



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia si mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA DE LAS LÍNEAS ENTERRADAS EN EL BLOQUE 16 DE REPSOL YPF

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

WILSON SANTIAGO IMBAT CARTAGENA

san_imbat@yahoo.es

DIRECTOR: DR. LUIS CORRALES

luisco5049@yahoo.com

Quito, Julio 2009

DECLARACIÓN

Yo Wilson Santiago Imbat Cartagena, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Wilson Santiago Imbat Cartagena

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Wilson Santiago Imbat Cartagena bajo mi supervisión.

Dr. Luis Corrales

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A todas y cada una de las personas que colaboraron con la elaboración de este proyecto, a mi director de tesis Dr. Luis Corrales y miembros del tribunal Ing. Alfredo Maldonado e Ing. Fausto Avilés, a los ingenieros de REPSOL Ing. Antonio Díaz, Ing. Héctor Arroyo, Ing. Fabián Mosquera, Ing. Carlos Alulema, Ing. Fernando Eguiguren, Ing. Marco Rivadeneira.

A mis amigos de toda mi vida politécnica LOS BIELÉCTRICOS su amistad fue ha sido y sigue siendo un ingrediente importante en mi vida.

Gracias de manera muy especial a mis padres, abuelitos, hermanos, tíos, que de alguna manera aportaron con un granito de arena en mi vida universitaria, a mi novia Vane su apoyo y paciencia en todo momento fue muy valioso.

SANTIAGO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de manera muy especial a mi madre Lupe Cartagena pues su sacrificio y su amor son la razón de mi esfuerzo por salir adelante, a mis abuelitos César Cartagena y Rosa López pues sin su valiosa ayuda no hubiera sido posible la consecución de este sueño, a mis hermanos por creer en mí en todo momento.

SANTIAGO

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se diseña un sistema para el monitoreo remoto de la Protección Catódica de las líneas enterradas que transportan el crudo para la Compañía REPSOL.

Con este objetivo se hizo un estudio de los métodos de protección catódica y se seleccionó para este proyecto el método de Corriente Impresa, que es eficaz siempre y cuando el potencial entre la tubería vs el suelo esté en el rango de -0,850 mV a -1,1V. Para el monitoreo se decidió instalar puntos de medición cada dos Kilómetros a lo largo del recorrido de la tubería

Para la Protección Catódica, se unió eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el positivo a un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Para medir el potencial de la tubería enterrada, se empleó un electrodo de Cu/CuSO₄ (saturado) como referencia y un mili voltímetro.

Para el monitoreo remoto se emplearon dos RTU instaladas en el primer y último punto de medición de la línea de crudo que va desde la plataforma de producción Tivacuno A hasta las facilidades de producción del norte NPF. La distancia entre estas dos locaciones es de aproximadamente 12 Kilómetros. Las dos RTU transmiten los datos hasta un Radio modem el cual está conectado a un convertidor RS-232 a Ethernet. Mediante la red Ethernet se lleva los datos hasta una unidad de procesamiento donde se instaló el software T-Link.

Pruebas realizadas demostraron que, si bien las mediciones se continúan midiendo de manera manual en cada punto cada tres meses, el sistema implementado permite el monitoreo remoto y automático del sistema de protección catódica.

INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA.....	2
1.3	PROTECCIÓN CATÓDICA.....	4
1.4	CORROSIÓN EN SUELOS.....	8
1.5	CAUSAS DE CORROSION EN TUBERIAS ENTERRADAS.....	9
1.6	LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	10
1.7	PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	12
1.8	CRITERIOS DE ELECCIÓN DE POTENCIAL DE PROTECCIÓN.....	13
1.9	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TUBERÍAS ENTERRADAS.....	14
1.10	MEDIDA DEL POTENCIAL.....	15
1.11	CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO	17
1.12	TEORÍA SOBRE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	18
1.12.1	COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	18
1.12.2	CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS.....	19
1.12.3	VELOCIDAD Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA.....	20
1.12.4	CONTROLADOR DE CARGA.....	21
1.13	PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	23
1.13.1	TRANSMISIÓN VÍA RADIO.....	24
1.13.2	MODULACIÓN.....	25
1.13.2.1	Modulación de Frecuencia FSK.....	27
1.13.2.2	Modulación PSK.....	27
1.13.2.3	Modulación MSK (FFSK).....	27
1.13.3	TEORÍA DE ANTENAS.....	29
1.13.3.1	Impedancia de una Antena.....	30

1.13.3.2	Eficiencia de una Antena.....	30
1.13.3.3	Ancho de banda de una Antena.....	31
1.13.3.4	Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia.....	31
1.13.3.5	Antenas Omnidireccionales.....	32
1.13.3.6	Antenas Direccionales.....	32

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA.

2.1	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL HARDWARE.....	33
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA RTU TELESCADA ATS 8CCM.....	34
2.2.1	ENTRADA ANALÓGICA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL....	35
2.2.2	CIRCUITO DE CONTROL.....	37
2.2.3	ETAPA DE RADIO.....	39
2.2.4	CELDA SOLAR Y BATERÍA.....	47
2.3	CAMBIO DE ANTENAS.....	49
2.4	MONTAJE MECÁNICO DE LAS RTUs.....	50

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

3.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE LA RTU.....	56
3.2	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN Y MONITOREO T-LINK.....	58
3.2.1	INTERPRETACIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....	58
3.2.2	MENUS DESPLEGABLES DEL T-LINK.....	72
3.2.2.1	Menú File.....	72

3.2.2.2	Menú Settings.....	72
3.2.2.3	Menú Expert	73
3.2.2.4	Menú Events.....	75
3.2.2.5	Menú Other.....	76
3.2.2.6	Menú Help.....	77

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA.....	78
4.1.1	PRUEBAS CON ANTENA DB224 EN LA TORRE Y ANTENA ORIGINAL DE RTUs	78
4.1.2	PRUEBAS CON ANTENA DB224 EN LA TORRE Y ANTENA DE LÁTIGO EN RTUs	79
4.1.3	PRUEBAS DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS.....	80
4.1.4	PRUEBAS DE ENVÍO Y RECEPCIÓN CON LA SEÑAL DE LA CELDA DE REFERENCIA.....	82

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	86
5.2	RECOMENDACIONES.....	88
5.3	BIBLIOGRAFÍA.....	91

ANEXOS: PLANOS PARA CONSTRUCCIÓN APROBADOS POR REPSOL YPF

ANEXO 1: DETALLES DE MONTAJE DE SOPORTE DE RTUs

ANEXO 2: DIMENSIONES DE SOPORTE PARA UNIDADES
REMOTAS.

ANEXO 3: ARQUITECTURA DE CONTROL

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Figura 1.1. Dirección de la corriente positiva en una pila seca.....	4
Figura 1.2. Protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio.....	5
Figura 1.3. Protección catódica con corriente impresa.....	6
Figura 1.4. Diagrama potencial -pH para el Hierro (Fe).....	6
Figura 1.5. Diagrama de Evans de un sistema en corrosión.....	8
Figura 1.6. Sistema bajo control: (a) anódico, (b) catódico.....	8
Figura 1.7. Disposición correcta de los cuatro electrodos para la medida de la resistividad en presencia de una tubería enterrada.....	12
Figura 1.8. Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada.....	13
Figura 1.9. Realización práctica de medida de potencial de una tubería con un electrodo de referencia de Cu/CuSO ₄ sat.....	16
Figura 1.10. Campo eléctrico alrededor de una tubería.....	17
Figura 1.11. Efectos en la medición por la distancia entre una estructura enterrada y el ánodo.....	18
Figura 1.12. Esquema de la batería unida a un panel solar.....	20
Figura 1.13. Esquema del controlador de carga para una celda solar.....	22
Figura 1.14. Esquema de un controlador de carga.....	23
Figura 1.15. (a) Estructura interna del controlador de carga. (b) Diagrama voltaje vs tiempo (horas) de la carga de batería PWM.....	24
Figura 1.16. Propagación de señales de radio frecuencia.....	25
Figura 1.17. Propagación de señales mayores a 30 MHz.....	25

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA.

Figura 2.1. Diagrama de bloques del Hardware	34
Figura 2.2. Telescada ATS 8CCM utilizado en el proyecto. Fotografía tomada en el Bloque 16.....	35
Figura 2.3. Circuito de control del Telescada ATS 8CCM utilizado en el proyecto.	37
Figura 2.4. a) Terminales de entrada. b) Transductor de voltaje aislado entrada de $\pm 10V$, salida de 0 a 5V.....	37
Figura 2.5. Circuito de control.....	39
Figura 2.6. Pantalla principal del Configurador del N Port.....	41
Figura 2.7. Pantalla de configuración de parámetros de red.....	42
Figura 2.8. Pantalla de configuración del modo de operación.....	42
Figura 2.9. Pantalla de configuración de la comunicación serial.....	43
Figura 2.10. Ventana para registrar los usuarios que tienen acceso al NPort.....	44
Figura 2.11. Ventana principal para asignar un puerto al NPort.....	45
Figura 2.12. Ventana en la cual se elige que puerto de comunicación ocupará el NPort.....	45
Figura 2.13. NPort.....	46
Figura 2.14. Radio módem MIDLAN.....	46
Figura 2.15. Radio Midlan. En la parte superior se pueden apreciar el puerto serial y la conexión de la antena.....	47
Figura 2.16. Radio Midlan conectado. En la parte inferior se pueden apreciar el cable que conecta la alimentación hacia la tarjeta	48
Figura 2.17. Batería recargable.....	49
Figura 2.18. Celda Solar.....	49

Figura 2.19. Antena CA 1506U, original de los radios Midlan.....	50
Figura 2.20. Poste ubicado en el Km. 11+080.....	52
Figura 2.21. Poste ubicado en el Km. 1+015.....	53
Figura 2.22. Poste de prueba sin la protección metálica.....	53
Figura 2.23. Celda de referencia permanente.....	54
Figura 2.24. Estructuras cuando están siendo llevadas para su instalación en campo.....	55
Figura 2.25. Instalación de la RTU en la estructura mecánica.....	55
Figura 2.26. RTU instalado junto al poste de prueba existente.....	56

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA.

Figura 3.1. Diagrama de flujo del programa	57
Figura 3.2. Pantalla principal del Software de Configuración T-Link.....	59
Figura 3.3. Cuadro de diálogo del COM Port Setting	60
Figura 3.4. Pantalla principal cuando se ha enviado el dato desde la RTU.....	61
Figura 3.5. a) Cuando se presiona Modify. Aparece el cuadro de AnalogSetup b) AnalogSetup modificado.	62
Figura 3.6. Ventana que ahora muestra el Potencial NPF y Voltios.....	63
Figura 3.7. Ventana para programar la hora en la RTU.....	63
Figura 3.8. Ventana de Alarmas y eventos	64
Figura 3.9. Estado de la Batería	64
Figura 3.10. Cuando se recibieron los datos aparece el mensaje de recibido.....	65
Figura 3.11. Pantalla de Parámetros fuera de línea	66
Figura 3.12. Ventana para cambiar la dirección de cada RTU.....	66

Figura 3.13. Ventana para configurar la velocidad, se utiliza 4800 baudios.....	66
Figura 3.14. Ventana para elegir el Intervalo para grabar datos.....	67
Figura 3.15. Ventana para configurar la descarga de datos.....	67
Figura 3.16. Ventana que se muestra cuando se presiona la pestaña Status Inputs and Control Points, ubicada junto a Analog Inputs Values.....	68
Figura 3.17. Ventana de configuración para la entrada analógica 1.....	69
Figura 3.18. Ventana Data Recording.....	70
Figura 3.19. Ventana Data Recording en donde se observan los días de los cuales se tienen datos disponibles.....	71
Figura 3.20. Ventana Data Recording donde se muestran los datos del día seleccionado y la gráfica correspondiente.....	72
Figura 3.21. El archivo de Acces 55031 es el archivo correspondiente a los datos.....	72
Figura 3.22. Menús desplegables del T-Link.....	73
Figura 3.23. Menú File	73
Figura 3.24. Menú Settings	74
Figura 3.25. Menú Expert.....	74
Figura 3.26. La ventana Analog Offsets permite cambiar el error de offset de cada canal.....	76
Figura 3.27. Menú Events.....	76
Figura 3.28. La ventana Alarm Reports muestra un reporte de alarmas generadas.....	77
Figura 3.29. Menú Other.....	77
Figura 3.30. Menú Help.....	78

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura 4.1. Pantalla del RTU 55031 sin potencial de prueba correspondiente al 24 de abril.82

Figura 4.2. Prueba correspondiente al 7 de mayo.83

Figura 4.3. En toda la columna **Battery Charge** se muestra como ha ido variando el nivel de carga de la batería.....84

Figura 4.4. Archivo en Acces generado cuando se descargan los datos...85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Relación porosidad corrosión.....	11
Tabla 1.2. Relación resistividad corrosión.....	11
Tabla 1.3. Características de a cuerdo a la resistividad del suelo.....	11

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

Este capítulo explica la necesidad de obtener un sistema automático de monitoreo de la protección catódica por parte de la empresa Repsol YPF. Se aborda en este capítulo también las bases teóricas de los sistemas de protección catódica y de las tecnologías utilizadas para el desarrollo del proyecto.

1.1. ANTECEDENTES

La transnacional argentina YPF (Yacimientos Petrolíferos Federal) llega al Ecuador en el año de 1995 y adquiere la compañía MAXUS, con el fin de invertir en el área petrolera del país. En el año 1998 YPF es adquirida por la compañía española REPSOL, con el propósito de expandirse internacionalmente principalmente en Latinoamérica, mantener el liderazgo en las actividades tradicionales de la compañía e incrementar la exploración y producción.

Para poder cumplir con lo mencionado REPSOL – YPF ECUADOR adecua y amplía las dos plantas de producción de crudo con las que contaba MAXUS, las denominadas NPF (Facilidades de Producción del Norte) y SPF (Facilidades de Producción del Sur). Estas plantas están ubicadas en la provincia de Orellana, en el cantón Aguarico, dentro del Parque Nacional Yasuní, a este lugar también se lo conoce como Bloque 16.

Las tuberías que llevan la producción de los pozos desde los Well Pads hasta las plantas de producción y de estas hasta el OCP están enterradas. Las tuberías enterradas están expuestas a la **CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA**.

1.2. CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

Una celda electroquímica es una combinación del tipo siguiente:

Conductor electrónico (metal)	Conductor iónico (electrolito)	Conductor electrónico (metal)
-------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

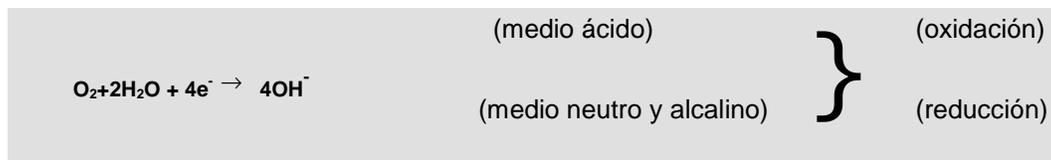
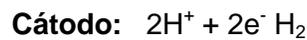
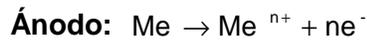
En ella tienen lugar procesos electroquímicos con el paso de una corriente eléctrica. Si la celda electroquímica produce energía eléctrica causada por el consumo de energía química, se dice que se tiene una **celda galvánica** o pila. Si la celda electroquímica consume corriente de una fuente de corriente externa, almacenando como consecuencia energía química, se dice que se tiene una **celda electrolítica**.

⁽¹⁾ Una celda de corrosión es una celda o pila galvánica en la cual las reacciones electroquímicas conducen a la corrosión. Una celda de corrosión de dimensiones muy pequeñas (por ejemplo < 0.1 mm) se conoce como celda de acción localizada o microcelda galvánica. Las celdas locales o micropilas se dan, por ejemplo, en aleaciones multifásicas o en metales con recubrimientos que presentan buena conductividad eléctrica o en inclusiones de óxidos, sulfuros, carbón, etc. La acción de estas celdas a menudo conduce a un ataque localizado, tal como picaduras o corrosión bajo tensión.

⁽²⁾ La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito. Es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. La corrosión más frecuente siempre es de naturaleza electroquímica y resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo que la humedad relativa deberá ser del 70%.

A simple vista es imposible distinguir entre una zona anódica y una catódica, dada la naturaleza microscópica de las mismas (micropilas galvánicas). Al cambiar continuamente de posición las zonas anódicas y catódicas, llega un momento en que el metal se disuelve totalmente.

Las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas son las siguientes:



Ya que la corrosión de los metales en ambientes húmedos es de naturaleza electroquímica, una aproximación lógica para intentar parar la corrosión sería mediante métodos electroquímicos. Los métodos electroquímicos para la protección contra la corrosión requieren de un cambio en el potencial del metal para prevenir o al menos disminuir su disolución.

