de tensión para obtener la respectiva relación antes mencionada.

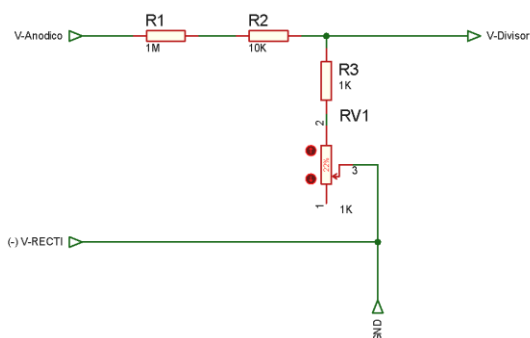


Figura 37: Cálculos Divisor de Tensión.

$$V_{Divisor} = I_a * R_T \tag{Ec. 9}$$

$$I_a = \frac{V_{Anodico}}{R_T}$$

$$I_a = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1000000 + 10000 + 1000}$$

$$I_a = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1011000}$$

$$V_{\text{Divisor}} = I_a * R_3$$

$$V_{\text{Divisor}} = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1011000} * 1000$$

$$V_{\text{Divisor}} = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1011} \text{ mV}$$

Se acopla impedancias entre el divisor de tensión V_{Divisor} representado en la Figura 37 y el AD693 mediante un LM741 con configuración no inversor y con ganancia de 1 dando como resultado el voltaje V_{AD693} (Ec. 10) lo cual se puede observar en la Figura 38.

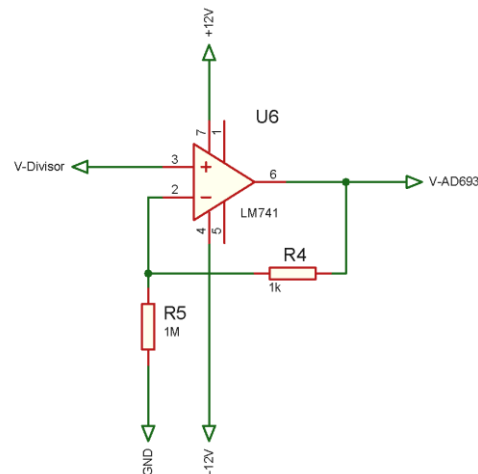


Figura 38: Acople de Impedancias AD693 y Divisor de Tensión.

$$V_{\text{AD693}} = V_{\text{Divisor}} * \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) \quad \text{Ec. 10}$$

$$V_{\text{AD693}} = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1011} * \left(1 + \frac{1000}{1000000}\right)$$

$$V_{\text{AD693}} = \frac{V_{\text{Anodico}}}{1011} * (1 + 0.001)$$

$$V_{\text{AD693}} = \frac{1.001 * V_{\text{Anodico}}}{1011} \text{ mV}$$

El voltaje V_{AD693} es ingresado al circuito integrado AD693 el cual genera un lazo de corriente de 4-20mA con una alimentación de 24Vdc, la configuración del AD693 se encuentra en la Figura 39 para lo cual se utilizaron las ecuaciones Ec. 11 y Ec. 12.

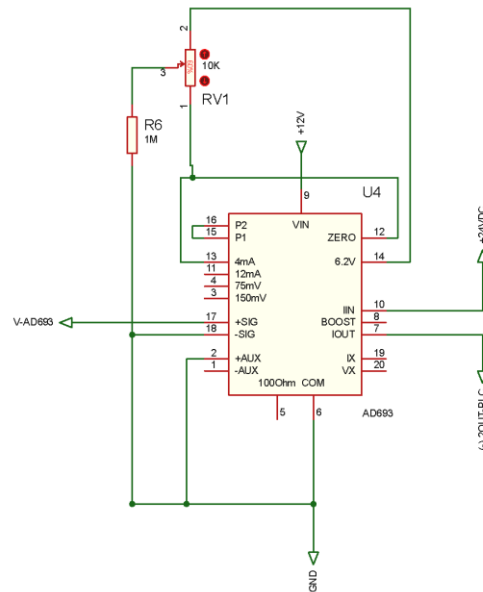


Figura 39: Acondicionamiento AD693.

$$RV_1 = \left(\frac{1.6V}{I_A} \right) - 400 \Omega \quad \text{Ec. 11}$$

$$R_6 = RV_1 * \frac{3.1V}{15mV} + I_A * 3.75\Omega \quad \text{Ec. 12}$$

$$I_A = 200\mu A$$

$$RV_1 = \left(\frac{1.6V}{200\mu A} \right) - 400 \Omega = 7.6K \Omega$$

$$RV_1 \approx 10K \Omega$$

$$R_6 = 7.6K \Omega * \frac{3.1V}{15mV} + 200\mu A * 3.75\Omega = 1.5M \Omega$$

$$R_6 \approx 1M \Omega$$

c) Circuito de Sincronización.

En la Figura 40 se muestra el circuito de sincronización el cual utiliza un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) UBLOX NEO-6M que se comunica con varios satélites mediante el protocolo NMEA V3.01 que es un estándar de comunicación. Este protocolo ofrece la información en forma de sentencias o mensajes donde los datos están en caracteres ASCII y son enviados desde los satélites claramente separados por comas, a su vez el UBLOX envía los datos de los satélites mediante el protocolo RS-232 a un ATMEGA328.

El ATMEGA328 trabaja con un oscilador externo de cristal de 16MHz permitiendo generar pulsos cada segundo de 500ms en alto y 500ms en bajo, además cada minuto genera 5 pulsos de 50ms en alto y 50ms en bajo dando un total de 500ms.

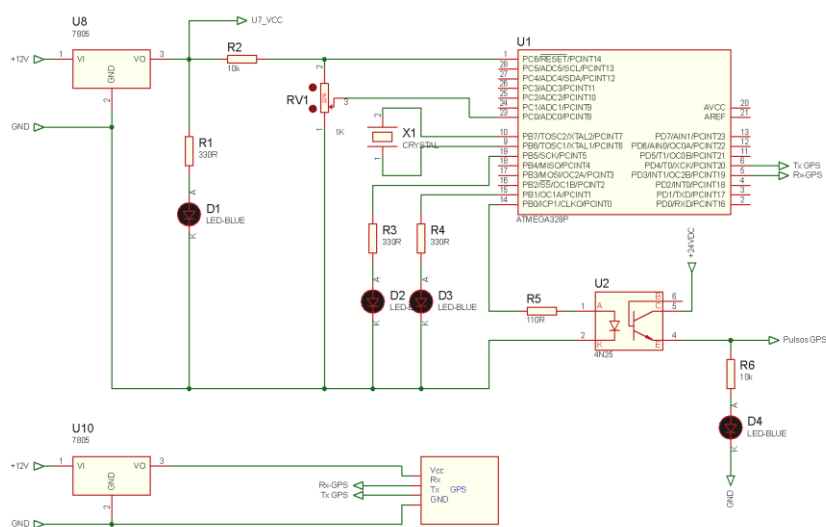


Figura 40: Circuito de Sincronización.

Los pulsos de sincronismo son enviados al PLC RIO-01 mediante un opto acoplador 4N25 con valores de 0-24Vdc@10mA lo cual protegerá las entradas del PLC, en la Figura 41 se muestra la configuración del 4N25 y la Ec. 13 para limitar la corriente.

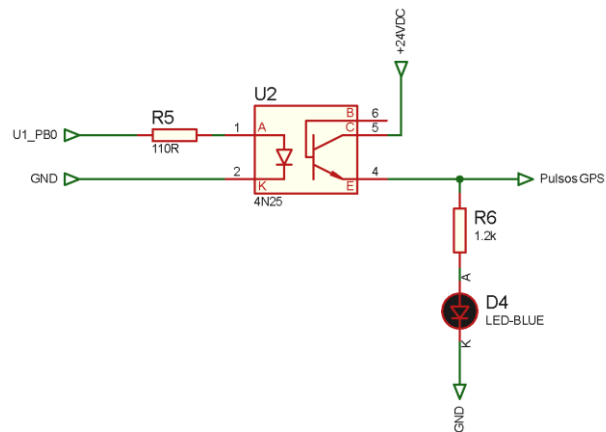


Figura 41: Configuración de Opto acoplador 4N25.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$U_{1_{PB0}} = 5V$$

$$I_{U2} = 50mA$$

$$R_5 = \frac{5V}{50 * 10^{-3}A}$$

$$R_5 = 100 \Omega$$

$$I_{D4} = 15mA$$

$$R_6 = \frac{24V}{15 * 10^{-3}A}$$

$$R_6 = 1.6K \Omega$$

Ec. 13

d) Acondicionamiento Salida PLC.

Se utiliza una salida analógica del PLC de 4-20 mA para generar los pulsos de interrupción de acuerdo al periodo seleccionado por el usuario, esta señal se la convierte a voltaje (Ec. 14) mediante una resistencia R1 teniendo valores de 1.5 a 6.6 V. Este voltaje debe ser acoplado a la etapa de control del Relé OPTEC TD20D46 el cual requiere voltaje entre 4-32Vdc para activarse y permitir la interrupción de corriente en la carga.

Mediante un amplificador operacional en configuración no inversor y con una ganancia de uno (Ec. 15) se acoplan las impedancias para un mejor funcionamiento y con un transistor 2N3904 se realiza la activación del relé como se muestra en la Figura 42.

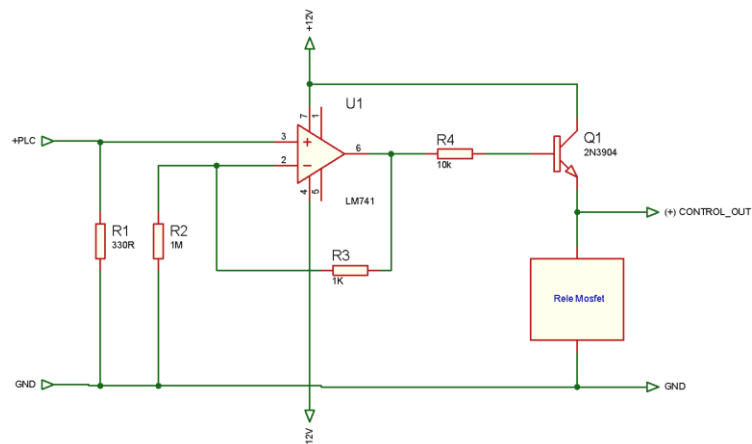


Figura 42: Acondicionamiento Salida PLC.

$$V = I * R$$

$$I_{PLC_{MIN}} = 4mA$$

$$V_{PLC_{MIN}} = 4 * 10^{-3} A * 330\Omega$$

$$V_{PLC_{MIN}} = 1.32V$$

Ec. 14

$$I_{PLC_{MAX}} = 20mA$$

$$V_{PLC_{MAX}} = 20 * 10^{-3} A * 330\Omega$$

$$V_{PLC_{MAX}} = 6.6V$$

$$V_{LM741} = V_{PLC} * \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)$$

Ec. 15

$$V_{LM741} = V_{PLC} * \left(1 + \frac{1000}{1000000}\right)$$

$$V_{LM741} = V_{PLC} * (1 + 0.001)$$

$$V_{LM741} = V_{PLC} * 1.001 V$$

2.4.7. Construcción del Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

a) Implementación del circuito en Protoboard.

Se realiza la implementación utilizando los siguientes materiales:

- Fuente AC/DC
- UBLOX NEO-6M
- Fuente de poder
- Circuitos integrados LM741, AD693, 4N25, etc.

La cual servirá para simular los valores de voltaje que tiene el rectificador trifásico de la estación de bombeo de SSFD utilizado en la protección catódica de la línea de crudo - diésel.

Concluido la etapa de diseño del circuito de acondicionamiento y sincronización se procede a su implementación en protoboard Figura 43 con todos los circuitos integrados LM741, 4N25, AD693, el GPS UBLOX NEO-6M y elementos pasivos.

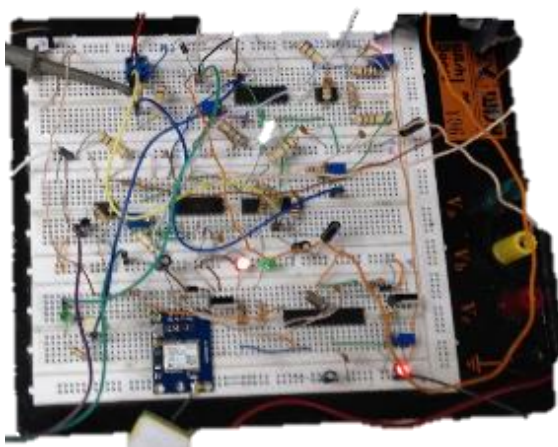


Figura 43: Implementación del Circuito de Acond. y Sinc.

Se conecta la fuente de alimentación AC/DC ya construida Figura 44 la cual alimentará al circuito de acondicionamiento y sincronización implementada en el protoboard.



Figura 44: Fuente Alimentación AC/DC.

Por ultimo para comprobar su correcto funcionamiento se aplica voltajes y corrientes similares a las del rectificador trifásico de SSFD mediante una

fuelle de poder externa utilizada en el taller de instrumentos del NPF-BLOQUE16 REPSOL que se encuentra en la Figura 45.



Figura 45: Fuente de Poder DC.

b) Ruteado de Pistas Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

En el software ARES se realizan las pistas a doble lado correspondientes al circuito de acondicionamiento y sincronización considerando los tamaños reales de los elementos a ser utilizados y con las correcciones respectivas como se muestra en la Figura 46 y una representación en 3D Figura 47.

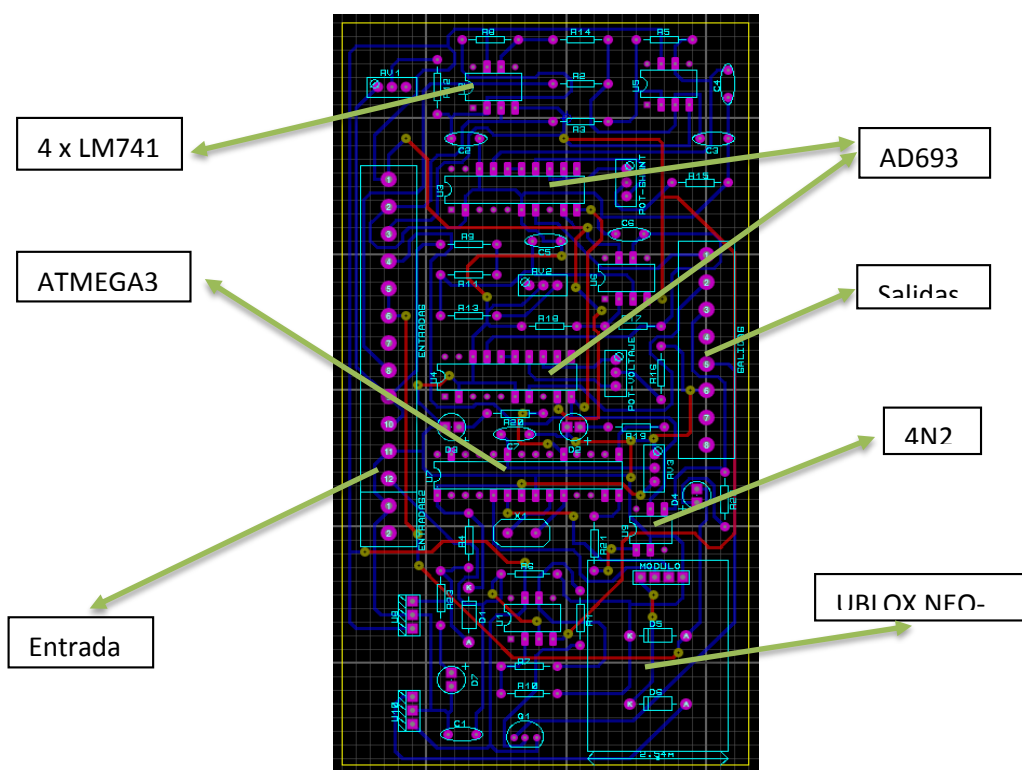


Figura 46: Ruteado Pistas Circuito de Acond y Sinc.

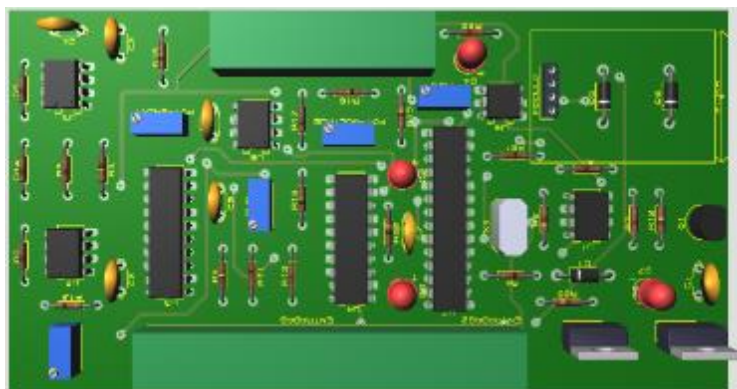


Figura 47: Vista 3D del Circuito de Acond y Sinc.

c) Construcción del Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

Para la construcción se utilizó una Fresadora CNC la cual permite mayor precisión al momento de realizar las pistas, además al ser la PCB a doble lado se aprovecha de mejor manera los espacios.

Contiene una capa da antisolder para evitar que la humedad afecte las pistas de cobre y pueda ocurrir un corto circuito como se muestra en la Figura 48.



Figura 48: Circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

CAPITULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO

3.1. CALCULO DE DIMENSIONES DEL TABLERO ELÉCTRICO.

Se toma las medidas exactas de los distintos elementos que componen el sistema de monitoreo y control remoto, valores reflejados en la Tabla 15 que servirán para determinar las medidas mínimas del tablero eléctrico basado en la Sección sobre Tableros de Baja Tensión de la Norma IEC 61439.