Para la notación de los dos electrodos en una celda electroquímica (galvánica o electrolítica) son válidas las siguientes definiciones generales: El ánodo es el electrodo en el cual, o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito. El cátodo es el electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito.

Generalmente, se toman como válidas las siguientes reglas:

- 1) La reacción anódica es una oxidación y la reacción catódica una reducción.
- 2) Los aniones (iones negativos) migran hacia el ánodo y los cationes (iones positivos) hacia el cátodo.

Hay que hacer notar que particularmente en una celda galvánica, por ejemplo en una pila seca (Figura 1.1), la corriente positiva fluye del polo (+) al (-) en el circuito externo, mientras que dentro de la celda, la corriente positiva fluye del (-) al (+).

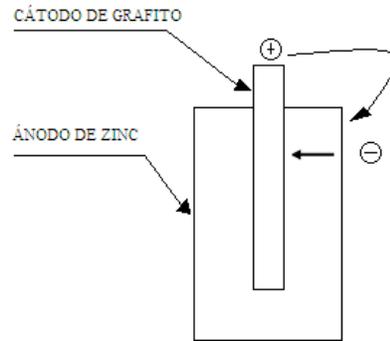


Figura 1.1. Dirección de la corriente positiva en una pila seca. ⁽¹⁾

Para proteger a las tuberías de la corrosión electroquímica es necesario el uso de la **Protección Catódica**.

1.3. PROTECCIÓN CATÓDICA

Tal como se indicó anteriormente para que exista la corrosión electroquímica es fundamental que se ponga en funcionamiento una pila galvánica que denota la existencia de un ánodo, un cátodo y un electrolito. En el momento en que uno de estos tres elementos básicos para el funcionamiento de una pila falle, ésta dejará de funcionar y por tanto se detendrá la corrosión.

Los sistemas de protección contra la corrosión están basados en la eliminación de alguno de estos elementos o en hacerlos inoperantes.

⁽³⁾La protección catódica ocurre cuando un metal es forzado a ser el cátodo de la celda corrosiva adhiriéndole (acoplándolo o recubriéndolo) de un metal que se corroe más fácilmente que él, de forma tal que esa capa recubridora de metal se corroe antes que el metal que está siendo protegido y así se evite la reacción corrosiva. Una superficie metálica se puede volver catódica mediante dos procedimientos diferentes:

a) Conectando el metal que se trata de proteger a otro menos noble que él, es decir, más negativo en la serie electroquímica. Este sistema se conoce como protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio y consiste realmente en la creación de una pila galvánica en que el metal a proteger actúe forzosamente de cátodo (polo positivo de la pila), mientras que el metal anódico se "sacrifica", o sea que se disuelve (Figura 1.2). Como el metal más comúnmente utilizado en la práctica por su bajo precio y alta resistencia mecánica es el acero, los metales que se puedan conectar a él y que deben tener un potencial más negativo quedan reducidos en la práctica al zinc (Zn), aluminio (Al), magnesio (Mg) y a sus aleaciones.

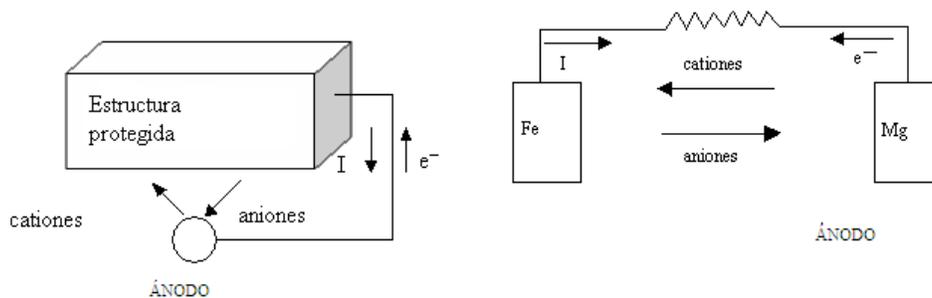


Figura 1.2. Protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio.

⁽⁴⁾En la protección catódica con ánodos galvánicos, se utilizan metales fuertemente anódicos conectados a la tubería a proteger, dando origen al sacrificio de dichos metales por corrosión, descargando suficiente corriente, para la protección de la tubería. A esta protección se debe agregar la ofrecida por los revestimientos, como por ejemplo las pinturas, casi la totalidad de los revestimientos utilizados en instalaciones enterradas, aéreas o sumergidas, son pinturas industriales de origen orgánico, pues el diseño mediante ánodo galvánico requiere del cálculo de algunos parámetros, que son importantes para proteger estos materiales, como son: la corriente eléctrica de protección necesaria, la resistividad eléctrica del medio electrolito, la densidad de corriente, el número de ánodos y la resistencia eléctrica que finalmente ejercen influencia en los resultados.

b) Conectando el metal a proteger al polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el polo positivo a un electrodo auxiliar que puede estar constituido por chatarra de hierro, ferro-silicio, plomo-plata, grafito, etc. Este sistema se conoce con el nombre de protección catódica con corriente impresa, este es el método utilizado para proteger a las tuberías de la corrosión electroquímica. Un esquema simplificado del mismo se presenta en la Figura 1.3.

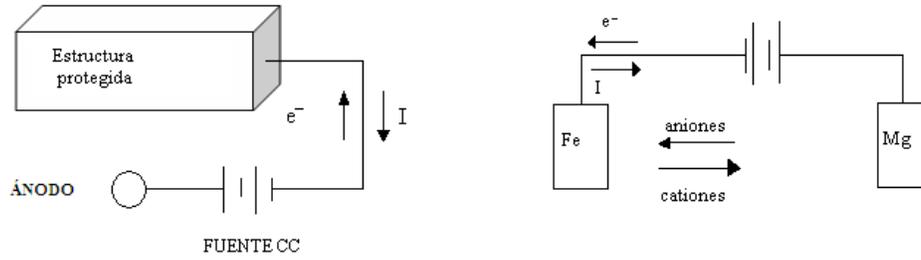


Figura 1.3. Protección catódica con corriente impresa.

Desde el punto de vista de la termodinámica, la protección catódica se basa en la existencia de un potencial y de una zona de inmunidad, en el correspondiente diagrama de estabilidad termodinámica o diagrama potencial - pH, más conocido como diagrama de Pourbaix.

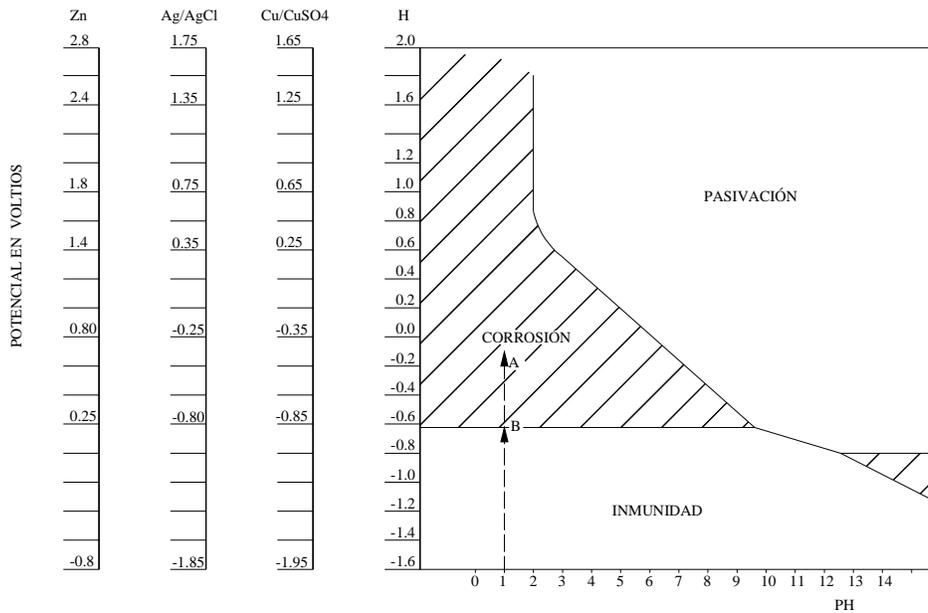


Figura 1.4 Diagrama potencial -pH para el Hierro (Fe) ⁽⁵⁾.

Si se considera el diagrama de Pourbaix mostrado en la Figura 1.4, para el caso del hierro (acero), se puede observar en él que están perfectamente delimitadas las zonas de corrosión, inmunidad y pasividad. Para poder pasar el hierro a la zona de inmunidad hay que rebajar su potencial a un valor de -0.62 V con respecto al electrodo de referencia de hidrógeno, que equivale a -0.80 V con respecto al Ag/AgCl. Esta es, pues, otra definición de la protección catódica. La densidad de corriente que será necesario aplicar para conseguir rebajar el potencial de la estructura a proteger (-0.80 V) al valor señalado.

Desde un punto de vista cinético, en un sistema cualquiera en el cual tenga lugar el fenómeno de corrosión, existe un balance perfecto entre las reacciones anódicas y catódicas sobre la superficie del metal. La Figura 1.5, conocida como Diagrama de Evans ejemplifica lo anterior. En la Figura 1.5 (a) se representa un diagrama que relaciona la densidad de corriente con el potencial.

Por razones de simplicidad en la construcción gráfica, se acostumbra representar ambos procesos, anódico o de oxidación y catódico o de reducción, en un mismo cuadrante con lo que se obtiene, como se indica en la Figura 1.5 (b), el diagrama de Evans, o el de Evans-Tafel si en lugar de utilizar la corriente se emplea el logaritmo de la corriente (Figura 1.5 (c)). Polarizando la superficie del metal que se corroe a un valor igual o inferior a E_a (Figura 1.5) se anula la reacción anódica en el metal, siendo I_{pc} la corriente catódica que tendrá que ser suministrada por el sistema de protección catódica.

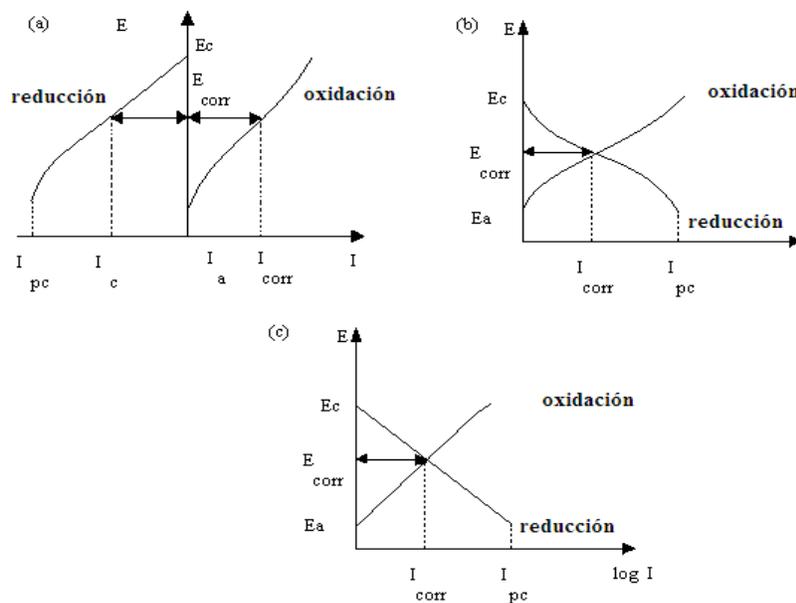


Figura 1.5. Diagrama de Evans de un sistema en corrosión ⁽⁵⁾.

Cuando la cinética de los dos procesos, anódico y catódico, es tal que una pequeña variación en la corriente catódica provoca una gran variación en la corriente anódica (o sea en la corriente de corrosión), se dice que el sistema está bajo control catódico. Inversamente, cuando una pequeña variación en la corriente anódica produce un gran desequilibrio en el proceso catódico, o sea, en la intensidad de corrosión, se dice que el sistema está bajo control anódico. En la Figura 1.6 se representan ambos casos.

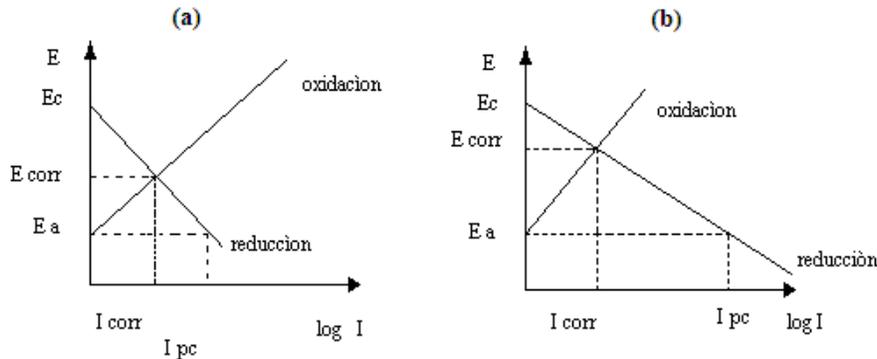


Figura 1.6. Sistema bajo control: (a) anódico, (b) catódico ⁽⁵⁾.

1.4. CORROSIÓN EN SUELOS.

Las tuberías en el Bloque 16 van enterradas a lo largo del derecho de vía. El terreno o suelo por su contenido variable de humedad, sales y materia orgánica en descomposición es el electrolito más complejo de todos los que se pueden encontrar. Por necesidades mecánicas, económicas y de seguridad, la industria tiene que apoyarse sobre él y enterrar numerosas y muy variadas estructuras de acero, las cuales se ven sometidas a un proceso de corrosión.

Para tener un buen control de la corrosión de estas estructuras se combinan dos tipos de protección:

1. Recubrimiento pasivo, complementado por un sistema de protección catódica.
2. Protección anticorrosiva de una estructura enterrada solamente con protección catódica, la cual resulta costosa si la estructura no es de dimensiones pequeñas.

Un suelo natural contiene los siguientes elementos: arena, arcilla, cal y humus. Estos componentes pueden estar mezclados en el suelo en diferentes proporciones que darán lugar a distintos grados de agresividad.

Por lo general, los suelos arenosos, margo-arenosos, margo-calcáreos y calcáreos no son agresivos; los suelos arcillosos en algunas condiciones son agresivos. Los que son agresivos de por sí son las turbas, los humus libres de cal y también los suelos cenagosos y de aluvión. Los suelos artificiales, esto es los formados por escorias y basuras, elementos en putrefacción y residuos humanos e industriales también son agresivos.

1.5. CAUSAS DE CORROSION EN TUBERIAS ENTERRADAS.

Las causas más conocidas se listan a continuación:

1. Golpes y deterioros en las conducciones.
2. Deterioros en los revestimientos
3. Aireación diferencial entre distintas partes de las tuberías enterradas por utilización de rellenos artificiales no uniformemente distribuidos
4. Diferencias de pH del entorno circundante de las tuberías sean naturales, o artificiales por percolación de productos vertidos (ácidos o básicos)
5. Presencia de corrientes erráticas a partir de puestas a tierra de equipos de alta o baja tensión, grandes equipos, líneas electrificadas de ferrocarril próximas, etc.
6. Existencia de pares galvánicos entre los habituales cables desnudos de cobre, o las picas del mismo material, de los sistemas de puesta a tierra de la equipotencialización del conjunto de la fábrica; etc. Téngase en cuenta que frente al cobre, el acero siempre se comporta anódicamente, corroyéndose.

1.6. LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad es la recíproca de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. La resistividad del terreno representa una de las propiedades más significativas a la hora de determinar sobre la corrosividad de un suelo. Se ha constatado en numerosísimas ocasiones una relación directa entre esta propiedad y la corrosión, de tal forma que la corrosión es mayor cuanto menor sea la resistividad. Además, ha de tenerse también en cuenta que existe una relación directa entre humedad, temperatura y salinidad respecto a la resistividad, mientras que esta relación es inversa entre porosidad y resistividad. La Tabla 1.1 muestra esquemáticamente estas relaciones:

Aumento de	Resistividad	Corrosión
Porosidad	Aumenta	Baja
Salinidad	Baja	Aumenta
Humedad	Baja	Aumenta
Temperatura	Baja	Aumenta

Tabla 1.1. Relación porosidad corrosión ⁽⁶⁾.

Atendiendo a los valores de la resistividad de los suelos, se establecen unas equivalencias de corrosividad, que se muestran en la Tabla 1.2, a la vez que se indica la necesidad de protección catódica en dichas instalaciones enterradas o sumergidas y revestidas:

RESISTIVIDAD	CORROSIVIDAD DEL SUELO	PROTECCIÓN CATODICA
< 9 Ohm x m	Muy corrosivos	SI
9 a 23 Ohm x m	Bastante corrosivos	SI
23 a 50 Ohm x m	Moderadamente corrosivos	SI
50 a 100 Ohm x m	Ligeramente corrosivos	SI
> 100 Ohm x m	Muy ligeramente corrosivos	Depende

Tabla 1.2. Relación resistividad corrosión ⁽⁶⁾

Las áreas de menor resistividad son las que tienden a crear zonas anódicas en la estructura, pero así mismo son las zonas más aptas para instalación de las capas de ánodos.