Tabla 15:

Medidas Elementos del Sistema.

Cálculos Medidas			
Elemento	Ancho	Alto	
Fuente AC/DC	7,4	13,8	cm
Adq. Y Control.	6	13	cm
Relé	5	6	cm
Borneras	6	13	cm
Breaker	7,5	8,8	cm
Total	31,9	54,6	cm

Con las medidas exactas se procede a calcular el área que necesitan los elementos:

$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$\text{Área} = 1742\text{cm}^2$$

El área requerida por todos los elementos es equivalente a un tablero eléctrico NEMA 3 con protección IP64 obtenido de REPSOL SPF con las siguientes medidas:

$$\text{Ancho} = 40\text{cm} \text{ y } \text{Alto} = 60\text{cm}$$

$$\text{Área} = 2400\text{cm}^2$$

3.2. SELECCIÓN DE CABLES Y PROTECCIONES DEL SISTEMA.

3.2.1. Selección de Cables Internos.

Los valores máximo manejados por las señales de control del sistema son de $+12\text{Vdc}@100\text{mA}$, la fuente AC/DC tiene valores máximos de $110\text{Vac}@2\text{A}$ y para las señales de potencia se considera como máximo $60\text{Vdc}@25\text{A}$.

La Tabla 16 muestra los calibres de cables AWG utilizados para las conexiones internas del tablero eléctrico:

Tabla 16:

Selección de Cables.

Carga Máxima del Tablero Eléctrico					
Señal	Voltaje		Corriente		AWG
Control DC	12	Vdc	100	mA	16
Alimentación AC	110	Vac	2	A	16
Potencia Rect.	60	Vdc	25	A	10

Se utiliza el aislamiento del cable de acuerdo a la temperatura ambiente al cual se va someter, los cables a utilizarse son:

- d) THW-LS – THHW-LS (16AWG) 600V 75°C / 90°C.
- e) THW-LS – THHW-LS (10AWG) 600V 75°C / 90°C.

3.2.2. Selección de Protecciones para el Sistema.

Se utiliza un Breaker Merlin Gerin C60N C4 de $200\text{V}@4\text{A}$ como interruptor y un fusible de acción rápida de $200\text{V}@2\text{A}$ para protección de la fuente AC/DC, dos fusibles $200\text{V}@0.5\text{A}$ para proteger al circuito de adquisición y sincronización, la corriente nominal de la fuente es de $I_n=800\text{mA}$ y el corriente que debe disparar el fusible es de $I=2.5I_n=2\text{A}$.

La Figura 49 muestra las gráficas de la corriente nominal, corriente de corto circuito y la curva característica del fusible, de esta manera se puede determinar que el sistema está protegido.

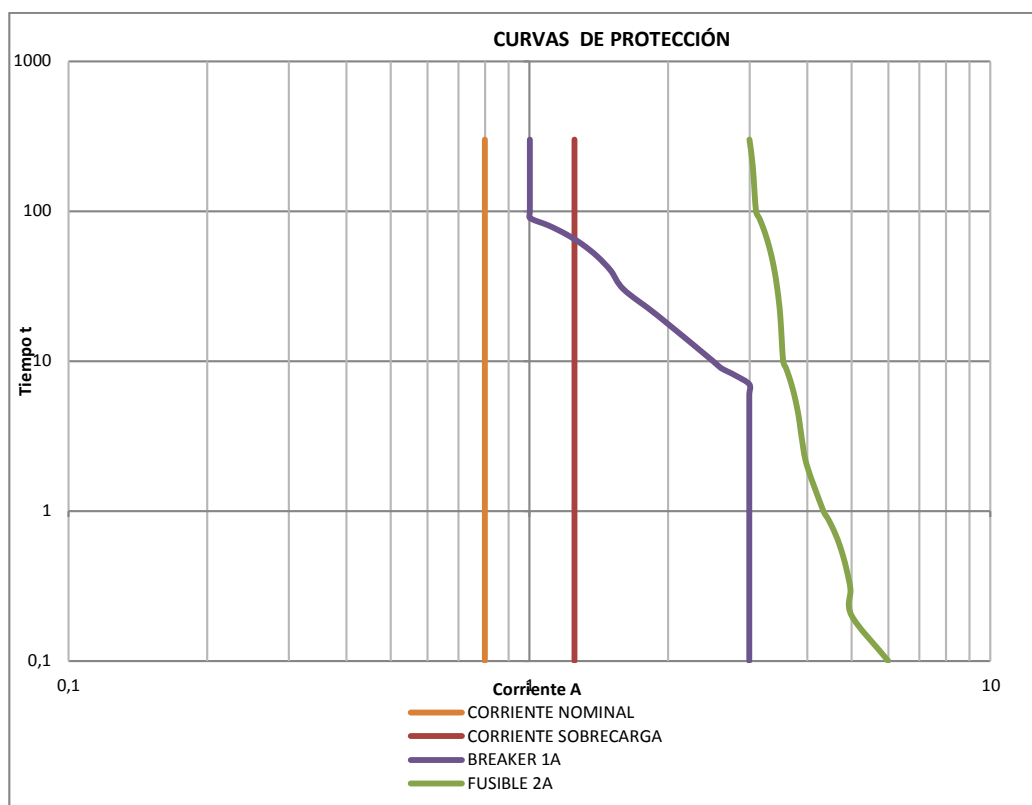


Figura 49: Graficas de Fusible, In e Ic.

El Breaker Merlin Gerin C60N C4 y el fusible 200V@2A serán conectados en serie para proteger la Fuente AC/DC de un corto circuito y habilitar o deshabilitar el sistema, los fusibles de 200V@0.5A serán conectados a la salida de voltaje de la Fuente AC/DC de +12Vdc y -12Vdc respectivamente. Los elementos de protección se muestran en la Figura 50 y el Anexo A.

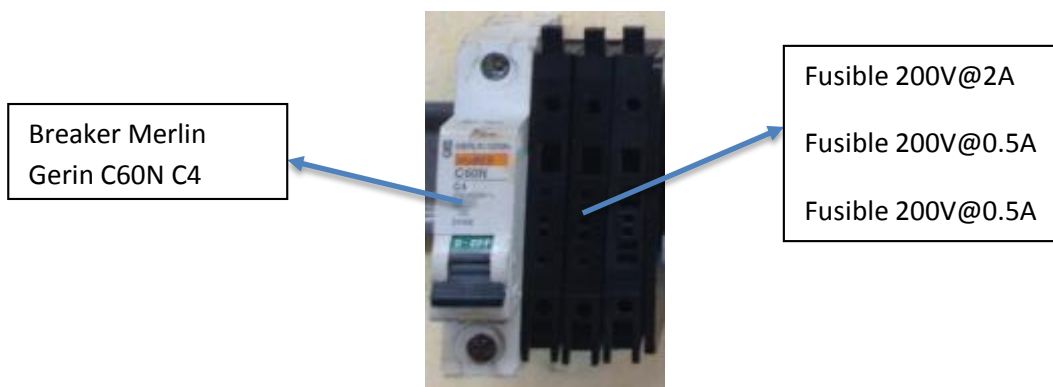


Figura 50: Breaker y Fusibles para Protección del Sistema.

3.3. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EN EL TABLERO ELÉCTRICO.

3.3.1. Selección de Canaletas.

Para la selección de las canaletas se toma en cuenta el área transversal del cable a ser conducido y la cantidad de cables que irán por la canaleta, también se debe considerar la temperatura ambiente a la cual estará sometido el tablero eléctrico.

Se tiene los cables 10 y 16 AWG los cuales estarán en una cantidad de 2 y 20 unidades respectivamente dentro de la canaleta dando un área de 36.52 mm² como lo muestra la Tabla 17.

Tabla 17:

Calculo del Área Requerida por los Cables.

Cálculo Canaleta				
AWG	Área	Cantidad	Área Total	
16	1,3	40	52	mm2
10	5,26	2	10,52	mm2
Total			62,52	mm2

La canaleta ranurada de la Figura 51 cumple con las condiciones del diseño es una de 25x40mm dando un área transversal de 1000mm².



Figura 51: Medidas de la Canaleta Seleccionada.

3.3.2. Distribución de los Elementos en el Tablero Eléctrico.

Según la Norma IEC 61439 sección de distribución de tableros eléctricos se realiza un esquema representado en el Anexo B el cual muestra la distribución de los elementos realizado en un software CAD.

El software permite ingresar las medidas exactas de todos los elementos que componen el sistema de monitoreo y control remoto, se debe considerar un espacio entre la canaleta y los elementos de 50mm para poder maniobrar con los cables.

Comprobado que todos los elementos tienen su espacio adecuado se procede a la implementación física en el tablero eléctrico.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO.

3.4.1. Tablero Eléctrico.

Se debe comprobar el tablero eléctrico que se muestra en la Figura 52 para determinar que no exista ingreso de agua ni polvo y cumpla con las especificaciones NEMA3 y grado de protección IP64.



Figura 52: Tablero Eléctrico Nema3 IP64.

3.4.2. Disposición Elementos.

Se disponen los elementos sobre la base que ira en el interior del tablero eléctrico para comprobar que las medidas estén de acuerdo a lo diseñado, y cumplan con la Norma IEC 61439. En la Figura 53 se puede observar la disposición de los elementos sobre la base.

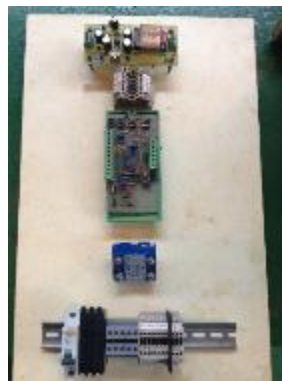


Figura 53: Contra Fondo de Madera.

Se procede al montaje de la Riel DIN y las canaletas de acuerdo a lo especificado en el diseño anterior dejando el espacio suficiente para la Fuente AC/DC, el circuito de acondicionamiento y sincronización, como también para el relé de estado sólido. En la Figura 54 se puede apreciar el montaje de todos los elementos que componen el sistema.

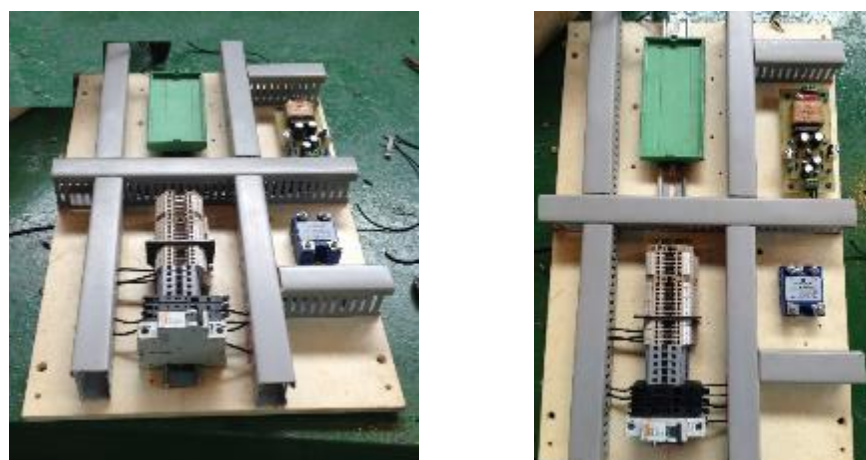


Figura 54: Disposición de Elementos en Contra Fondo.

3.4.3. Cableado Interno Tablero Eléctrico.

Con el cable 16 AWG se realizan todas las conexiones internas del tablero eléctrico excepto las de potencia las cuales son con el cable 10 AWG. El esquema de conexiones corresponde al Anexo A.

Las conexiones finales del tablero eléctrico deben realizarse de tal manera que ocupen toda la canaleta y este bien distribuido por todo el tablero como se puede observar en la Figura 55.



Figura 55: Cableado Tablero Eléctrico.

3.4.4. Soldadura de Soportes y Conectores para Tablero Eléctrico.

Los soportes del tablero eléctrico Figura 56 son ángulos de 1 pulgada soldados a la columna de la planta de bombeo en Shushufindi, se debe considerar una altura adecuada desde el suelo para obtener un buen acceso a los elementos internos del tablero.



Figura 56: Soldadura Soportes Tablero Eléctrico.

En las conexiones externas descritas en el Anexo C se utilizan los siguientes cables:

- a) 2 Cables Armados 1Pr x 16AWG utilizados para llevar los voltajes del Shunt y la Tubería desde el rectificador hacia el tablero de control.
- b) 2 Cables Armados 3C x 10AWG utilizados para alimentar el tablero de eléctrico con 110V y conectar el voltaje de potencia.
- c) 1 Cable Armado 4Pr x 16AWG utilizado para conectar las señales del PLC RIO-01 hacia el tablero eléctrico.

Los conectores utilizados son TMCX y HUBS de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", para lo cual se hace los respectivos orificios en el tablero eléctrico, rectificador y armario eléctrico del PLC RIO-01. Para los orificios en los diferentes equipos se utiliza una ponchadora hidráulica la cual facilita el trabajo y no permite deformar las latas de los tableros.



Figura 57: Orificios para Conectores TMCX y HUBS.

En la Figura 57 se puede visualizar los orificios terminados en los distintos elementos, se procede a colocar los conectores y realizar el cableado externo dejando una reserva de cable en el tablero eléctrico. Entre el rectificador y el tablero eléctrico se debe dejar enterrado el cable aproximadamente 50cm ya que no existe canaleta para llevar el cable.



Figura 58: Conectores TMCX y HUBS.

El Cable Armado 4Pr x 16AWG entre el tablero eléctrico y el PLC RIO-01 debe ser llevado por bandeja aérea existente en la estación de bombeo de Shushufindi.

En las Figura 58 y Figura 59 se representa en tendido para las conexiones con el tablero eléctrico.



Figura 59: Tendido de Cable en Bandeja Aérea SSFD.

3.5. PROGRAMACIÓN PLC.

En la programación original de la estación de bombeo de SSFD manejado por el PLC RIO-01 se debe crear una nueva rutina con el nombre del tag del rectificador el cual hace referencia a la protección catódica Figura 60.

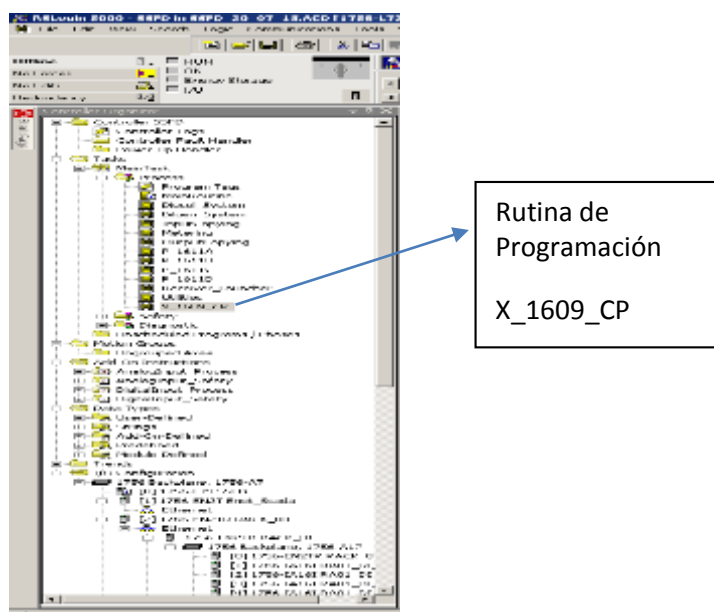


Figura 60: Crear Rutina de Programación.

Se inicia leyendo los valores de los lazos de corriente 4-20mA con las instrucciones de la Figura 61, los cuales representan los respectivos valores de voltaje tanto del Shunt como el voltaje inyectado a la tubería por el rectificador, valores que son enviados al PLC a dos entradas analógicas libres.



Figura 61: Configuración de Entrada Analógica.

Para el control se debe ingresar la señal de sincronismo como un tren de pulsos enviado desde el tablero eléctrico en un rango de 0-24Vdc@12mA desde una entrada analógica, como se muestra en la Figura 62.



Figura 62: Entrada Analógica Pulsos de Sincronismo.

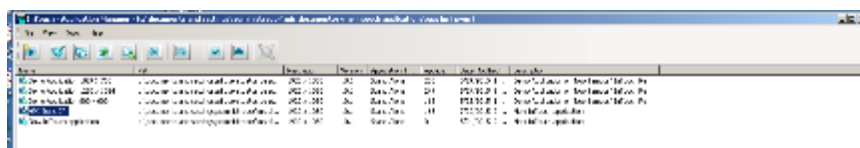


Figura 64: Creación del HMI.

El InTouch Maker es el encargado de diseñar nuevas aplicaciones en donde se puede encontrar imágenes animadas, textos, selectores, etc. Con todas las herramientas se procede a representar el sistema de protección catódica al cual se va a monitorear y ha controlado, ubicando los distintos indicadores del nivel de voltaje y amperaje que tendrá el sistema cuando esté en funcionamiento, en la Figura 65 se observa la pantalla de inicio de InTouch Maker.