RESISTIVIDAD OHM-m	CARACTERÍSTICAS
bajo 9	Muy corrosivo
9 a 23	Corrosivo
23 a 50	Moderadamente corrosivo
50 a 100	Medio corrosivo
Sobre 100	Menos corrosivo

Tabla 1.3. Características de acuerdo a la resistividad del suelo ⁽⁶⁾.

En la práctica se realiza esta medida empleando un voltímetro y un amperímetro complementado mediante un equipo de cuatro picas o electrodo directamente en el campo. El método consiste en introducir en el suelo cuatro electrodos separados por espaciamientos iguales. Los espaciamientos representan la profundidad hasta lo que se desea conocer la resistividad, este espaciamiento se lo representa con (A). Se calcula la resistividad aplicando la fórmula siguiente:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R. \quad \text{Ec. 1.1}$$

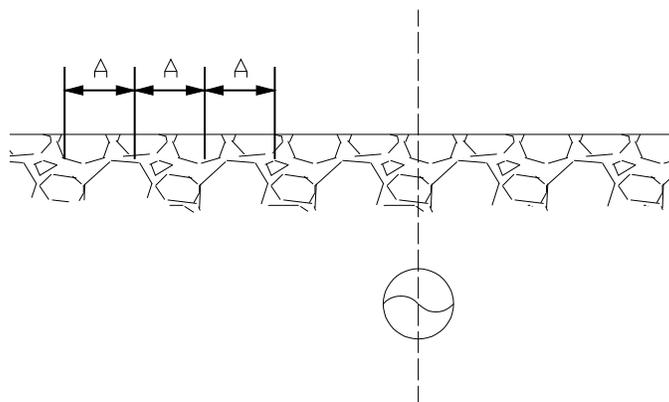


Figura 1.7. Disposición correcta de los cuatro electrodos para la medida de la resistividad en presencia de una tubería enterrada ⁽⁷⁾.

Las lecturas deben tomarse de acuerdo con un procedimiento sistemático. Un método recomendable seguiría los siguientes pasos:

1. Deben efectuarse lecturas al menos cada 122 m.
2. Deben realizarse medidas donde exista un cambio visible en las características del suelo.
3. Dos lecturas sucesivas no deben diferir por más de 2:1. Cuando una lectura difiere de la precedente por mayor cantidad que la relación anterior, es necesario volver atrás y rehacer la lectura; esto debe repetirse hasta que se cumpla con la condición.
4. Como una excepción a la regla anterior, no será necesario tomar 2 lecturas a distancias menores de 7,6 m..
5. Como otra excepción a la regla, ésta no debe aplicarse cuando el valor más bajo de las dos lecturas es mayor que 200 Ω -m.

1.7. PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.

El método utilizado para la protección de las tuberías enterradas en el Bloque 16 es la Protección Catódica por Corriente Impresa. Este procedimiento consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodos auxiliares se hacen de chatarra de hierro, aleación de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, etc. Es completamente indispensable la existencia del electrolito (medio agresivo) que completa el conjunto para que se realice el proceso electrolítico. Este sistema de protección catódica tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que en mayor o menor grado se consumen con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.

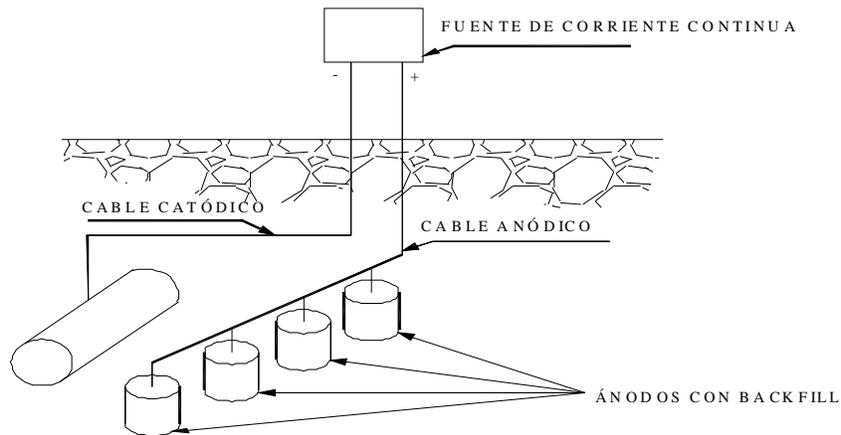


Figura 1.8. Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada ⁽⁷⁾.

1.8. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE POTENCIAL DE PROTECCIÓN.

En la determinación del potencial de la estructura a proteger se puede incurrir en algunos errores, ligados sobre todo a una mala situación del electrodo de referencia, los cuales sólo pueden conocerse o eliminarse si se conoce la magnitud del potencial que se mide. El potencial de una estructura, respecto al electrodo de referencia colocado en su vecindad, es la suma de tres contribuciones esencialmente:

1. Una contribución de tipo termodinámico que depende del electrodo de referencia utilizado. Esta contribución interesa sólo en cuanto que fija la diferencia al potencial cero en la escala convencional que toma como potencial cero el del electrodo de hidrógeno. Por ejemplo, en el caso de una estructura enterrada, el electrodo más utilizado como referencia es el de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4). El cero de potencial respecto a este electrodo se encuentra cerca de 300 mV por encima del cero en la escala del de hidrógeno.

2. Una contribución debida esencialmente al sobre potencial de activación y de concentración de la reacción que se produce en la interfase superficie metálica/electrolito. Este sobre potencial está ligado a la naturaleza del proceso electroquímico y a su velocidad.
3. Un término de caída óhmica que depende de la posición en la cual se sitúa el electrodo de referencia respecto de la estructura, de la geometría del sistema, de su conductividad, de la corriente que circula (en virtud de la protección catódica o de corrientes parásitas).

El potencial que se desea conocer, con el fin de valorar las condiciones de protección de la estructura, es precisamente el de la estructura con respecto al ambiente que la rodea. Este potencial se puede medir directamente (considerando despreciable el término de la caída óhmica) si se coloca el electrodo de referencia en la vecindad inmediata, es decir, junto a la estructura.

En la práctica, un método para determinar directamente, sobre una estructura en servicio, la contribución de la caída óhmica, consiste en "interrumpir" o en variar la corriente (en este segundo caso, sólo en sistemas con corriente impresa) con la cual se está polarizando la estructura que se desea proteger, a partir de lo cual se registrará la consiguiente variación de potencial. La variación instantánea del potencial, en el momento de abrir el circuito, corresponde a la contribución de la caída óhmica. Los tipos de electrodos de referencia más empleados en la práctica de la protección catódica, el de Ag/AgCl/agua de mar, Zn/agua de mar y **Cu/CuSO₄** (saturado).

1.9. PROTECCIÓN CATÓDICA EN TUBERÍAS ENTERRADAS.

Para el transporte por tubería de productos petrolíferos se emplean tuberías de diferentes diámetros que abarcan grandes distancias que en muchas ocasiones sobrepasan los 1000 kilómetros. Estos ductos, por lo general, suelen ir enterrados y su protección

anticorrosivo se obtiene siempre con una acción combinada de recubrimiento y protección catódica. En tuberías enterradas de gran longitud como las utilizadas en el Bloque 16 se emplea principalmente sistemas de protección catódica por corriente impresa, aunque hay ocasiones en que la protección de estos equipos se tiene que complementar con ánodos de sacrificio de Mg.

Para la protección catódica de una tubería enterrada de gran longitud se debe reconocer, el trazado del terreno tomando las medidas de las resistividades y anotando cuidadosamente las disponibilidades de suministro de energía eléctrica para la alimentación de los transformadores. En las inmediaciones de los puntos en donde se tiene posibilidad de un suministro de corriente, se mide la resistividad del terreno, a ambos lados del eje de la tubería, o cada 50, 75 y 100 m para los futuros lechos anódicos. Asimismo, debe anotarse las variaciones geológicas del terreno que se vayan encontrando, sacando muestras de las mismas, que deberán mandarse analizar y que se deberán comparar con los cuadros y perfiles de resistividades. También, se debe de conocer la mayor cantidad de información sobre el revestimiento a ser aplicado, como el tipo de revestimiento, el espesor, la forma de aplicación y los métodos de inspección.

1.10. MEDIDA DEL POTENCIAL DE PROTECCIÓN.

En el Bloque 16 se realizan mediciones del potencial de la tubería cada tres meses por disposición de la DNH (Dirección Nacional de Hidrocarburos), los puntos de medición se encuentran en el derecho de vía cada dos kilómetros, el presente proyecto tiene por objeto el monitoreo remoto de este potencial.

Para medir el potencial de una tubería enterrada, se toma el electrodo de Cu/CuSO₄ (saturado) como referencia y un mili voltímetro de resistencia interna elevada (mayor de 100.000 ohms). El polo positivo del instrumento se une al electrodo de referencia y el negativo a la tubería. El valor que marque el instrumento será el potencial de disolución del metal del tubo, en función del medio agresivo, en este caso el del suelo. La

disposición y la forma de realizar esta medida se representa en la Figura 1.9. El electrodo debe situarse justo encima de la generatriz superior de la tubería, de forma que quede perpendicular a ella.

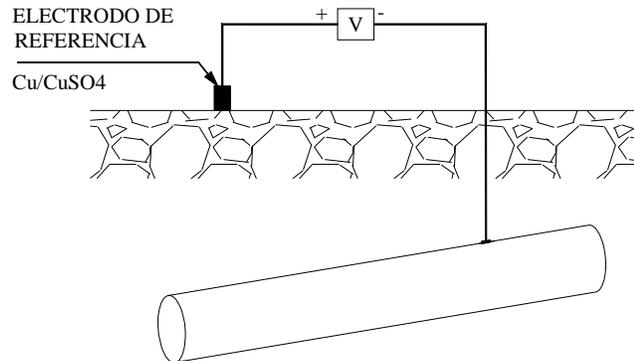


Figura 1.9. Realización práctica de medida de potencial de una tubería con un electrodo de referencia de Cu/CuSO4 sat ⁽⁷⁾.

Las medidas de potencial pueden verse afectadas por la caída óhmica producida por el paso de la corriente eléctrica que genera el proceso de protección catódica. Esta caída de voltaje puede ser desde unos milivoltios a uno o varios centenares, según sea el proceso. La magnitud del error depende de la forma de la estructura a proteger, de la corriente que fluye entre ella y los ánodos, de la resistividad del medio y de la distancia entre el electrodo de referencia y la estructura. Si la distancia y la corriente son pequeñas, la caída de potencial puede ser despreciable.

La corriente que llega a la estructura que desea protegerse crea un campo eléctrico de líneas equipotenciales a su alrededor (Figura 1.10). Según esta figura, cualquier punto de la superficie del suelo elegida para colocar el electrodo de referencia, tendrá un potencial diferente al inmediatamente próximo. Cada uno de estos puntos tendrá a su vez una caída de potencial que dependerá de la resistencia del terreno entre el electrodo y la tubería. El electrodo de referencia deberá colocarse justamente encima de la generatriz superior del tubo. En el caso de un depósito enterrado es exactamente igual, ya que la acción del campo eléctrico no afecta la medida.

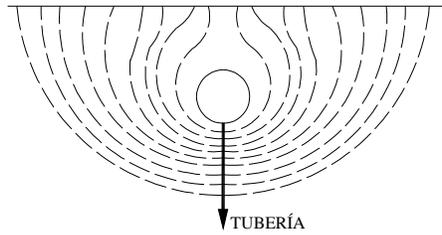


Figura 1.10. Campo eléctrico alrededor de una tubería ⁽⁸⁾.

Para asegurar una medida correcta del potencial, estas líneas equipotenciales deben ser perpendiculares a la superficie del suelo. Esto se consigue cuando la distancia entre la estructura enterrada y el ánodo es muy grande, en comparación con la profundidad a la que dicha estructura está enterrada (Figura 1.11 a). Si la separación es pequeña, las líneas equipotenciales sufren una distorsión, por lo que dejan de ser perpendiculares a la superficie del suelo y, por tanto, afectan mucho las medidas (Figura 1.11 b).

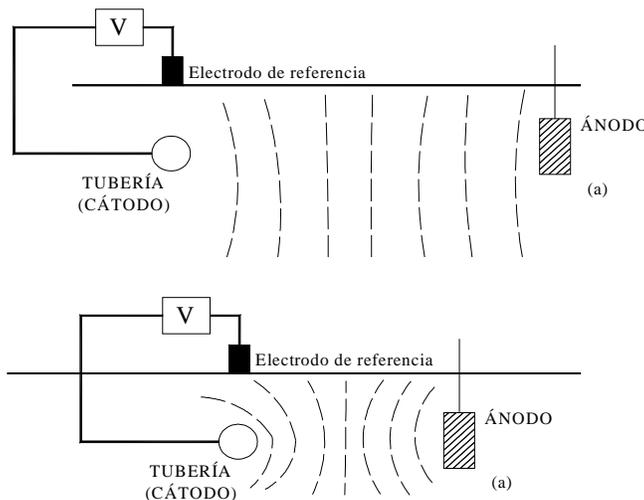


Figura 1.11. Efectos en la medición por la distancia entre una estructura enterrada y el ánodo. (a) La medida de potencial no se ve afectada por el campo eléctrico. (b) la medida de potencial se ve afectada por el campo eléctrico ⁽⁸⁾.

1.11. CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO.

Ahora que se ha visto el proceso corrosivo que sufren las tuberías enterradas, y la forma de contrarrestarlo, en el caso del Bloque 16 a través de la Protección Catódica por

Corriente Impresa, es necesario describir los criterios básicos de diseño del sistema a implementarse que permitirá realizar el monitoreo del potencial de la tubería protegida.

- 1. Ubicación del Sistema.-** El equipo de monitoreo remoto va a estar ubicado en los puntos de medición a lo largo del derecho de vía, donde no existe suministro de energía eléctrica y el equipo estará rodeado de árboles que superan los veinte metros de altura.
- 2. Fuente de Energía.-** Al no existir suministro de energía eléctrica, es necesario que el sistema tenga una fuente de energía solar fotovoltaica.
- 3. Transmisión de Datos.-** Necesariamente el método para transmitir los datos debe ser inalámbrico. En el siguiente capítulo se profundiza mejor en el diseño del hardware del sistema.

A continuación se revisa el sustento teórico de los dos puntos fundamentales en el diseño y selección del equipo a utilizarse.

1.12. TEORÍA SOBRE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

La energía de los fotones del sol se puede convertir en energía eléctrica. A este proceso se le conoce como "Efecto Fotovoltaico". El constante desarrollo de esta tecnología ha dado lugar a mejor eficiencia y mayor accesibilidad de los paneles fotovoltaicos, aunque todavía requieren un costoso desembolso inicial.

1.12.1 COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Célula: Discos delgados, normalmente cuadrados, o películas de material semiconductor que generan tensión y corriente cuando están expuestos a la luz solar.

Panel: La configuración de las células fotovoltaicas laminadas entre un superestrato claro (encristalado) y un sustrato encapsulado.

Módulo: Uno o más paneles interconectados a un determinado voltaje.

Controlador de carga: Regula el voltaje de la batería (12 V) y controla su tasa de carga, o el estado de carga.

Carga: La carga que manejará el sistema, el circuito de control y el equipo de comunicación.

Módulo fotovoltaico: Un panel puede conectarse directamente a una carga CC si la carga se emplea solo cuando hay sol y ésta no es sensible a las grandes fluctuaciones de tensión.

Baterías: Las baterías son necesarias para cualquier sistema que necesite algún tipo de capacidad de almacenamiento. Si se utiliza el sistema en momentos en que no se dispone de la luz solar, una batería almacena la energía de los paneles para poder alimentar las cargas posteriormente.

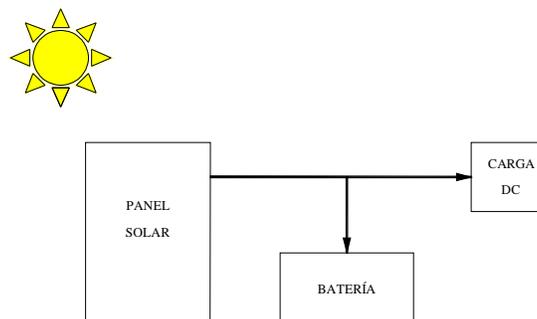


Figura 1.12. Esquema de la batería unida a un panel solar ⁽⁹⁾.