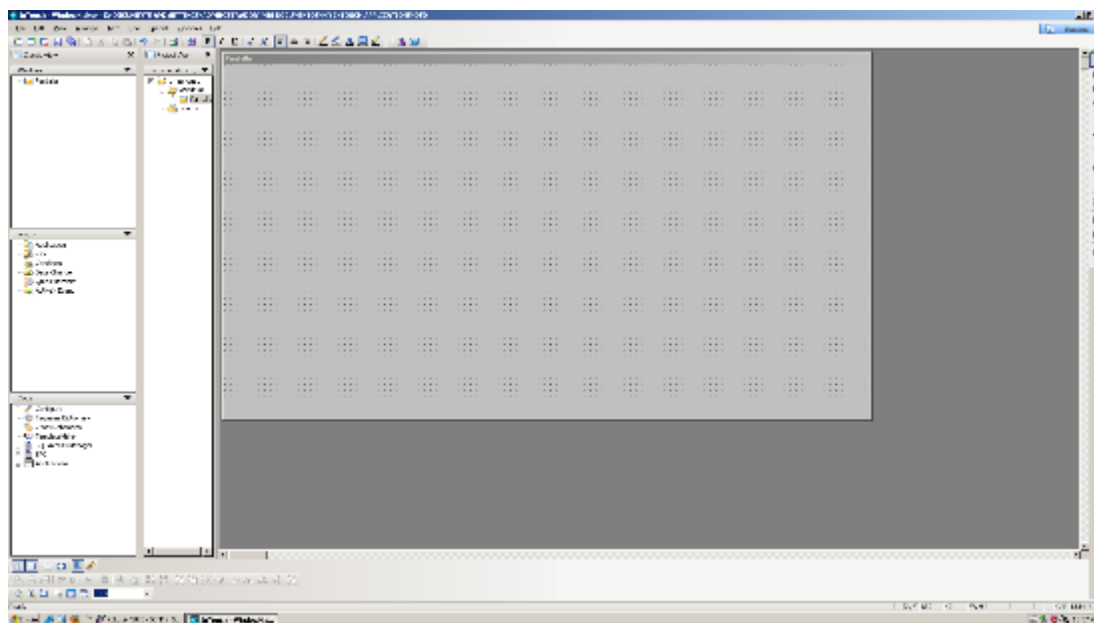


Figura 65: InTouch Maker.

En la Figura 66 se observa el HMI completo correspondiente al sistema de monitoreo y control remoto de la protección catódica, el cual está muy bien representado y consta con animaciones que facilitaran la manipulación al usuario.

Consta con un selector del periodo, tiempo en ON, tiempo en OFF, hora de inicio y hora de final que se desea, además la representación del voltaje y amperaje se lo realizo con indicadores.

Se puede elegir la condición de manual y automático la cual será elegida únicamente cuando se desea realizar un estudio en la línea caso contrario se deberá dejar en manual y encendido para que la línea enterrada se encuentre alimentada con voltaje.

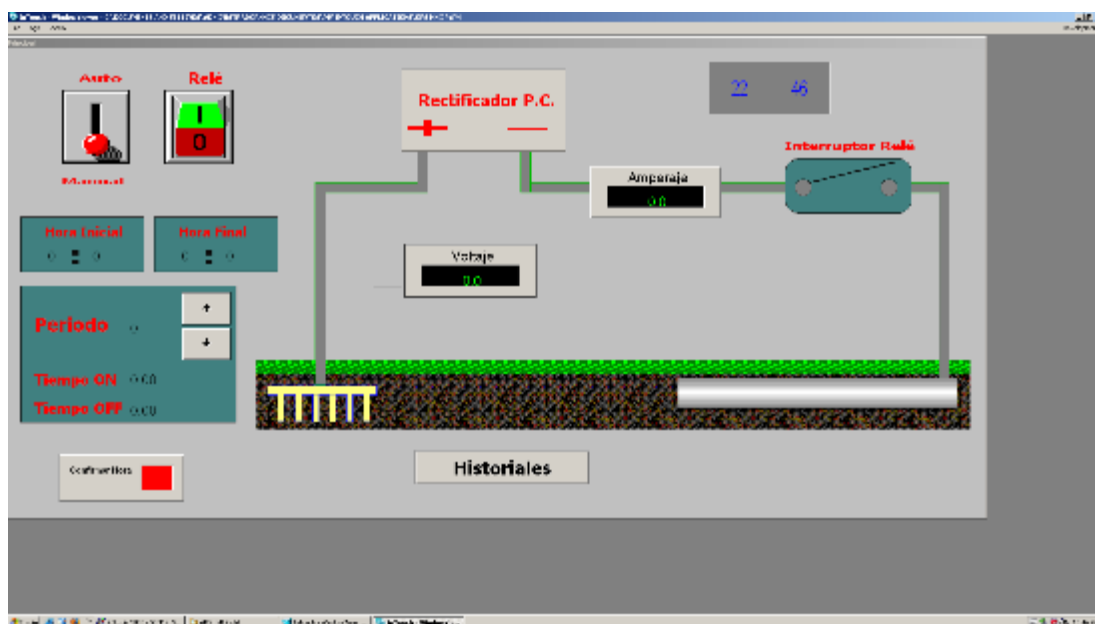


Figura 66: HMI Protección Catódica.

3.7. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

3.7.1. Obtención de materia prima.

En la Tabla 18 se encuentra el proceso para la obtención de las baquelitas, materia prima utilizada para la realización de los circuitos impresos del sistema.

Tabla 18:**Diagrama de obtención de materia prima.**

Designación	Máquina y/o Equipo	Características
M1	Cortadora Baquelita CNC RUK	800mm/s 220 Va

En la Tabla 19 se encuentra las operaciones tecnológicas aplicadas a partir de una plancha de baquelita con medidas de 1.000X1.000X2 mm de la cual se obtendrá baquelitas de 200X200X2 mm para utilizarlas en la construcción de los circuitos electrónicos.

Tabla 19:**Operaciones Tecnológicas.**

Designación	Operaciones
1	Obtención de plancha de baquelita 1000X1000X2 mm
2	Traslado de área.
3	Cortado CNC en baquelitas de 200X200X2 mm
4	Traslado de área.
5	Almacenamiento.

En la Figura 67 se representa el diagrama de procesos para la obtención de la materia prima requerida para la construcción de los circuitos impresos del sistema de monitoreo y control remoto.

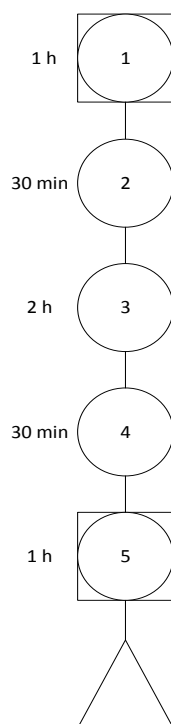


Figura 67: Obtención de materia prima.

3.7.2. Diagrama del proceso de construcción de la fuente AC/DC.

En la Tabla 20 se detalla las máquinas y equipos utilizados en la construcción la fuente de poder AC/DC bajo el método de la plancha para circuitos impresos.

Tabla 20:

Máquinas y Equipos.

Designación	Máquina y/o Equipo	Características
M1	Plancha	1200 Watts 120 Vac Temperatura Variables
M2	Taladro DREMEL	130 Watts 120 Vac 10.000 – 30.000 Rpm
M3	Cautín Kobalt	30/60 Watts 120 Vac

Las herramientas y accesorios auxiliares se encuentran en la Tabla 21.

Tabla 21:

Herramientas y Accesorios

Designación	Herramientas y Accesorios
H1	Tijeras
H2	Segueta de Madera
H3	Lija para Cobre
H4	Brocas 0.7mm
H5	Estaño
H6	Regla
H7	Lápiz

En la Tabla 22 se encuentran las operaciones tecnológicas utilizadas, las cuales corresponden a diferentes actividades encaminadas a la obtención de la placa de circuito impreso de la Fuente AC/DC utilizada en el sistema de monitoreo y control remoto.

Tabla 22:

Operaciones Tecnológicas

Designación	Operaciones
1	Recortar diagrama del circuito impreso.
2	Traslado de área.
3	Medición y trazado del área del circuito en la baquelita.
4	Recortar la baquelita.
5	Lijado y limpieza de baquelita.
6	Traslado de área.
7	Adherir el papel con el circuito impreso sobre la baquelita.
8	Aplicar calor con la plancha.
9	Colocar la baquelita en agua.
10	Retirar el papel de la baquelita.
11	Sumergir la baquelita en ácido clorhídrico.
12	Lijar los remanentes de cobre.

Continúa








13	Traslado de área.
14	Perforar los pads de la placa.
15	Montaje de los elementos del circuito.
16	Traslado de área.
17	Soldar con estaño.

Se representan las diferentes operaciones tecnológicas para la construcción del circuito impreso correspondiente a la Fuente AC/DC en la Tabla 23.

Tabla 23:

Simbología del diagrama de procesos.

SIMBOLO	SIGNIFICADO
	Operación Tecnológica
	Inspección
	Traslado o Transporte
	Almacenamiento
	Espera

En la Figura 68 se puede identificar el diagrama del proceso de construcción de la Fuente AC/DC bajo el método de la planta y los respectivos tiempos utilizados para las operaciones.