La autonomía se refiere al número de días que la o las baterías proporcionan una carga sin recargarlas. Las condiciones meteorológicas generales determinan el número de días "sin sol", que es una gran variable a la hora de determinar la autonomía.

1.12.2 CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS.

Las baterías se estiman por amperios horas (AH) de capacidad. Para determinar su capacidad es necesario tomar en consideración los días de autonomía con el fin de determinar la cantidad de capacidad de almacenamiento que se requiere de la batería. El AH dice cuántos amperios puede obtenerse de la batería en una hora. Si se necesita más

capacidad de almacenamiento para el sistema fotovoltaico que lo que una batería es capaz de abastecer, las baterías pueden conectarse en paralelo para añadir más capacidad de almacenamiento. Mayores tensiones se obtienen a través de cableado en serie. Inicialmente, la capacidad de la batería debe ser un poco mayor que lo requerido por la carga de las pilas, porque perderán capacidad a medida que envejecen. Pero si se sobredimensiona un gran banco de baterías, éste puede permanecer en un estado de carga parcial durante los períodos de reducida insolación, acortando la duración de las baterías.

1.12.3 VELOCIDAD Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA.

La velocidad a la que la batería se descarga afecta directamente a su capacidad. A mayor velocidad de descarga, menor es su capacidad.

La tasa de descarga se refiere al período de tiempo en que la batería se descarga. Para una batería valorada en C/20, la descarga C (en Ah) concluyó después de 20 horas de descarga. Por ejemplo, una batería de 220 Ah, valorados en 220Ah/20 se descargaría durante 20 horas a 11 Amperios constantes.

La profundidad de descarga se refiere a cuanta capacidad puede utilizarse en una batería. La mayoría de las baterías solares están diseñadas para soportar descargas regularmente del 40 al 80 por ciento. La vida de la batería está directamente relacionada con la profundidad de los ciclos de la batería, a menor la profundidad del ciclo, mayor es la vida de la batería.

La capacidad de la batería disminuye a temperaturas más bajas mientras que aumenta su vida útil. Al decidir el tamaño de una batería, puede compensar los efectos de la temperatura por medio de un multiplicador de la temperatura de batería. Multiplica la capacidad de la batería que necesita por el multiplicador de la temperatura de batería.

1.12.4 CONTROLADOR DE CARGA.

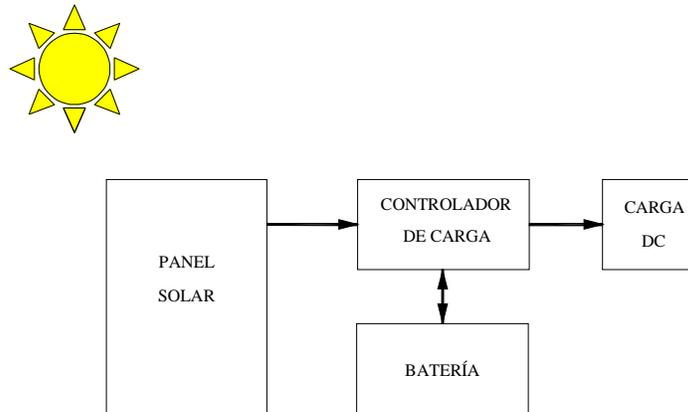


Figura 1.13. Esquema del controlador de carga para una celda solar ⁽⁹⁾.

El controlador de carga regula el estado de carga entre límites preestablecidos. El voltaje de las baterías se mide y se toma como factor principal para estimar el estado de carga; además, algunos controladores miden la temperatura de la batería lo que ayuda a incrementar la vida útil de su banco de baterías. Existen algunos que incluso desconectan la carga cuando la batería está por descargarse (desconexión por bajo voltaje, LVD).

El regulador corta la corriente al llenarse la batería evitando sobrecargas. El controlador hace lo mismo, pero además corta la corriente hacia la carga cuando la batería está baja, evitando descargas profundas que dañan las baterías.

Un controlador de carga funciona como un regulador de voltaje. La función principal de un controlador es evitar que los paneles sobrecarguen la batería, es capaz de "sentir" el actual estado de voltaje de la batería. Cuando la batería está completamente cargada, el controlador o bien detiene o bien frena la cantidad de corriente que fluye en la batería desde las placas solares.

Muchos paneles entregan 16 a 20 voltios que podrían llegar a estropear la batería por un efecto de sobrecarga, ya que esta necesita unos 14,5 voltios para una carga completa.

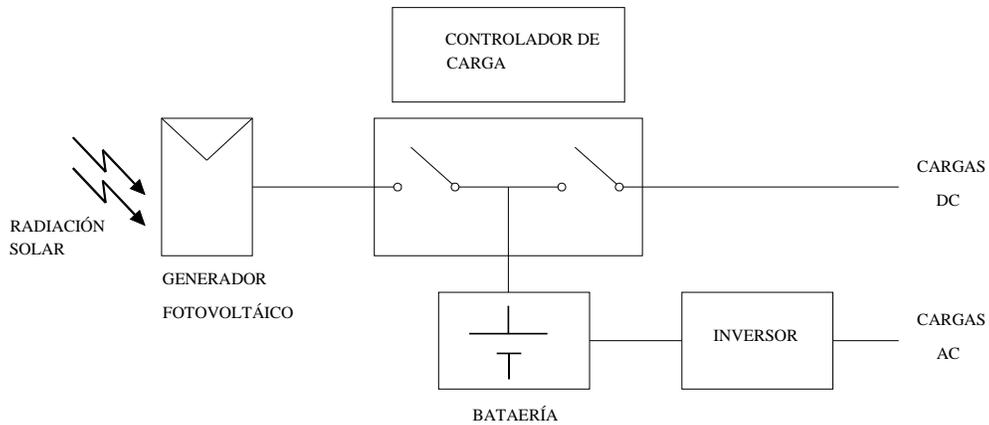


Figura 1.14. Esquema de un controlador de carga ⁽⁹⁾.

Los paneles solares pequeños de 1 a 5 Watios no requieren la instalación de ningún regulador dada su baja potencia, y si el panel entrega (durante un día) menos de 1/60 de la capacidad de la batería, este resultará innecesario. Es decir si el panel ofrece 6 watios con una tensión de 12 voltios, y puede producir energía unas 5 horas al día, la corriente entregada durante esas 5 horas será de 6/12 amperios, es decir medio amperio durante 5 horas, o lo que es lo mismo 2,5 amperios-hora. Si la batería tiene una capacidad de carga de por ejemplo 250 amperios-hora, y como 60 veces 2,5 amperios-hora ($60 \times 2,5 = 150$) es menor que la capacidad de carga de la batería, en conclusión no se necesitará ningún regulador. Hay que tener en cuenta además, que los paneles solares dejan de dar tanta tensión a medida que se van calentando por el sol, haciendo que dejen prácticamente de funcionar de forma mínimamente aprovechable en climas de muy altas temperaturas. Por esta razón conviene enfriarlos dejando que el aire circule por debajo de ellos. Si se necesita regular mucha potencia, se puede utilizar varios regulares idénticos trabajando en paralelo.

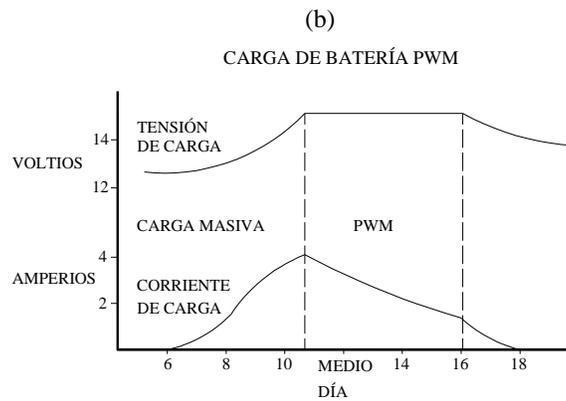
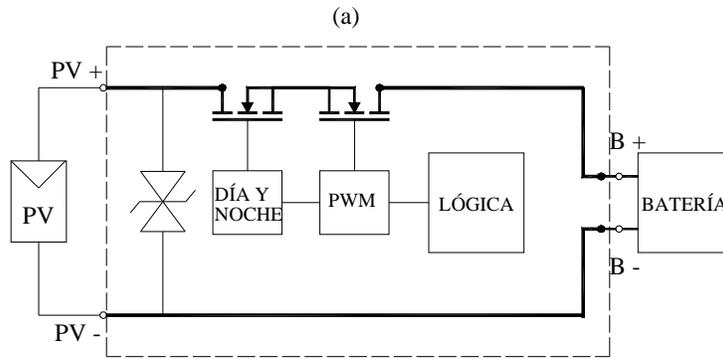


Figura 1.15. (a) Estructura interna del controlador de carga. (b) Diagrama voltaje vs tiempo (horas) de la carga de batería PWM ⁽⁹⁾.

Los reguladores PWM permiten entregar un nivel de carga variable haciendo electrónicamente un encendido-apagado muy rápido del circuito. El dispositivo continuamente comprueba la tensión de la batería, y si esta es muy buena los impulsos estarán muy distanciados (por ejemplo cada 3 segundos) y además serán muy cortos de duración (por ejemplo de una décima de segundo). Si por el contrario, la batería necesita mucha carga, los impulsos serán muy prolongados y continuos. El controlador comprueba la tensión de la batería entre pulso y pulso.

1.13. PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Un sistema de comunicación básico tiene por objetivo el transporte de un mensaje desde un punto llamado fuente a otro llamado destino. Los tipos de señal que se transmiten son:

1. **Señal Analógica.**- Aquella cuya amplitud varía de forma continua, sin cambios abruptos, ejemplo la voz.
2. **Señal Digital.**- Información presentada en forma de pulsos, los cuales se pueden contar. Los datos a enviarse desde el RTU son de esta característica.

Básicamente un sistema de comunicaciones digital está formado por: Codificador, Modulador, Medio o Red de transmisión, Demodulador, Decodificador. La señal eléctrica modula una portadora o puede ser convertida en otro formato por un codificador.

1.13.1 TRANSMISION VÍA RADIO.

Las ondas de radio pueden viajar grandes distancias y penetrar fácilmente en los edificios. En las bandas VLF (Very Low frequency), LF (Low Frequency) y MF (Medium Frequency), las ondas de radio siguen la superficie de la tierra, siendo su problema principal en comunicaciones de datos, su pequeño ancho de banda.

En HF (High Frequency) y VHF (Very High Frequency) las ondas terrestres tienden a ser absorbidas por la tierra. Sin embargo las ondas que llegan a la ionosfera (100 a 500Km de altura de la tierra) son refractadas y devueltas a la tierra. Por múltiples reflexiones pueden alcanzar grandes distancias.

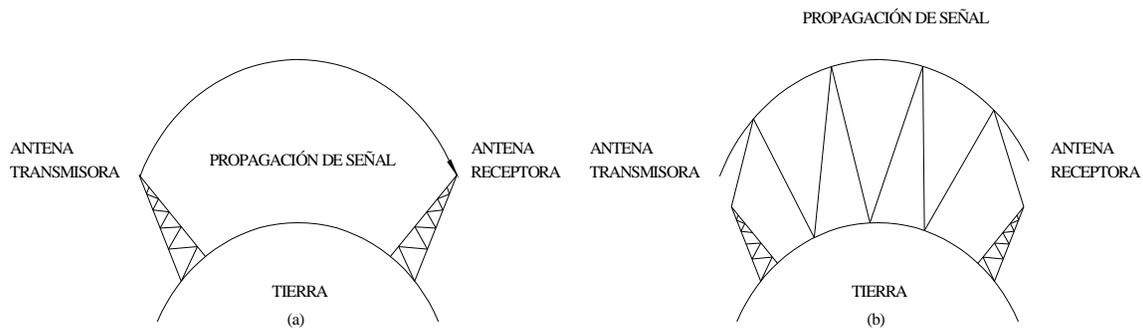


Figura 1.16. Propagación de señales de radio frecuencia. (a) En las bandas VLF, LF y MF, las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra. (b). En la banda HF las ondas rebotan en la ionósfera ⁽¹⁰⁾.

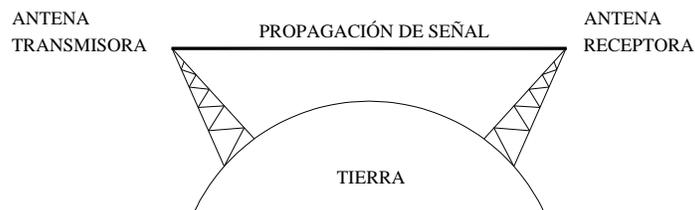


Figura 1.17. Propagación de señales mayores a 30 MHz ⁽¹⁰⁾.

Los datos del potencial de protección en este proyecto deben ser enviados por radio frecuencia en la banda de VHF, ya que como se explicó para enviar los datos a más altas frecuencias se requiere de línea de vista. Esto implica un gasto considerable en infraestructura ya que la medición se la realiza cada dos kilómetros.

Los datos que se envían desde las RTU deben ser modulados. Los conceptos básicos de Modulación se describen a continuación.

1.13.2 MODULACION

Es la alteración sistemática de la portadora de acuerdo con el mensaje para que aquella se convierta realmente en la portadora del mensaje. La portadora es la onda que transporta la señal de un lugar a otro.

Se modula para:

Facilitar la transmisión.

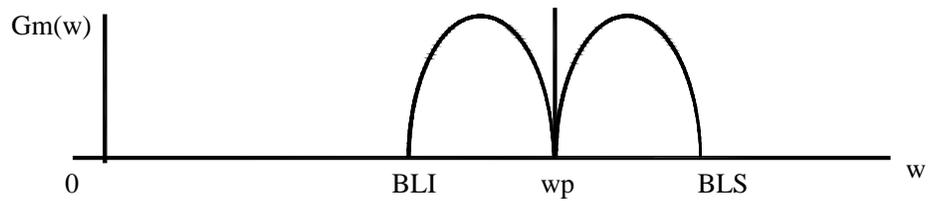
1. Reducir ruido e interferencia
2. Asignación de frecuencias.
3. Utilizar multiplexación
4. Superar las limitaciones del equipo.

En general se puede hablar de dos tipos de modulación:

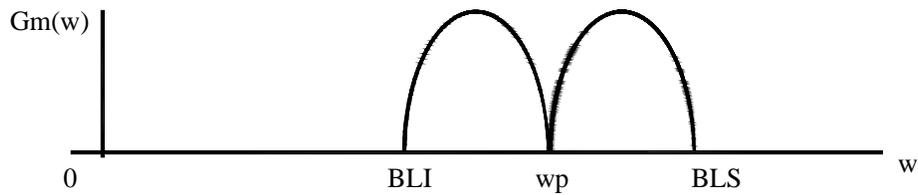
Modulación lineal: Consiste en la traslación del espectro en banda base a una zona alta del espectro de frecuencia conservando la forma del mismo además de realizar una transformación de señal. Se la realiza a partir de elementos no lineales.

La clase se modulación lineal pueden ser:

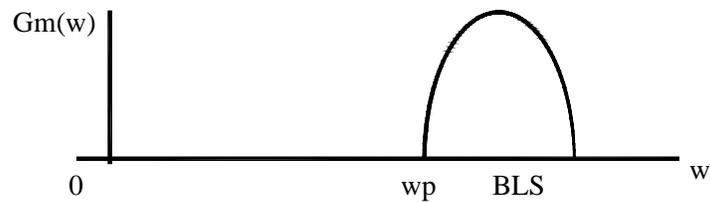
1. Modulación de Amplitud de doble banda lateral (DSB) con portadora.



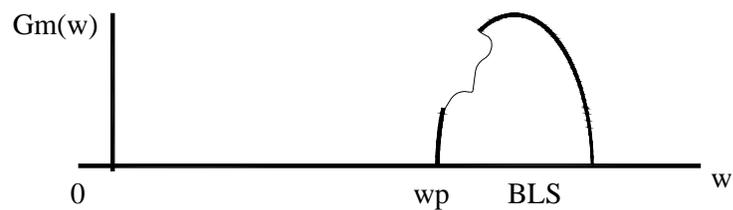
2. Modulación de Amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida.



3. Modulación de amplitud de banda lateral única (con o sin portadora) SSB.



4. Modulación de amplitud de banda lateral vestigial VSB.



Modulación angular: En la que la fase o la frecuencia de la portadora varia de acuerdo a la señal modulante, se llama también modulación exponencial.

Las clases de modulación angular son:

1. Modulación en frecuencia.
2. Modulación de Fase.

1.13.2.1 Modulación de Frecuencia FSK

La modulación FSK se utiliza para transmitir señales digitales, pero no se utiliza en radio digital por su calidad y densidad de información (excesivo ancho de banda).

Esta modulación es utilizada en la Transmisión de datos a baja velocidad sobre líneas telefónicas. Se tiene dos tipos de modulación FSK:

Coherente: En la comunicación de frecuencia se mantiene la fase de la señal.

No coherente: En la comunicación de frecuencia no se mantiene la fase de la señal. Hay saltos de fase.

1.13.2.2 Modulación PSK

La fase de la portadora cambia de acuerdo a la señal binaria de banda base. Es muy usada por amplitud constante, insensibilidad a variaciones de nivel, buen desempeño contra errores. Se utiliza en radio digital.

En general la señal modulada PSK se genera por la suma de dos señales en cuadratura, moduladas en amplitud.

1.13.2.3 Modulación MSK (FFSK)

⁽¹¹⁾ El sistema de Modulación de Ancho de Banda limitado MSK (Minimum Shift Keying) Modulación con variación mínima de fase, básicamente consiste en una modulación FSK con control preciso de varios parámetros. La frecuencia de

operación es de $1/4$ de la velocidad de transmisión en baudios y la fase de la portadora varía exactamente en 90° durante cada período de transmisión. La amplitud de la señal es constante.

Un inconveniente de MSK es que se producen varias bandas laterales indeseadas, que ensanchan el espectro de la señal. Se utiliza MSK filtrada con filtros pasa banda, para eliminar las bandas laterales indeseadas, la fase de la portadora no varía exactamente en 90° y la amplitud no se mantiene constante.

El sistema de Modulación MSK es un tipo especial de modificación continua de fase-frecuencia (CPFSK). A menudo MSK es definida como Modulación FSK rápida (**FFSK, Fast Frequency Shift Keying**), ya que la desviación de frecuencia utilizada es a lo más la mitad de la usada en modulación FSK no coherente.

Una señal MSK también puede ser vista como una forma especial de OQPSK, donde los pulsos rectangulares de banda base son reemplazados con pulsos semi-sinusoidales.

La Modulación MSK es un método poderoso y eficiente, con requerimientos de ancho de banda razonables y bajas variaciones de amplitud. Los equipos requeridos para generación y demodulación son simples y realizables. Es posible utilizar una gran variedad de demoduladores, dependiendo de la relación costo/beneficio deseada, siendo una excelente alternativa para enlaces de datos en RF de alta velocidad.

Este sistema de Modulación, es utilizado por equipos Módem de RF, que operan con Modulación FSK, en relativamente baja frecuencia, cercana a los 1200/1800 Hz, con velocidades de Módem de 110, 200, 300, 600 y 1200 baudios.

Esta característica de las señales MSK las hace muy sensibles al ruido e interferencias, por lo que en recepción, se deben utilizar filtros de ancho de banda estrecha, a fin de permitir una buena recepción, con bajo nivel de ruido.

Para realizar una real demodulación de MSK se requiere que el receptor permita captar las audiofrecuencias tan bajas como 100 Hz, debido al cambio muy bajo usado por MSK (50 Hz a 100 baudios).

Debido a que se desea enviar los datos en la banda de VHF en una de las frecuencias asignadas a Repsol, el ancho de banda debe ser reducido para no interferir con las comunicaciones en las frecuencias cercanas. La modulación MSK o como la denominan los fabricantes FFSK es la ideal para el desarrollo del proyecto.

Características de MSK:

1. El Ancho de Banda utilizado es levemente menor que BPSK.
2. Tasa de Error v/s Razón Portadora/Ruido es comparable a BPSK cuando se utiliza un demodulador coherente.
3. Tiene variaciones de amplitud mucho menores que BPSK.
4. Se puede demodular con varios tipos de detectores.
5. Detector en Cuadratura Discriminador.
6. Detector de Fase Diferencial.

Ahora que se ha definido el medio por el cual se van a enviar los datos que es la radio frecuencia en la banda VHF y se ha definido el tipo de modulación que se va a utilizar, es preciso realizar una breve introducción a la teoría de las antenas.

1.13.3 TEORIA DE ANTENAS

Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre. Las antenas deben dotar a la onda radiada con cierta dirección. Es decir, deben acentuar en una sola dirección. Esto es útil ya que en ciertas operaciones solo interesa radiar hacia una dirección determinada. Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el

plano perpendicular a la dirección de propagación. Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés y son cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente polarizada (12).

Una antena, al ser un elemento de un circuito, tendrá una distribución de corrientes sobre ella misma. Esta distribución dependerá de la longitud que tenga la antena y del punto de alimentación de la misma.

Una antena va a formar parte de un sistema, por lo que tenemos que definir parámetros que la describan y nos permita evaluar el efecto que va a producir sobre nuestro sistema.

1.13.3.1 Impedancia en una Antena

Una antena se conecta a un transmisor y debe radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. Como el transmisor produce corrientes y campos, a la entrada de la antena se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto. Esta impedancia posee una parte real $Re(w)$ y una parte imaginaria $Ri(w)$, dependientes de la frecuencia. Si a una frecuencia una antena no presenta parte imaginaria en su impedancia $Ri(w)=0$, entonces la antena está resonando a esa frecuencia. Esta resistencia de entrada se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación (R_r) y la resistencia de pérdidas (R_L). La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estas pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

1.13.3.2 Eficiencia de una Antena

Relacionado con la impedancia de la antena se tiene la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. La Eficiencia de Adaptación o Eficiencia de Reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella.

1.13.3.3 Ancho de Banda de una Antena

Es el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es óptima. El ancho de banda por lo general se mide entre los puntos de media potencia.

1.13.3.4

Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia.

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad. Matemáticamente, la ganancia directiva es:

$$D = \frac{P}{P_{\text{ref}}}$$

Donde:

D = ganancia directiva (sin unidades)

P = densidad de potencia en algún punto de una antena determinada (W/m^2)

P_{ref} = densidad de potencia en el mismo punto de una antena de referencia (W/m^2)

La ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($h = 100\%$). Matemáticamente, la ganancia de potencia (A_p) es:

$$A_p = D h$$

Si una antena no tiene pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia.

Existen dos tipos de antenas Omnidireccionales y Direccionales.

1.13.3.5 Antenas Omnidireccionales

Las antenas omnidireccionales son las que irradian la potencia en todas las direcciones.

1.13.3.6 Antenas Direccionales

Las antenas direccionales tienen sus dipolos alineados de tal manera que irradian la potencia en una dirección específica.

REFERENCIAS

- (1) Atkinson J.T.N. y H. VanDroffelaar, Corrosion and its Control. An introduction to the Subject, NACE, Houston, 1982.
- (2) Bockris J.O'M., N. Bonciocat y F. Gutmann, An Introduction to Electrochemical Science, Wykeham Pub., Londres, 1974.
- (3) González José A. (comp.), Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión, CSIC, Madrid, 1984.
- (4) Van Delinder L.S., (comp.), Corrosion Basics, An Introduction, NACE, Houston, 1984.
- (5) Shreir L.L., Corrosion, vol. II, Newnes-Butterworth, Londres, 1976.
- (6) Von Beckmann W. y Sohwenk, Handbook of Cathodic Protection, Portcullis Press, Redhill Surrey, 1975.
- (7) <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>
- (8) http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q3_corrosion.php
- (9) <http://www.movilcomsa.com/webpages/productos.html>
- (10) <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones>
- (11) Hidalgo L P. Transmisión de Datos, Escuela Politécnica Nacional, Quito 2008.
- (12) <http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html>

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describen las características del hardware adquirido para el desarrollo del proyecto y su función dentro del mismo. También se diseñó las modificaciones que permitieron tener los datos del potencial de protección en la red de Repsol YPF. El final del capítulo se dedica a lo que fue el montaje mecánico de las RTU en campo.

1.14. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL HARDWARE.

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques de la solución que se procederá a diseñar. Este posee una entrada analógica donde se conectará la señal de voltaje de la celda de referencia, el voltaje acondicionado lo recibirá el microprocesador del equipo para almacenarlo y transmitirlo vía inalámbrica.

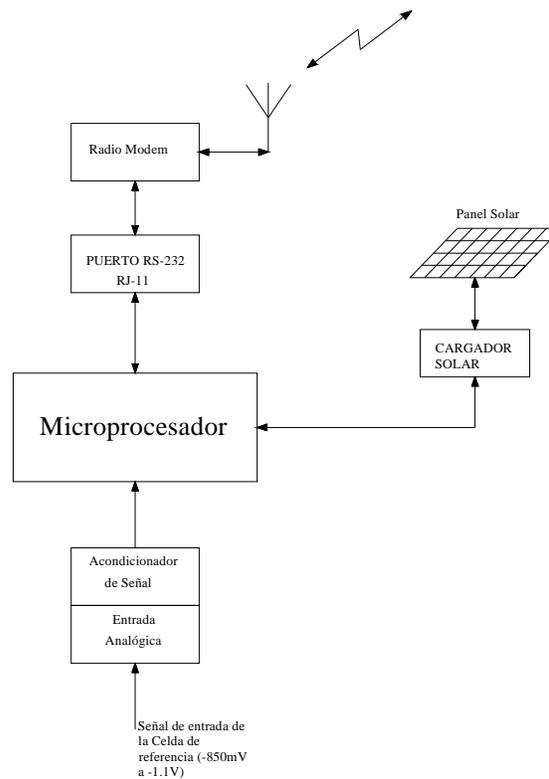


Figura 2.1 Diagrama de bloques del Hardware

La señal de voltaje de la batería, además de alimentar al circuito de control también, es monitoreada como una entrada analógica.

1.15.DESCRIPCION DE LA RTU TELESCADA ATS 8CCM

El dispositivo telescada ATS 8CCM es un registrador, transmisor, receptor, de la familia de dispositivos ATS 8C de la empresa Telescada con sede en Houston.



Figura 2.2 Telescada ATS 8CCM utilizado en el proyecto. Fotografía tomada en el Bloque 16

Este dispositivo toma la señal del potencial de protección en una de sus entradas análogas de la tubería, respecto a una celda de referencia permanente enterrada, cerca de la tubería.

Este potencial de protección debe estar en el rango de -850mV a -1100mV para que en efecto proteja a la tubería. El ATS 8CCM pasa la mayor parte del tiempo en modo Sleep, solo sale de este modo para tomar el dato del potencial de protección en su entrada analógica cada 1, 5, 15, 30 o 60 minutos, de acuerdo a como se le haya programado con el software que posteriormente se explica. Los datos se van almacenando en una memoria. El dispositivo inicia la transmisión por tres razones:

1. **ALARMA:** Es decir, el potencial de protección está fuera del rango o se ha perdido dicho potencial.
2. **POLL SOLICITADO POR EL USUARIO.** Es decir, el usuario en el software ha presionado la opción POLL, lo cual hace que el MODEM envíe una señal al ATS 8CCM de solicitud de dato. Cabe recalcar que el usuario puede solicitar el dato que en ese momento tiene el ATS 8CCM o los datos que este tenga en su memoria.
3. **DESCARGA PROGRAMADA DE DATOS.** En el software de configuración existe la opción de programar una descarga automática de datos que puede ser diaria o semanal a una hora determinada.

Para transmitir un dato el dispositivo ejecuta una serie de acciones, las cuales se detalla a continuación.

1.15.1. ENTRADA ANALÓGICA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La señal que entra al ATS 8CCM, llamada también RTU (Remote transmitter Unit), es una señal de voltaje negativa. Como el sistema está basado en microprocesadores, se necesita acondicionar esta señal con un transductor de voltaje, incluido en el equipo. Este transductor toma señales de -10 V a 10V y entrega en la salida 0 a 5V , respectivamente.

En la Figura 2.3 se puede apreciar una fotografía de la parte interna de la RTU En la Figura 2.4 a y b se puede apreciar el lugar de conexión de la entrada analógica y el transductor de voltaje. Nótese que junto a los terminales está el controlador de carga de batería.



Figura 2.3 Circuito de control del Telescada ATS 8CCM utilizado en el proyecto.



Figura 2.4. a) Terminales de entrada. De izquierda a derecha los dos primeros corresponden a la entrada del potencial de protección, el tercero y el cuarto son los terminales de la batería y el quinto y el sexto son los terminales para la celda solar.

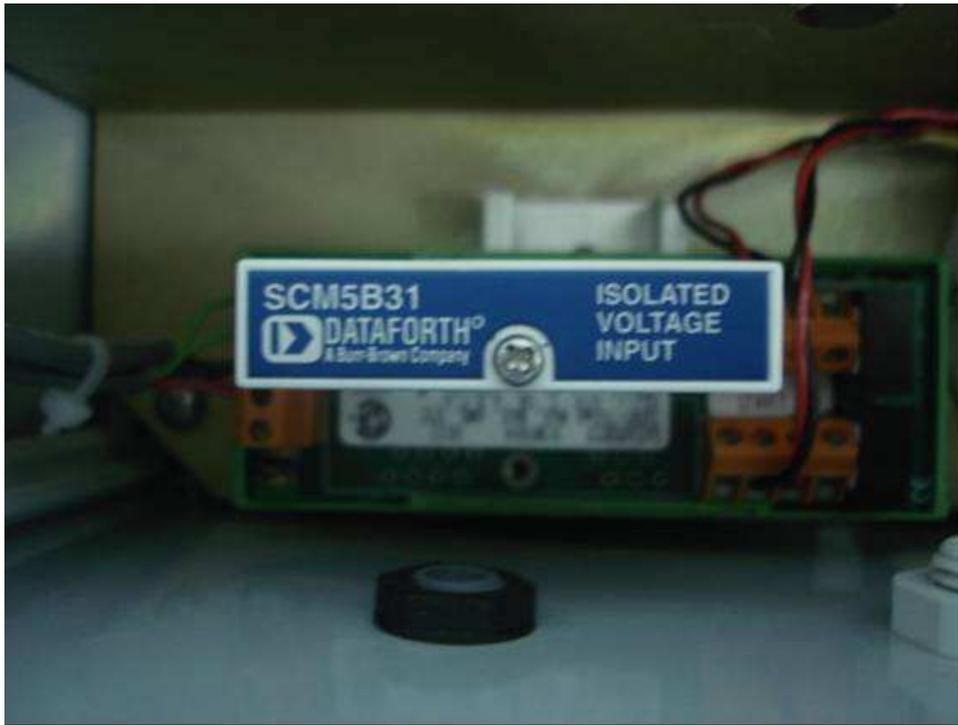


Figura 2.4. b) Transductor de voltaje aislado entrada de $\pm 10V$, salida de 0 a 5V.

2.15.1. CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control es el encargado de digitalizar la señal acondicionada, y almacenarla en la memoria; está basado en un microprocesador. La transmisión de datos se realiza vía RS 232 al denominado Local Port. En el circuito de control se encuentran también resistencias de precisión que sirven para calibrar la señal que está conectada a la entrada analógica.

Cuando se recibe una instrucción para enviar datos, las señales ingresan por el mismo puerto RS 232. Las señales de instrucción que llegan de manera remota o local, pueden ser de requerimiento de datos o instrucciones de programación, ya que el usuario puede también reconfigurar la RTU de manera remota o local. Cuando se explique la parte del software utilizado se analizará todas las posibilidades de programación del hardware. En la Figuras 2.5 se puede apreciar una fotografía del circuito de control.

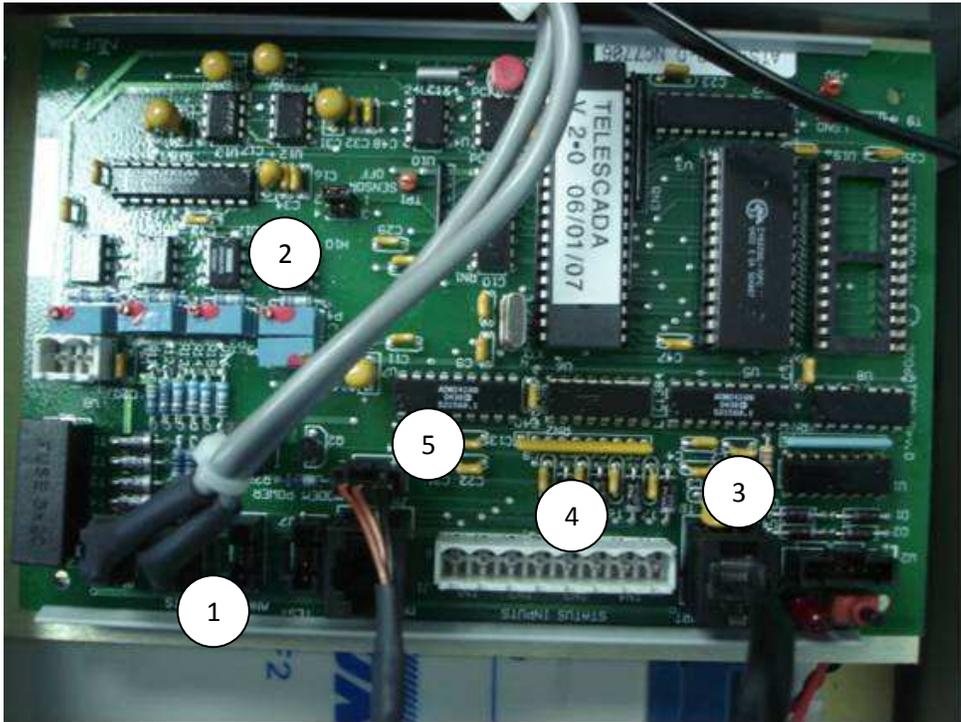


Figura 2.5. Circuito de control.