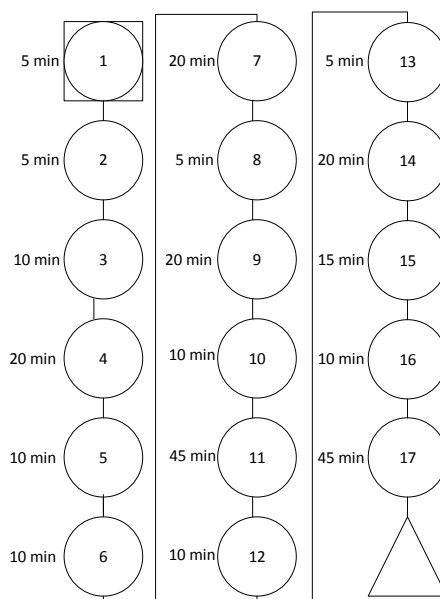


Figura 68: Construcción de la Fuente AC/DC.

3.7.3. Diagrama del proceso de construcción del circuito de Acondicionamiento y Sincronización.

En la Tabla 24 se detalla las máquinas y equipos utilizados en la construcción del circuito de acondicionamiento y sincronización con una fresadora CNC.

Tabla 24:

Máquinas y Equipos.

Designación	Máquina y/o Equipo	Características
M1	Fresadora LY CNC 3020	120 Vac, Dimensiones 550*400*350mm, Husillo 0-8000rpm, x y z 300x200x45mm-
M12	Computadora Asus	Intel (R) Core (TM) i7 CPU @ 2.5Ghz Ram 16 GB
M3	Cautín Kobalt	30/60 Watts 120 Vac

Las herramientas y accesorios auxiliares se encuentran en la Tabla 25.

Tabla 25: Herramientas y Accesorios

Designación	Herramientas y Accesorios
H1	Segueta de Madera
H2	Fresa 0.5mm
H3	Estaño
H4	Regla
H5	Lápiz

En la Tabla 26 se encuentran las operaciones tecnológicas utilizadas, las cuales corresponden a diferentes actividades encaminadas a la obtención del circuito de acondicionamiento y sincronización.

Tabla 26:

Operaciones Tecnológicas

Designación	Operaciones
1	Medición y trazado del área del circuito en la baquelita.
2	Recortar la baquelita.
3	Traslado de área.
4	Diseño CAD de las pistas del circuito.
5	Generación de Códigos-G.
6	Traslado de área.
7	Montaje de baquelita en área de fresado.
8	Fresado CNC de las pistas en baquelita.
9	Taladrado CNC de los pads.
10	Traslado de área.
11	Montaje de los elementos del circuito.
12	Soldar con estaño.

En la Figura 69 se puede identificar el diagrama del proceso de construcción del Circuito de Acondicionamiento y Sincronización mediante la utilización de una fresadora CNC.

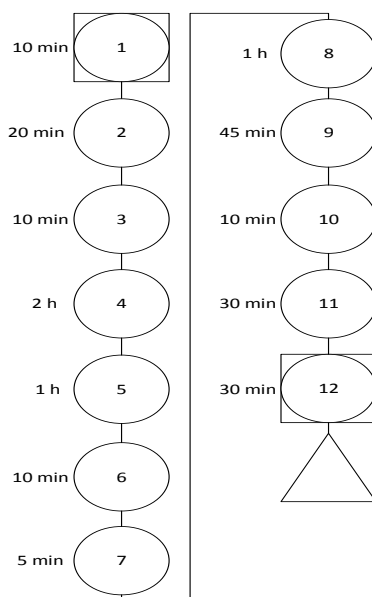


Figura 69: Construcción de la Fuente AC/DC.

3.7.4. Proceso de montaje.

Las operaciones de montaje del sistema de monitoreo y control remoto se describen en la Tabla 27

Tabla 27:

Operaciones de Montaje del Sistema.

Operación de Montaje	Código
Montaje de la Fuente AC/DC.	m1
Montaje del Circuito de Adquisición y Sincronización.	m2
Montaje elementos de protección del sistema.	m3
Cableado interno del tablero eléctrico.	m4
Sujeción del tablero con soldadura a base de la estación SSFD.	m5
Cableado externo del tablero eléctrico.	m6

En la Figura 70 se encuentran el diagrama del proceso de montaje del sistema de monitoreo y control remoto.

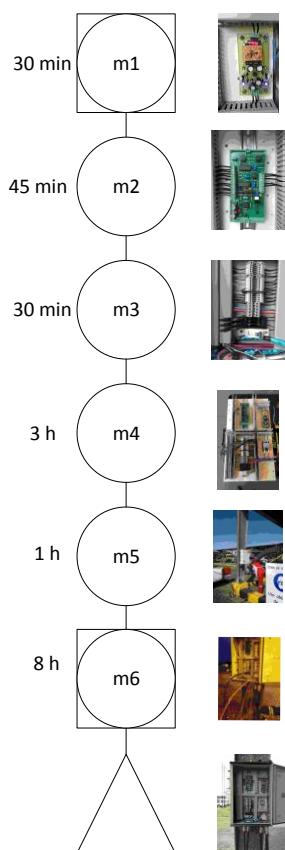


Figura 70: Diagrama de Montaje.

CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y VALIDACIÓN

4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Se procede a realizar una medición de potenciales de protección poste a poste en las líneas enterradas de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas en el tramo PPY-SSFD bajo dos tipos de condiciones:

- a) Utilizando el interruptor RadioDetection conectado al rectificador trifásico.
- b) Utilizando el sistema de monitoreo y control remoto conectado al rectificador trifásico.

Los tiempos configurados para la medición es de 4 segundos en ON y 1 segundo en OFF, los datos serán recolectados por una colectora tipo multímetro utilizado especialmente en la protección catódica junto con un bastón con una celda de referencia de Cu/CuSO₄.

En las Figura 71 se muestra la toma de datos junto con el personal del Departamento de Mantenimiento Estático, las pruebas se las realiza en los postes EP PF16 y EP PF14.



Figura 71: Medición de Potenciales Poste a Poste.

Con la colectora se puede obtener la gráfica de los potenciales en los tiempos antes mencionados para su posterior análisis con lo cual que se puede determinar si la tubería se encuentra protegida, sobreprotegida o existe alguna falla en el recubrimiento.

La grafica obtenida con el Interruptor RadioDetection debe ser similar a la obtenida con el sistema de monitoreo y control remoto para determinar que no existe algún comportamiento erróneo por parte del sistema implementado, y que es válido para su posterior utilización.

4.1.1. Interruptor RadioDetection.

Las siguientes graficas fueron obtenidas con la conexión del Interruptor RadioDetection en el rectificador trifásico que alimenta las líneas de crudo – diésel, se configuro el interruptor para que su hora de inicio sea a 6:30 y su hora de finalización sea 18:30.

En la Figura 72 se representa la gráfica de los potenciales de la línea de crudo medida en el poste EP PF 16 utilizando el interruptor RadioDetection.

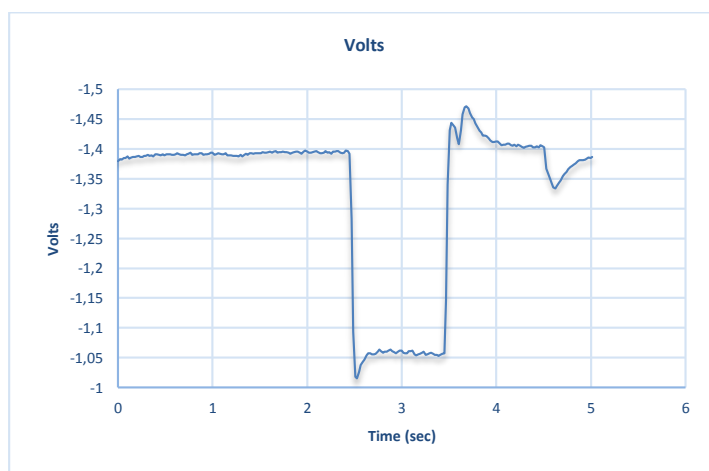


Figura 72: Potenciales con RadioDetection EP PF 16 Crudo.

En la Figura 74 se puede observar la gráfica de potenciales de la línea EP PF 16 de diésel, que tiene un potencial similar a la de crudo.

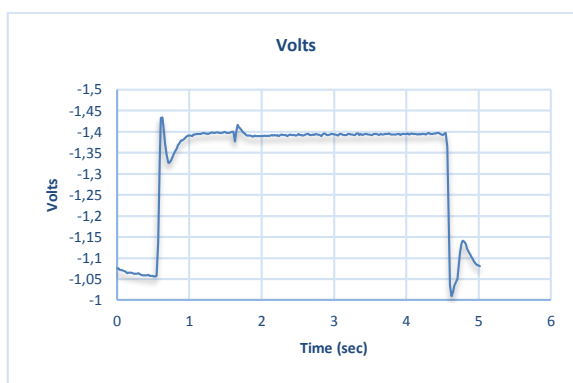


Figura 73: Potenciales con RadioDetection EP PF 16 Diésel.

Se procede a medir los potenciales en el siguiente poste que es el EP PF 14 en la línea de crudo, la gráfica de los potenciales se puede observar en la Figura 74.