Se debe destacar lo siguiente:

- 1.- Por estos terminales llegan las señales análogas. Por el primero desde la izquierda llega la señal acondicionada del potencial de protección. En el segundo se tiene el voltaje de la batería, ya que su valor también se visualiza.
- 2.- Estas son las resistencias de precisión que permiten calibrar las entradas analógicas.
- 3.- Este es el Local Port desde el cual se toma el dato vía RS 232. Por medio de un cable RJ11 a DB15 se lo lleva al radio MIDLAN que envía el dato por VHF.
- 4.- Entradas digitales libres.
- 5.- Alimentación para el radio MIDLAN.

3.15.1. ETAPA DE RADIO

El radio utilizado en esta etapa es un radio de la marca Midlan ACC 514 cuya función es tomar los datos desde el Local Port, vía RS 232, y enviarlos vía radio frecuencia en la banda de VHF con modulación FFSK, hacia el receptor (radio base). El receptor es un radio idéntico al anterior que toma la señal de VHF, la demodula y vía RS 232 envía los datos a un PC.

Con el asesoramiento del personal de comunicaciones y sistemas de Repsol YPF se realizaron pruebas para conectar un dispositivo convertidor de RS 232 a Ethernet a la salida del radio módem. Este dispositivo, denominado Nport, tiene un conector serial para DB 25, que se conecta al puerto serial del radio y una salida a ethernet con un conector RJ 45 que se conecta al switch ubicado en la torre de comunicaciones. El NPort se configuró con la siguiente dirección IP: 10.67.61.109.

El computador en el cual se desea monitorear el potencial de protección debe tener instalado el **T-Link** que es el software de Telescada, y el **Nport Management** para configurar el Nport. Con la ayuda del software se configura la comunicación entre el NPort y el dispositivo serial, que en este caso es el radio.

A continuación se explica brevemente la utilidad del software para la configuración del NPort.

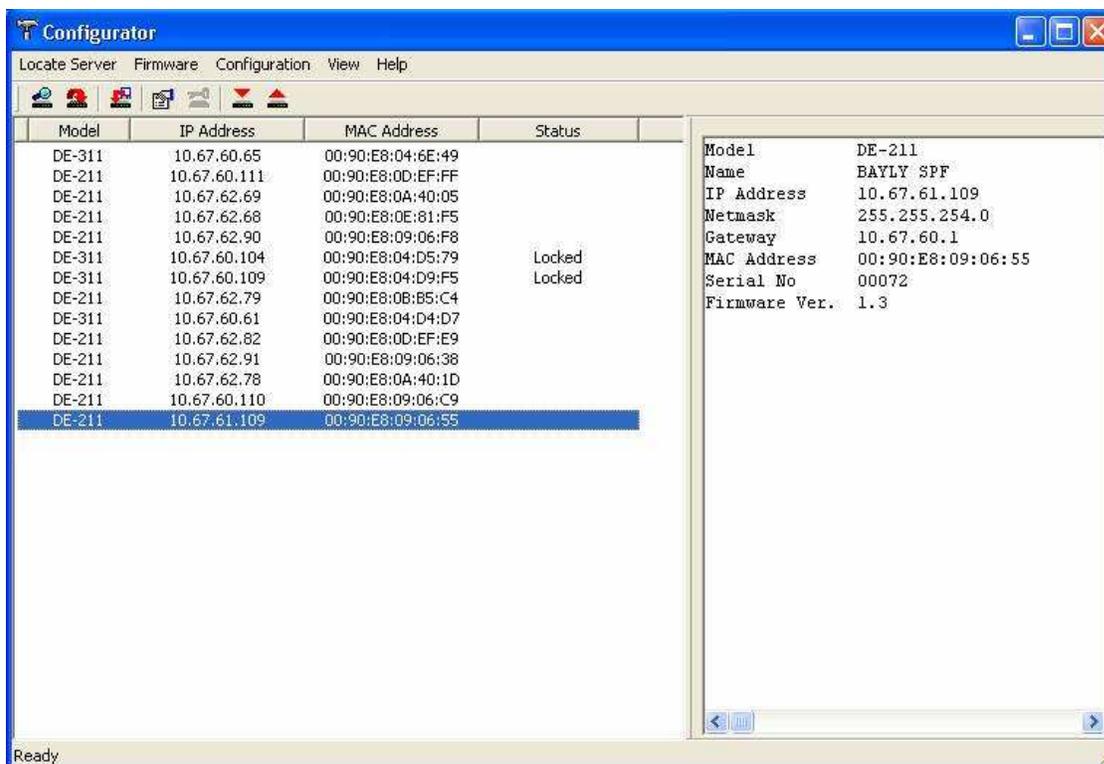


Figura 2.6. Pantalla principal del Configurator del N Port.

En la Figura 2.6 se muestran todos los NPort conectados en la red de Repsol. El que esta resaltado es el que esta conectado en la torre de comunicaciones del NPF. En la parte derecha de la pantalla se muestran las características de este NPort. Para cambiar la configuración del NPort se lo señala y luego se ingresa a la pestaña **Configuration** con la opción **Modify Configuration**, se ingresa a la ventana mostrada en Figura 2.7.

En la ventana de configuración se pueden cambiar todos los parámetros de red. Entre estos parámetros se encuentran la dirección IP la máscara de red, etc. En la Figura 2.8 se muestra la siguiente pestaña que indica el modo de operación.

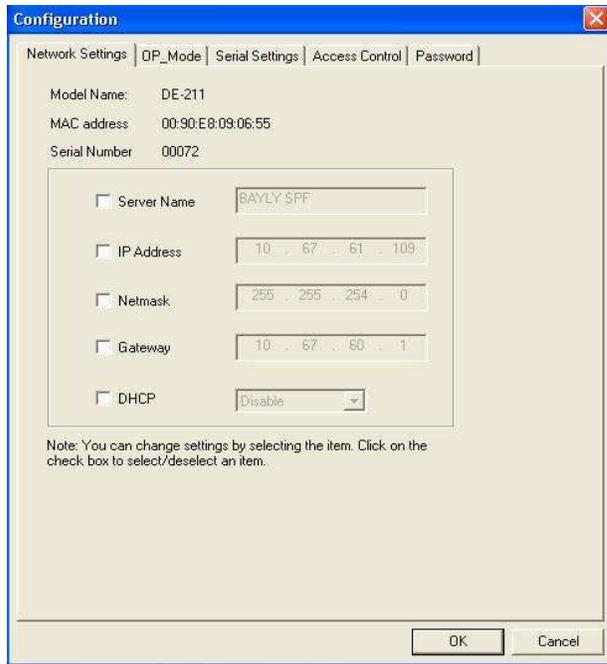


Figura 2.7. Pantalla de configuración de parámetros de red

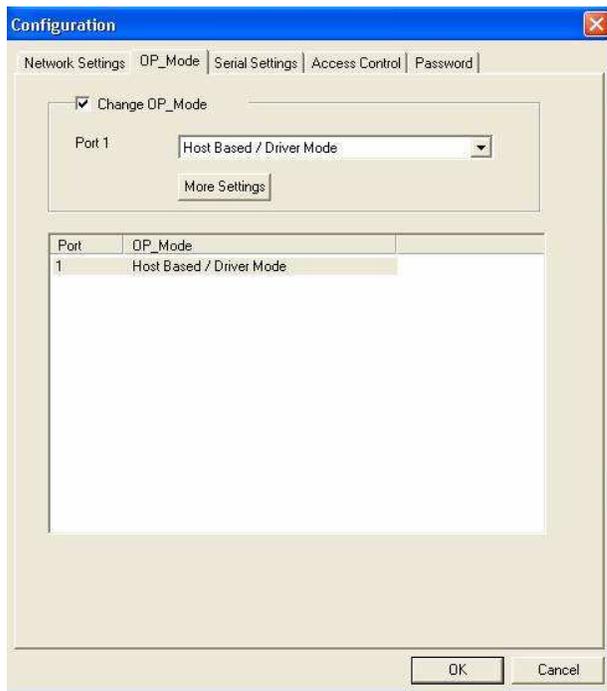


Figura 2.8. Pantalla de configuración del modo de operación.

En la Figura 2.9 se muestra la ventana que permite realizar las configuraciones de la comunicación serial. La velocidad debe ser 4800 baudios, sin bit de paridad, 8 bits de datos, un bit de parada, como los más importantes.

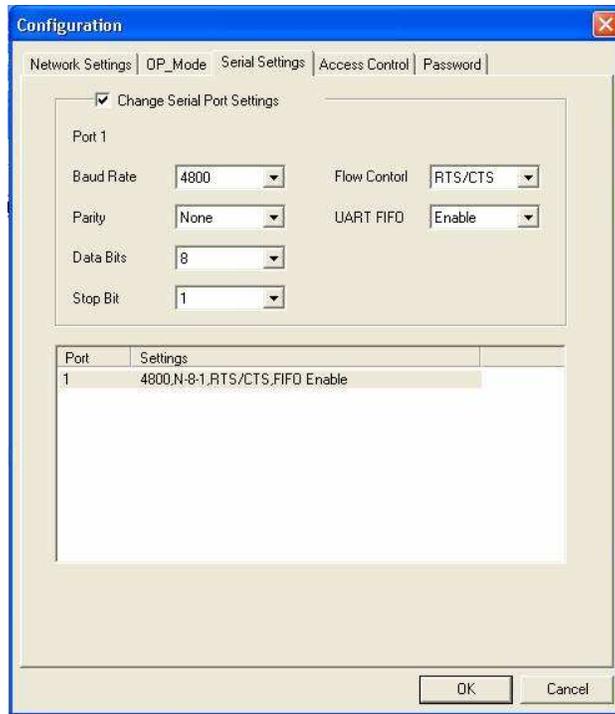


Figura 2.9. Pantalla de configuración de la comunicación serial.

En la Figura 2.10 se muestra el control de acceso al NPort. Solo los usuarios que constan en la lista pueden acceder a él.

La última pestaña corresponde a la opción de acceso vía password para la configuración del dispositivo.

Con la ayuda de otra utilidad que tiene el **NPort Management**, que es el **RealCOM Installer**, se puede asignar un puerto de comunicación para que mediante este se ingrese al dispositivo serial desde un usuario autorizado que conste en la lista. De esta manera se crea un puerto adicional serial en el computador, que en este caso se le ha asignado el COMM 5.

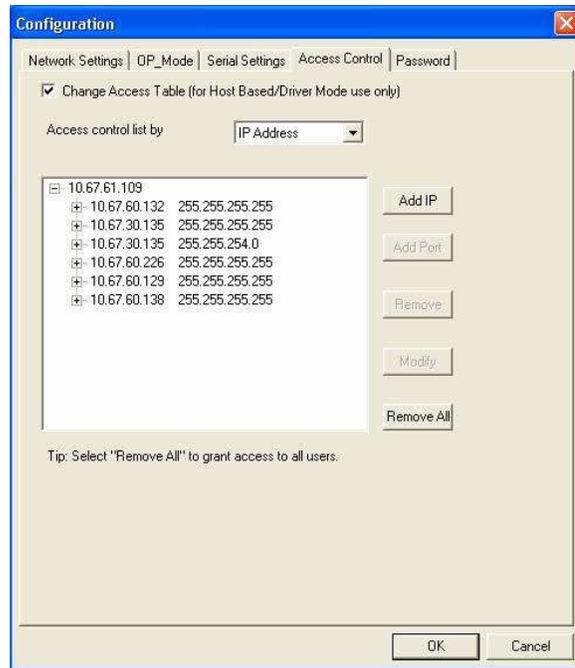


Figura 2.10. Ventana para registrar los usuarios que tienen acceso al NPort.

La ventana inicial del RealCOMM Installer se muestra en la Figura 2.11. En ella se puede observar el COM que se ha elegido. Para cambiar el COM se debe dar un clic derecho sobre **COM 5** y se elige la opción **Map Port**, con lo que aparece la ventana mostrada en la Figura 2.12.

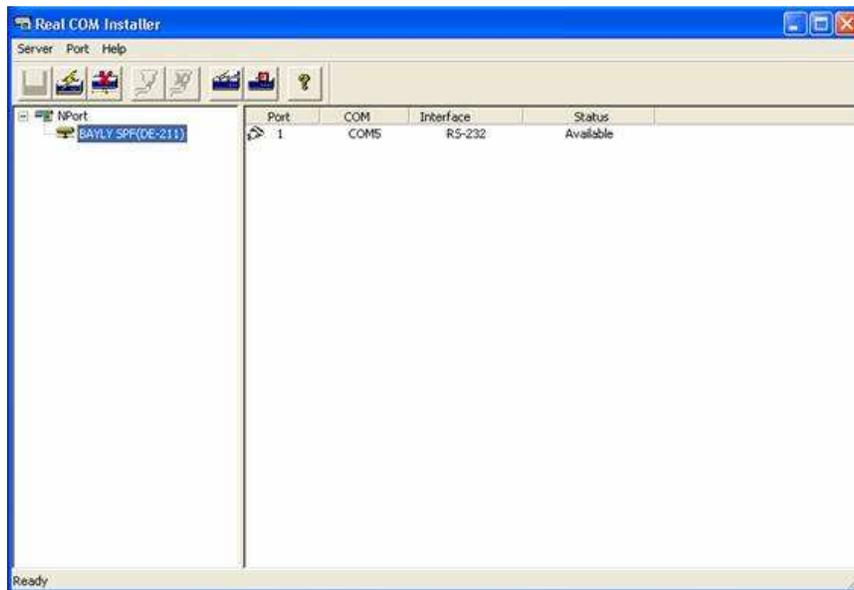


Figura 2.11. Ventana principal para asignar un puerto al NPort.

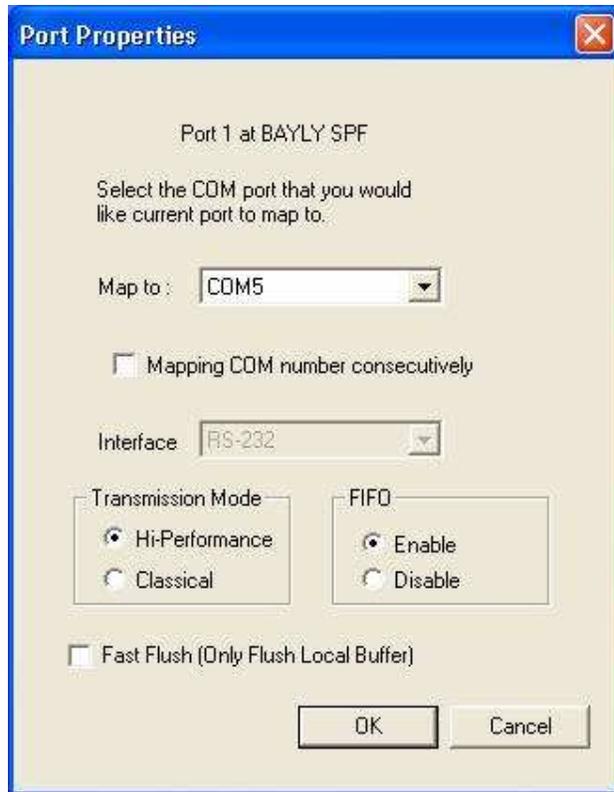


Figura 2.12. Ventana en la cual se elige que puerto de comunicación ocupará el NPort.

En esta ventana se puede elegir otro puerto virtual para el Nport.

Cuando se ha configurado el NPort y se ha elegido en que puerto estarán los datos, el software de Telescada, T-Link, reconoce además de los puertos físicos del computador un puerto más, el Com 5. Ahora, ya no es necesario que el radio módem se encuentre cerca al computador en el cual se van a observar los datos, ahora puede estar ubicado en cualquier sitio donde haya enlace VHF con las RTUs, y haya un punto de red disponible, y el computador en el cual se van a observar los datos puede estar en cualquier sitio en la red de Repsol, inclusive en Quito. A continuación en la Figura 2.13 se observa el NPort.

El NPort se instaló en la caseta de la torre de comunicaciones del NPF. En las Figuras 2.14 y 2.15 se puede observar las conexiones entre el radio módem, y el NPort.



Figura 2.13. NPort, nótese en la parte inferior el conector DB 25.

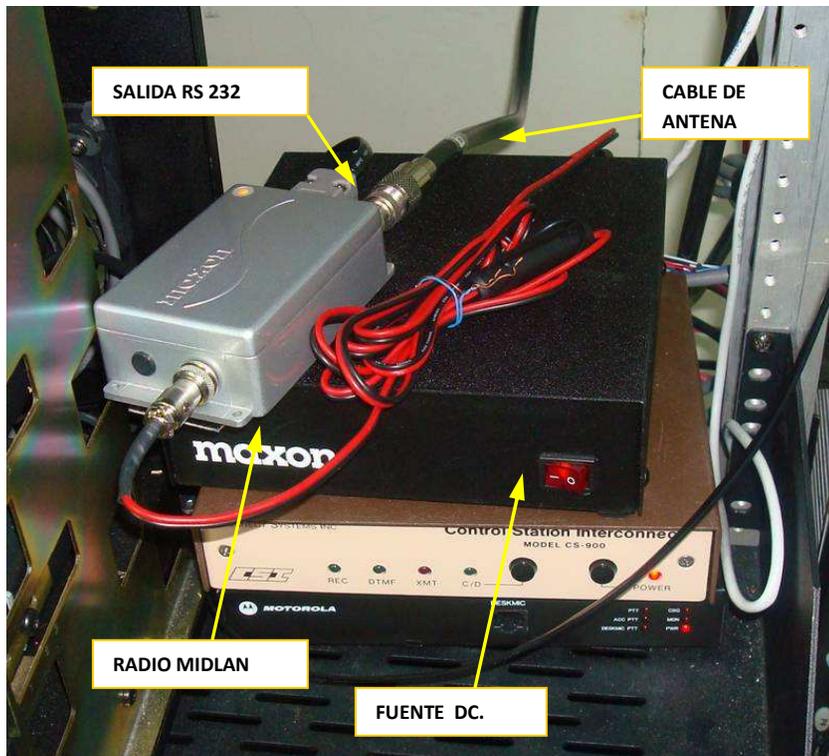


Figura 2.14. Radio módem MIDLAN.



Figura 2.15. Radio Midlan. En la parte superior se pueden apreciar el puerto serial y la conexión de la antena.

La alimentación del radio proviene del circuito de control. La velocidad de transmisión es a 4800 baudios.

Las frecuencias de transmisión y recepción se las programa con el software provisto por el fabricante (Midlan). Dicho software no fue adquirido ya que las frecuencias vinieron programadas de fábrica a las frecuencias solicitadas por Repsol, En la Figura 2.16 se puede apreciar el radio conectado dentro de la caja.



Figura 2.16. Radio Midlan conectado. En la parte inferior se pueden apreciar el cable que conecta la alimentación hacia la tarjeta.

4.15.1. CELDA SOLAR Y BATERÍA

En los sitios donde van a instalarse las RTUs no existe fuente eléctrica, por esta razón se necesita una fuente de energía alternativa. El ATS 8CCM cuenta con una batería de 12 V 18.0 Amp. Hr. recargable a través de un controlador de carga y una celda solar. La RTU esta programada para priorizar el ahorro de energía, y pasa la mayor parte del tiempo en modo de bajo consumo; es decir, solo funciona el microprocesador en modo watch dog. Como se había mencionado antes, el sistema solo sale del modo de bajo consumo para guardar el dato que en ese momento se encuentre en la entrada y para transmitir los datos.



Figura 2.17. Batería recargable.



Figura 2.18. Celda Solar.

1.16.CAMBIO DE ANTENAS.

Los equipos de Telescada vienen con una antena como la mostrada en la Figura 2.19.



Figura 2.19. Antena CA 1506U, original de los radios Midlan.

Con el propósito de aumentar la ganancia de los equipos, el radio módem se conectó a una antena libre ubicada en la torre de comunicaciones en el NPF. Esta antena está ubicada a 76 metros de altura. El cable coaxial de la antena ingresaba hasta la caseta de la torre. Fue necesario acoplar el cable que posee un conector PL hembra al conector BNC macho del radio módem.

Esta antena tiene una longitud que se ajusta a la frecuencia de trabajo del radio modem.

Existen dos opciones para mejorar la ganancia del sistema. La primera es direccionar los dipolos de la antena DB224 que se encuentra en la torre de NPF, hacia Tivacuno, ya que al momento los dipolos se encontraban alineados de manera omni direccional, la segunda opción es colocar antenas de mayor ganancia y directivas a las RTU.

Las antenas Yagi son directivas y tienen una mayor ganancia, pero tienen una desventaja, que es el tamaño. Al colocarse el equipo en el campo cerca de las comunidades aledañas puede ser objeto de robo por su parecido con las antenas de televisión. Por esta razón se optó por el cambio de las antenas CA 1506U por antenas de látigo, similares a las utilizadas en los vehículos. Estas antenas son de la marca MAXRAD. Una particularidad de estas antenas es que vienen de un largo determinado, el cual si es necesario se lo debe reducir, dependiendo de la frecuencia en la cual se vaya a trabajar. Para trabajar en las frecuencias de las RTU que son TX: 163.025 y RX: 161.425 se necesita que las antenas tengan una longitud de $34 \frac{3}{4}$ " , aproximadamente unos 88,2 cm.

1.17.MONTAJE MECÁNICO DE LAS RTUs.

Una vez culminada la fase de pruebas de enlace entre las RTU y el radio módem, el siguiente paso es el montaje mecánico de las RTU.

Se debe diseñar un soporte mecánico para las RTU ya que no se puede dejar a la altura de los postes existentes que tienen alrededor de 1,20 m. Por el riesgo de que sean sustraídos del sitio por las comunidades que habitan la zona.

Surge un inconveniente ya que según las normas de Repsol YPF cualquier instalación en el Bloque 16 necesita ser ingresada en un sistema del departamento de proyectos y construcciones llamado **SIG IN**, pero para lograr esto se debe contar con las autorizaciones del Gerente de campo y del Gerente de operaciones. Se realizan las gestiones pertinentes y posterior a estas aprobaciones este proyecto de tesis se convirtió en un proyecto formal para Repsol con código de proyecto **ECUA 08031**. El cual necesita de planos de implantación aprobados por el Departamento de Ingeniería, y la Gerencia de Instalaciones de Superficie. Una vez aprobados los planos se ingresa al Bloque 16 nuevamente para continuar con la fase final del proyecto que constituye el montaje y pruebas. En el anexo A se presentan los planos presentados a Repsol YPF.

En reunión del 02 de abril del 2008 se determina que las RTU irán instaladas junto al primer y último poste de prueba de la protección catódica en el tramo NPF-Tivacuno. El primer poste se encuentra en la ubicación Km 1+015, en la zona de la planta de tratamiento de desechos conocida con el nombre de Estación Paraíso, en una variante de la tubería. Las variantes son zonas en las cuales las tuberías se desvían de la ruta del derecho de vía y toman atajos por medio de la selva. El último poste tiene la ubicación KM 11+080, a un kilómetro de Tivacuno A. Este poste se encuentra junto al derecho de vía.

En las Figuras 2.20. y 2.21., se aprecian las ubicaciones de los postes existentes.



Figura 2.20. Poste ubicado en el Km. 11+080



Figura 2.21. Poste ubicado en el Km. 1+015

Los postes mostrados en las Figuras 2.20 y 2.21 son los utilizados hasta el momento para realizar las mediciones manuales de la protección catódica.

Están cubiertos con una estructura mecánica, en su interior se encuentra una caja plástica con terminales, y a ella llegan los cables que están soldados a las tuberías.



Figura 2.22. Poste de prueba sin la protección metálica.

Cuando el departamento de corrosión mide el potencial de protección, llega hasta cada una de estos postes ubicados a lo largo de la vía en todos los oleoductos pertenecientes a

Repsol, y con una celda de referencia de Cu/CuSO₄ portátil, que la colocan un tanto enterrada, miden el potencial de protección entre la celda y los terminales ubicados en este poste; es decir, miden el potencial de la tubería respecto al suelo.

Previo al montaje mecánico también se debe cavar junto a cada poste hasta encontrar la tubería y colocar una celda de referencia permanente en el sitio, ya que la RTU toma la señal de voltaje entre una celda permanente y la tubería.

La excavación se la hizo junto al poste de prueba existente. La celda se colocó lo más cerca posible de la tubería. La celda de referencia se la puede apreciar en la Figura 2.23. Todos los trabajos de obra civil se realizaron con la ayuda del personal del cuerpo de ingenieros que presta servicios en el Bloque 16 dando apoyo a los diferentes departamentos. Este personal esta a cargo de los Supervisores de Medio Ambiente y Obra civil de Repsol YPF.



Figura 2.23. Celda de referencia permanente.

La construcción del soporte mecánico de acuerdo a planos presentados, corrió por parte del personal del Departamento de corrosión e Inspección Técnica de Repsol YPF, en la siguiente Figura se muestran los soportes.



Figura 2.24. Estructuras cuando están siendo llevadas para su instalación en campo.



Figura 2.25. Instalación de la RTU en la estructura mecánica.

En la Figura 2.26. se puede observar la RTU y la estructura colocados junto al poste de prueba 11+080.



Figura 2.26. RTU instalado junto al poste de prueba existente.

Hasta aquí se ha explicado como se diseñó el hardware y las modificaciones realizadas al diseño original que permitieron, en primera instancia, tener los datos del potencial de protección en la red de Repsol YPF; y en segunda instancia alcanzar una distancia mayor de transmisión desde Tivacuno hasta la torre de comunicaciones en el NPF. También se explicó los pasos previos a las pruebas definitivas con el potencial de protección como fueron la colocación de la celda de referencia permanente y el montaje mecánico de las RTU.

En el siguiente capítulo se detalla el diseño del software que permite el manejo de los datos de las RTU.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

El presente capítulo explica sobre el desarrollo de las funciones del programa cargado en el microprocesador y también las características del software de adquisición de datos y configuración que debe ser instalado en la PC, desde la cual se monitoreará y programará a los postes de prueba.

1.18. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE LAS RTU

Ya que el sistema esta basado en un microprocesador, a continuación se detalla en un diagrama de flujo del programa cargado de fábrica en el micro.

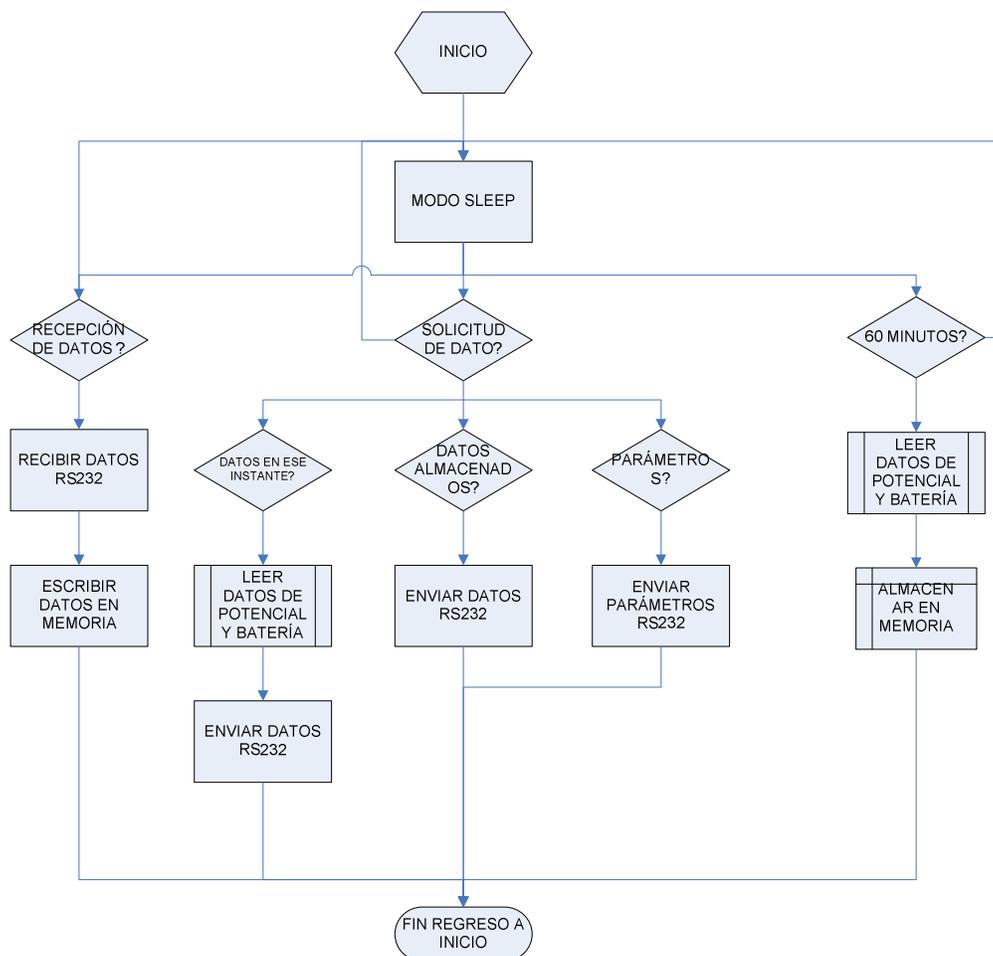


Figura 3.1. Diagrama de flujo del programa cargado en el microprocesador.

El programa cargado en el microprocesador de la RTU interactúa con el usuario a través del software T-Link. Mediante instrucciones provenientes del T-Link o interrupciones provenientes del programa del microprocesador. Se generan algunas funciones como envío de datos, almacenamiento de datos o cambio en la configuración del microprocesador.

A continuación se detallan las funciones que ejecuta el microprocesador en lenguaje estructurado.

Modo Sleep

Watch dog timer en modo de bajo consumo

Si el radio modem esta enviando datos

Ir a Recibir Datos

Si hay solicitud de datos

Ir a Solicitud de Datos

Si han pasado 60 minutos

Leer Datos de Potencial y batería

Guardar datos en la memoria

Recibir Datos

Solicitud de recepción

Si es el destinatario

Leer la trama de datos

Si es cambio de configuración

Escribir los cambios en la localidad de memoria correspondiente

Enviar mensaje de recibido

Regreso a Modo Sleep

Fin Tarea

Solicitud de datos

Solicitud de recepción

Si se requiere Datos en ese instante (POLL)

Leer datos de potencial y batería

Enviar dato de potencial, batería y dirección

Si se requiere Datos almacenados cada 60 minutos

Tomar datos de la memoria potencial, batería, hora

Enviar datos de potencial, batería, hora

Si se requiere datos de configuración de parámetros

Tomar datos de la memoria

Enviar datos

Regreso a Modo Sleep

Fin Tarea

Ha pasado 60 minutos?

Leer el dato de la Hora

Si han pasado 60 minutos

Leer el dato en la entrada analógica

Leer el dato del estado de la batería

Leer el dato de la hora

Almacenar los datos en la memoria

Regreso a Modo Sleep

Fin Tarea

1.19.DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN Y MONITOREO T-LINK.

Este es el software de Telescada que se utiliza para la configuración y monitoreo de las unidades remotas. Estas configuraciones se las puede realizar localmente a través del Local Port, con una Lap top, o vía remota a través del radio Midlan del ATS 8CCM. A continuación se explica paso a paso el uso de este software en el proyecto.