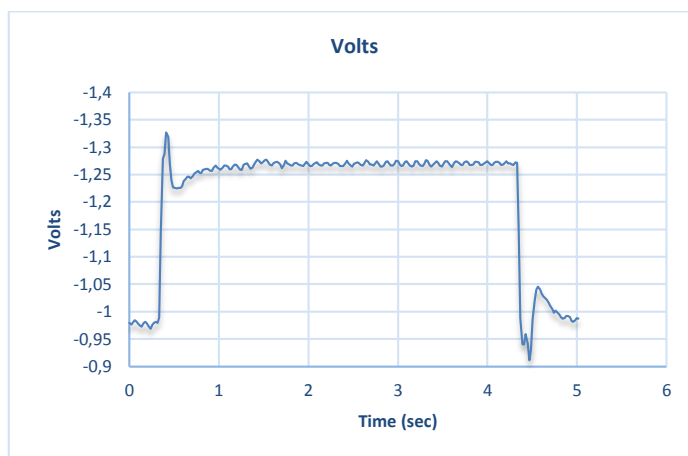


Figura 74: Potenciales con RadioDetection EP PF 14 Crudo.

Por último se mide los potenciales en el mismo poste pero en la línea de diésel dando como resultado la Figura 75.

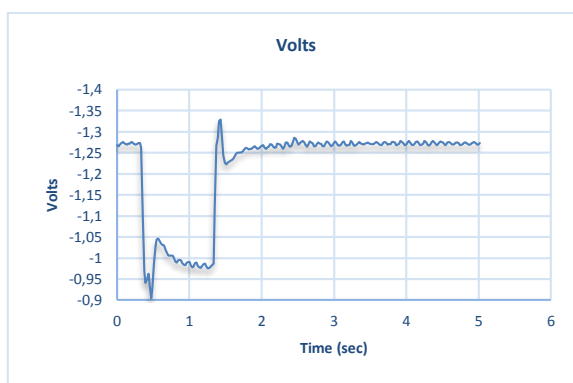


Figura 75: Potenciales con RadioDetection EP PF 14 Diésel.

4.1.2. Primera Prueba Sistema de Monitoreo y Control Remoto.

Se pone en marcha el sistema de monitoreo y control remoto configurándolo para que su hora de inicio sea 6:30 y su hora de finalización sea 18:30, se procede a realizar las primeras mediciones de potenciales de protección en los mismos postes que se midió con el interruptor RadioDetection para analizar su comportamiento.

En la Figura 76 se muestra la primera toma de datos en la Ep PF 14 en la línea de crudo.

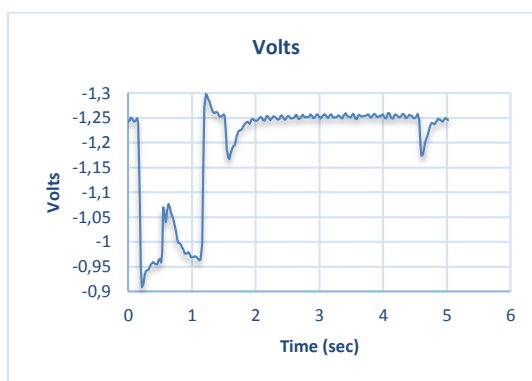


Figura 76: Sistema de Monitoreo en la EP PF 14 Crudo.

En la Figura 77 se puede observar los potenciales de la línea de diésel en el poste EP PF 14.

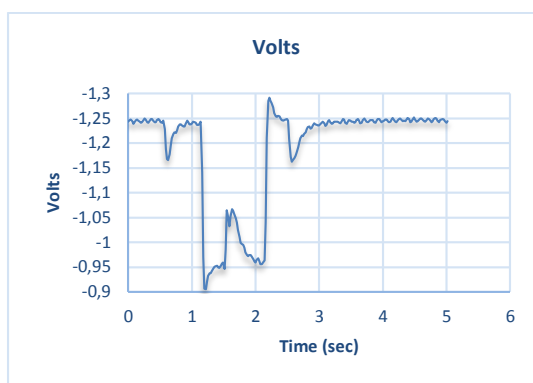


Figura 77: Sistema de Monitoreo en la EP PF 14 Diésel.

Se continúa con las mediciones de potencial en el poste EP PF 16 en la línea de crudo como lo muestra la Figura 78.

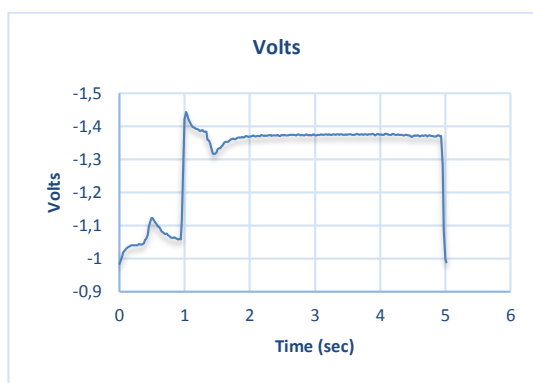


Figura 78: Sistema de Monitoreo en la EP PF 16 Crudo.

Se procede a tomar los datos de los potenciales en el poste EP PF 16 en la línea de diésel, concluyendo con las mismas mediciones realizadas con el interruptor conectado, lo cual se puede evidenciar en la Figura 79.

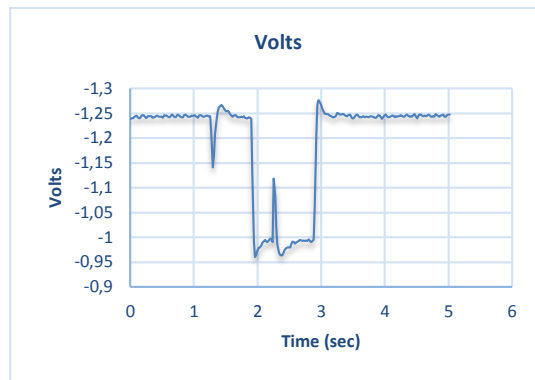


Figura 79: Sistema de Monitoreo en la EP PF 16 Diésel.

La medición de voltaje y amperaje fueron correctas se logró visualizar dichos valores en el HMI correspondiente, con un error aproximado del 2% entre la medida tomada directamente en el rectificador con un multímetro y el valor reflejado en el HMI.

Para las pruebas se comprobó que el rectificador estaba inyectado una corriente de 5 amperios y un voltaje de 10 voltios en corriente continua, cabe recalcar que las juntas dieléctricas que protegen la tubería no se encuentran en buen estado por lo que existe presencia de voltaje AC en la tubería enterrada proveniente de la estación de bombeo.

Esta presencia de voltaje AC en la tubería se puede interpretar como ruido en la línea que afecta a toma de datos, en la Figura 80.

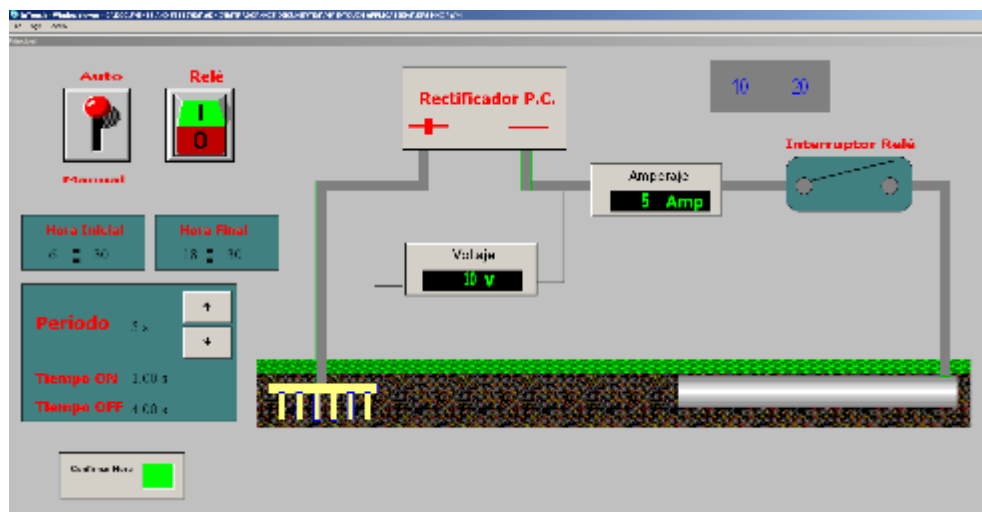


Figura 80: Comprobación HMI.

4.2. COMPARACIÓN DE GRÁFICAS.

Con los datos tomados por la colectora tipo multímetro tanto con el interruptor RadioDetection como con el sistema de monitoreo y control remoto en los mismos postes en las líneas de crudo y diésel, se procede a su comparación para determinar que no exista ningún desfase en los tiempos de ON y OFF.

También se debe verificar que los potenciales no se vean afectados ya que la más mínima variación puede ser interpretada como una falla en el recubrimiento y causar pérdidas económicas a la empresa.