3.2.1 INTERPRETACIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL.

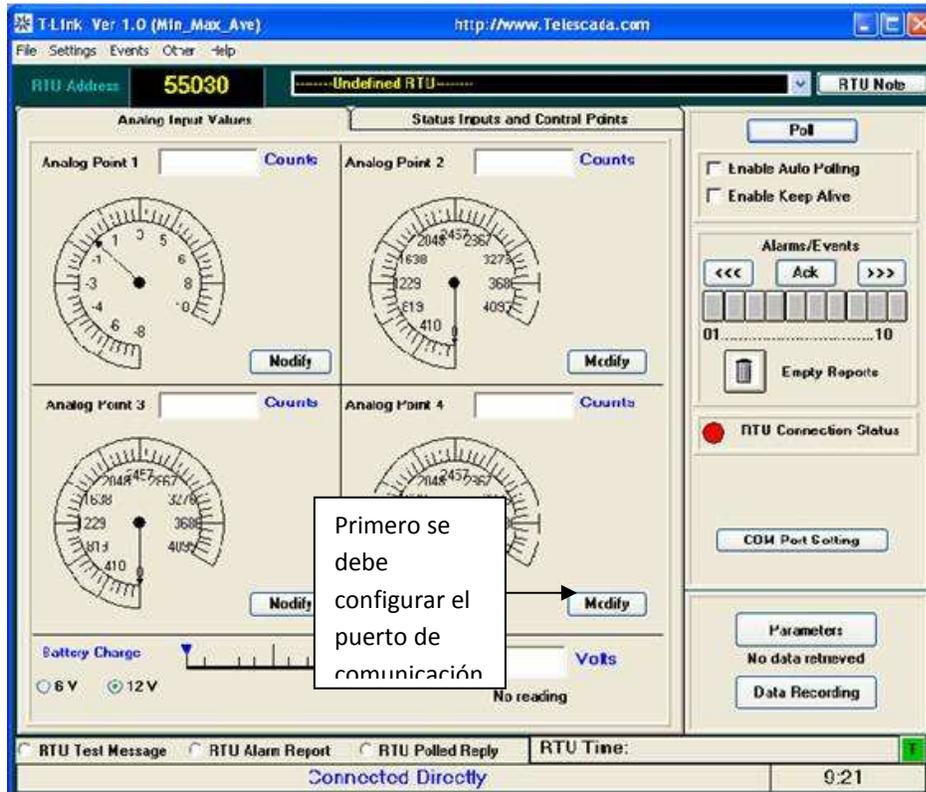


Figura 3.2. Pantalla principal del Software de Configuración T-Link

Cuando se da un click en Comm Port Setting aparece la siguiente ventana

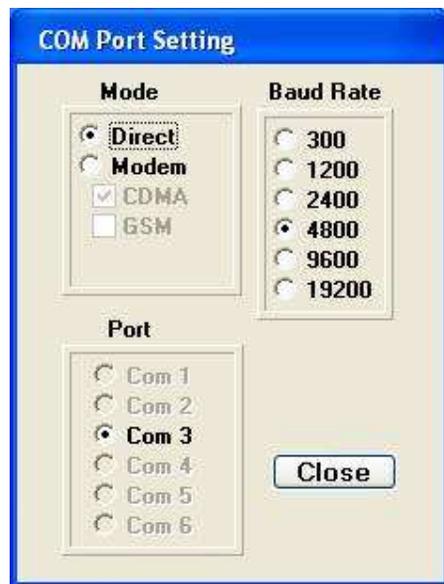


Figura 3.3. Cuadro de diálogo del COM Port Setting

Si se va a comunicar con la RTU de manera directa; es decir, si se conecta el Local Port directo a una Laptop se debe escoger la opción **Direct** a 4800 Baudios por el puerto correspondiente.

En la Figura 3.4 se muestra una pantalla del T-Link cuando se ha conectado con la RTU, la cual ha enviado un dato de su entrada analógica y el estado de la batería. La transacción se logra presionando el Botón **POLL** en el T-Link

A continuación se explica todos los componentes de esta pantalla.

En la pantalla superior izquierda se encuentra la leyenda **RTU Address**, junto a ella se encuentra un número que en este caso es el 55031, esta es la dirección de la RTU. Esta dirección vino configurada de fábrica. En el caso de que no venga ninguna dirección configurada aparecerá 00001, En la parte superior, donde aparece **Undefined RTU**, normalmente aparece el nombre del archivo con el cual se ha configurado la visualización del T-Link.

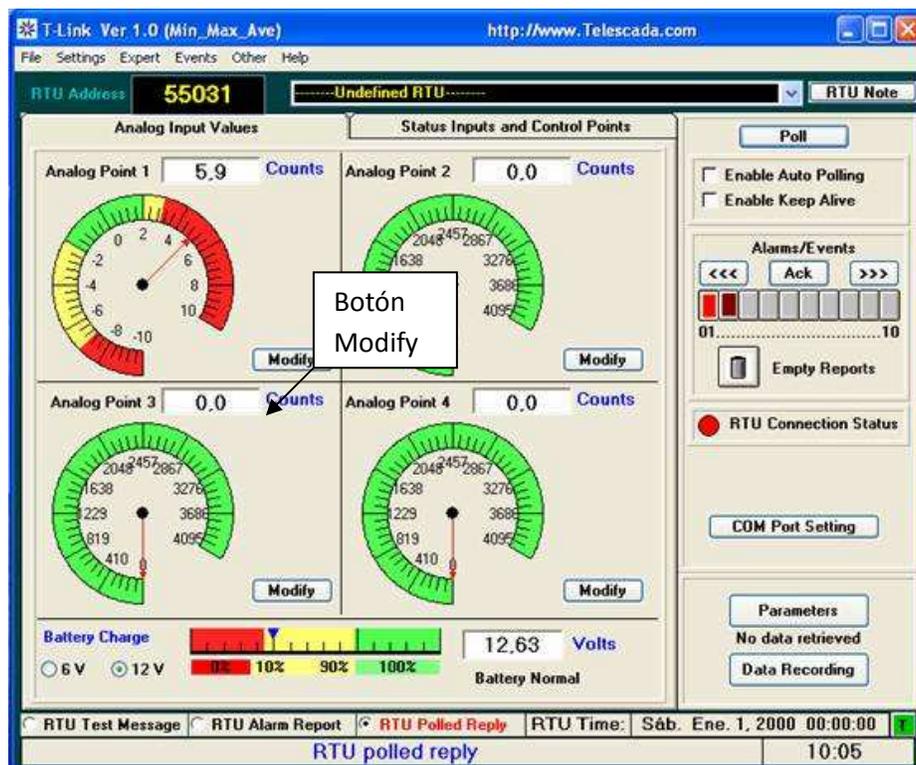


Figura 3.4. Pantalla principal cuando se ha enviado el dato desde la RTU.

El nombre de archivo normalmente se asocia a la ubicación de la RTU. Justo debajo de la dirección de la RTU se encuentra activada la pestaña **Analog Input Values**, donde

aparecen cuatro escalas circulares, que corresponden a las cuatro entradas análogas. La región en verde determina la región normal de operación, la región amarilla la zona baja, o la zona alta, las regiones rojas corresponden a las zonas alta alta o baja baja. En el caso de la Figura 3.4 solo se tienen datos de la entrada analógica uno y el dato de la batería. En la entrada analógica 1 se tiene un valor de 5,9 que corresponde al voltaje que en ese momento se está aplicando a la RTU.

Para modificar las leyendas de **Analog Point 1 y Counts**, así como el rango que se visualiza se da un click en **Modify** y se muestra una ventana de diálogo “**AnalogSetup**” como la de la Figura 3.5.

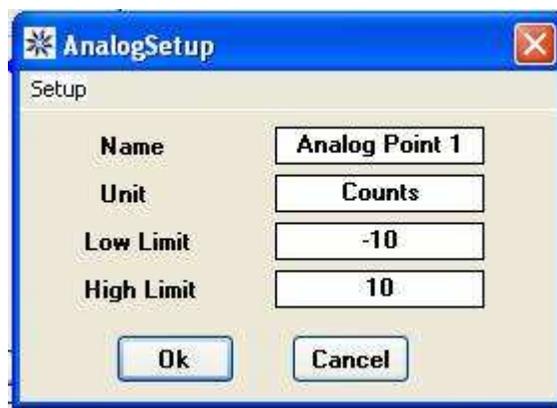


Figura 3.5. a) Cuando se presiona Modify, aparece el cuadro de AnalogSetup

En **Name** se ingresa por lo general la descripción de la variable, que en este caso es potencial. En **Unit** se ingresa Voltios. **Low Limit** y **High Limit** se mantienen ya que son los voltajes que puede aceptar la entrada analógica. En la Figura 3.5.b) se muestra el AnalogSetup.

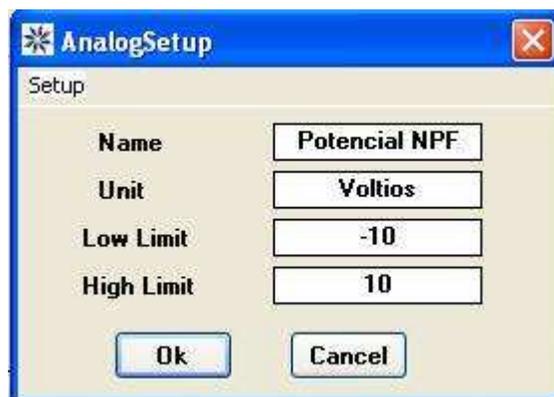


Figura 3.5. b) AnalogSetup modificado.

El programa requiere que se realicen estos cambios pues las RTUs de Telescada no solamente están diseñadas para medir el potencial de protección catódica, sino también hay RTUs que miden Presión, Temperatura, Flujo, etc., y el programa para configurar y visualizar estos datos es el T-Link. Es por esta razón que el software no viene configurado de fábrica, las opciones se deben cambiar de acuerdo a lo que se este midiendo.

Luego de haber realizado esos cambios la pantalla principal del T-Link se muestra como en la Figura 3.6.

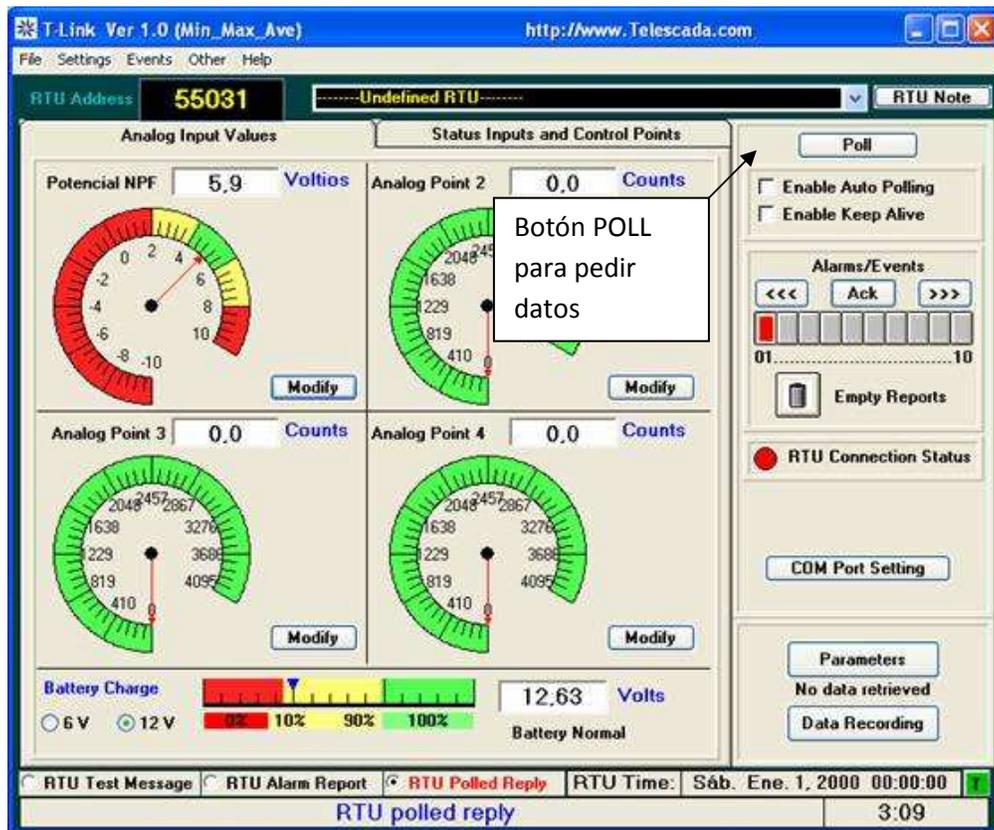


Figura 3.6. Ventana que ahora muestra el Potencial NPF y Voltios.

En la parte inferior derecha de la pantalla se observa un Botón con la letra **T** y con un fondo verde. Cuando se da un clic en este botón aparece una pequeña ventana en la cual se encuentra la fecha y la hora actual que serán grabados en la RTU.



Figura 3.7. Ventana para programar la hora en la RTU.

El botón **POLL** sirve para solicitar el dato que en ese momento tiene la RTU en la entrada, y el estado de la batería. Si bien la opción **Enable Auto Polling** permite realizar solicitudes automáticas de datos en un intervalo de tiempo, en el proyecto esto no es recomendable ya que el consumo de batería es alto, tampoco lo es la opción **Enable Keep Alive**.

Los controles de la ventana **Alarm/Events** muestran las ultimas 30 solicitudes de datos de una, u otra RTU. Cuando se siguen solicitando datos mediante el botón **POLL** se almacenan en los últimos registros eliminándose los más antiguos. Una ventana muestran de diez en diez los 30 registros. Para ver los siguientes diez o los anteriores se utilizan los controles  o  , respectivamente. Para ver la pantalla de “Alarmas y Eventos” se presiona en cualquiera de los rectángulos correspondientes a los registros

cuando se requiera se pueden limpiar todos los registros con un clic en el botón . A continuación se muestra la ventana completa en la Figura 3.8.

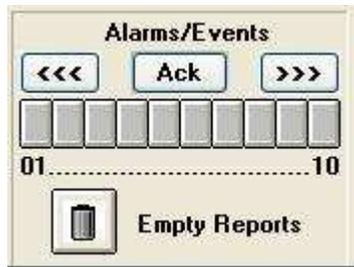


Figura 3.8. Ventana de Alarmas y eventos.

Bajo los indicadores de las entradas analógicas se puede ver el estado de la batería.

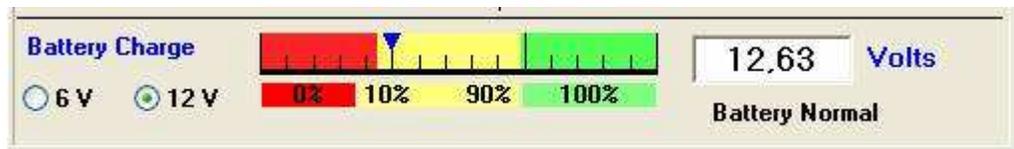


Figura 3.9. Estado de la Batería

A continuación se describen dos botones muy importantes ubicados en la pantalla principal en la parte inferior derecha del T-Link los comandos **Parameters** y **Data Recording**.

El primero permite descargar los datos de programación de la RTU que en ese momento esté apuntando la casilla **RTU Address**. Al dar un clic en **Parameters** se envía los datos por el MODEM (Radio) la solicitud de envío de parámetros a la RTU. Aparece la pantalla que se muestra en la Figura 3.10.

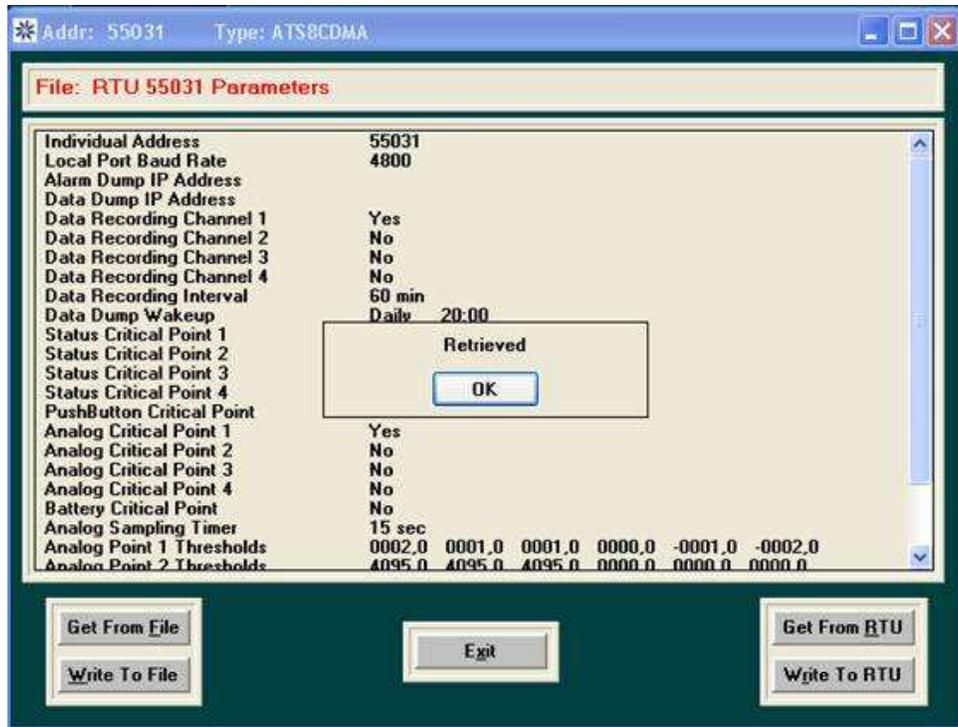


Figura 3.10. Cuando se recibieron los datos aparece el mensaje de recibido.

A continuación en la Figura 3.11 se muestra la pantalla con todas las configuraciones que se pueden cambiar cuando la RTU está fuera de línea. Para cambiar cualquier configuración se accede mediante doble clic sobre cualquiera de ellas.