En la Tabla 28 se muestra una comparación entre los datos obtenidos, en los cuales se puede evidenciar un desfase entre el interruptor y el sistema de monitoreo y control remoto.

Este desfase es de aproximadamente 400 mili segundos y se presenta de forma periódica, lo cual puede ser corregido mediante programación en el PLC ya que existen retardos innecesarios en las instrucciones utilizadas.

Se pudo verificar que el sistema es totalmente capaz de interrumpir el flujo de corriente desde el rectificador trifásico hacia las líneas de crudo y diésel. Adicionalmente se comprobó que los tiempos de ON y OFF son precisos, el desfase se da a la activación del primer pulso de ON.

Tabla 28:

Comparación Graficas de Potenciales.

Poste	RadioDetection	Sistema de M y CR
EP PF 16 Crudo		
EP PF 16 Diésel		
EP PF 14 Crudo		
EP PF 14 Diésel		

4.3. CORRECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE CONTROL.

Se identificó que existe un retardo en las instrucciones utilizadas lo que demora la activación del relé para interrumpir el flujo de corriente, es lo que se puede visualizar en las gráficas obtenidas al conectar el sistema de monitoreo y control.

Se realiza una mejora en la programación del PLC y se procede a tomar nuevamente los potenciales en los mismos postes para determinar si existe una mejora en el desfase identificado posteriormente, en la Tabla 29 se muestra la comparación entre las gráficas.

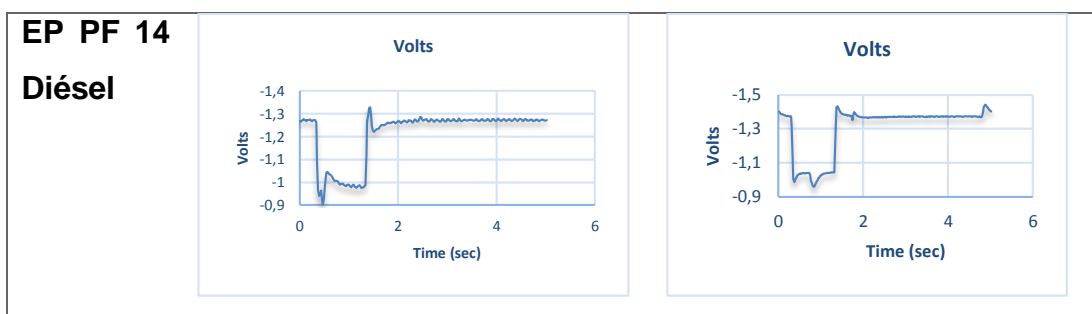
Tabla 29:

Corrección Desfase en la Activación ON-OFF.

Poste	RadioDetection	Sistema de M y CR
EP PF 16 Crudo		
EP PF 16 Diésel		
EP PF 14 Crudo		

Continua





Con esta corrección se logra tener un desfase mínimo de 0-100ms teniendo en el mejor de los casos un desfase de 0 siendo las gráficas exactamente las mismas.

Este desfase no presenta un mayor problema ya que es constante, no se lo puede confundir con un problema en el recubrimiento porque aparece únicamente al inicio de los estados ON-OFF y no aleatoriamente en la gráfica.

4.4. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

¿Es posible diseñar un sistema de monitoreo y control remoto de la protección catódica existente e implementar un prototipo en las líneas enterradas de Crudo y Diésel en el tramo Pompeya- Shushufindi para la EMPRESA REPSOL ECUADOR S.A.?

Se comprobó que sí, se puede diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control remoto cumpliendo con la medición del voltaje y amperaje inyectado por el rectificador trifásico a las líneas de crudo-diésel de 16 y 4 pulgadas, también se pudo visualizar dichos valores en el SCADA de Integridad ubicado en la planta del SPF aproximadamente 200 Km de distancia del sitio de monitoreo.

Al existir un salto de corriente AC desde la planta hacia las líneas enterradas por falla en los aislamientos dieléctricos causó una distorsión en la medición de los valores, con un error aproximado del 2%.

También se comprobó que se puede utilizar los PLC de la planta para implementar estos prototipos de monitoreo y control remoto facilitando la programación para los distintos estudios sobre la línea, se redujo tiempos porque el sistema puede ser controlado desde un SCADA.

En la etapa de control se obtuvo un desfase de 0-100 mili segundos constantes en la ejecución de los estados de ON-OFF, este desfase puede ser claramente interpretado por el personal de Protección Catódica.

Con este sistema de monitoreo y control remoto se pretende demostrar la utilidad de un sistema completo para la protección catódica, información de vital importancia para la Empresa REPSOL en la decisión de invertir recursos para la adquisición de este tipo de sistemas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Con la implementación de un sistema de monitoreo y control remoto para la protección catódica se puede disminuir la pérdida de tiempo en viaje que actualmente es de 2 días por un trabajo de 3 horas lo que corresponde a un tiempo muerto del 87% del tiempo efectivo de trabajo.
- Se logró utilizar todos los recursos de la estación de bombeo de SSFD como PLC RIO-01 para la implementación y puesta en marcha del sistema, es por esto que se redujo la inversión inicial hasta en un 50%.
- REPSOL al contar con las licencias de Maker y Viewer de InTouch facilitó el diseño e inclusión del HMI al SCADA ya existente sin ningún inconveniente, evitando el gasto innecesario en compras de nuevos software para realizar la pantalla requerida.
- El sistema de monitoreo y control remoto está valorado en 970 dólares con la utilización de los recursos de la empresa, sin estos recursos el valor del sistema incrementa a 10970 dólares.
- Con los estudios adquiridos en ingeniería mecatrónica se pudo dar solución a los circuitos requeridos para la adquisición de datos y conversión es estándares de corriente, se buscó alternativas y aplicando reingeniería se logró solucionar los problemas correspondientes a la sincronización GPS del sistema.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Se debe eliminar los saltos de corriente AC a las líneas enterradas con un mejor aislamiento dieléctrico en las juntas porque la protección catódica necesita de corriente continua totalmente pura.
- Se debe implementar sistemas actuales de monitoreo y control para la protección catódica la cual suministre información sobre potenciales,

voltaje y amperaje de forma precisa, de esa manera se llevara un monitoreo en tiempo real.

- Se debe disponer de personal con conocimiento en electrónica para manejar el área de protección catódica ya que tiene un alto grado de complejidad en lo que se refiere a la materia de electrónica y eléctrica.
- Se recomienda el cambio de los rectificadores trifásicos, en varias zonas están sobredimensionados y en otras están con sobre carga.

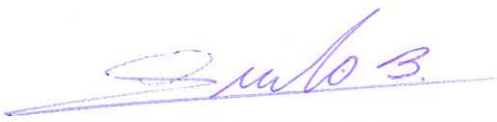
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGO, S. A. (2005). *Protección Catódica*. Obtenido el 20 de Febrero 2015 de http://www.argo-es.com/pdf/criterio_proteccion.pdf
- Asociación de la Industria Eléctrica. (2013). *Protección Catódica*. Obtenido el 20 de Febrero 2015 de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>
- Imbat, W. S. (2009). *Diseño y construcción de un sistema automático de monitoreo de la protección catódica en las líneas enterradas en el bloque 16 de Repsol YPF*. Obtenido el 10 de Marzo de 2015 de www.epn.com.ec
- Ingeniería Gas y Petróleo. (2008). *Descripción técnica Spectrum XLI*. Obtenido el 23 de Marzo de 2015 de http://www.igp-srl.com.ar/pdf/xli_alcance_tecnico.pdf
- Joan, J. (1995). *MÁS ALLÁ DE LA HERRUMBRE II. LA LUCHA CONTRA LA CORROSIÓN*. Obtenido el 12 de Abril de 2015 de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_2.htm
- Maza, A. C. (2009). *Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío*. Obtenido el 16 de Abril de 2015 de www.adatum.com
- Moreano, Á. (2005). *Diseño e Instalación de un sistema integral de protección catódica para un tanque de agua de proceso en la Industria petrolera*. Obtenido el 15 de Mayo de 2015 de www.espol.com.ec
- PROTAN. (2007). *Auditoria de Sistemas de Protección Catódica y Estado de Conservación de Revestimientos Anticorrosivos en Gasoductos y Oleoductos*. Obtenido el 20 de Mayo de 2015 de <http://www.protansa.com/sevicios/PROTAN-SA-InspeccionesCIPS-DCVG.pdf>
- Torres, L. M. (2008). *Identificación de nuevas técnicas para evaluar la integridad estructural de líneas enterradas, sumergidas y submarinas*. Obtenido el 20 de Junio de 2015 de www.espol.com.ec

ANEXOS

Este trabajo fue elaborado y revisado con fecha 9 de Diciembre del 2015.

Elaborado por:



Sandro Francisco Balarezo Gallardo

Revisado por:



Ing. Vicente David Hallo Carrasco

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



Ing. Vicente David Hallo Carrasco

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**



Ing. Ernesto Ramiro Santillán Mariño

CODIRECTOR DEL PROYECTO



Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO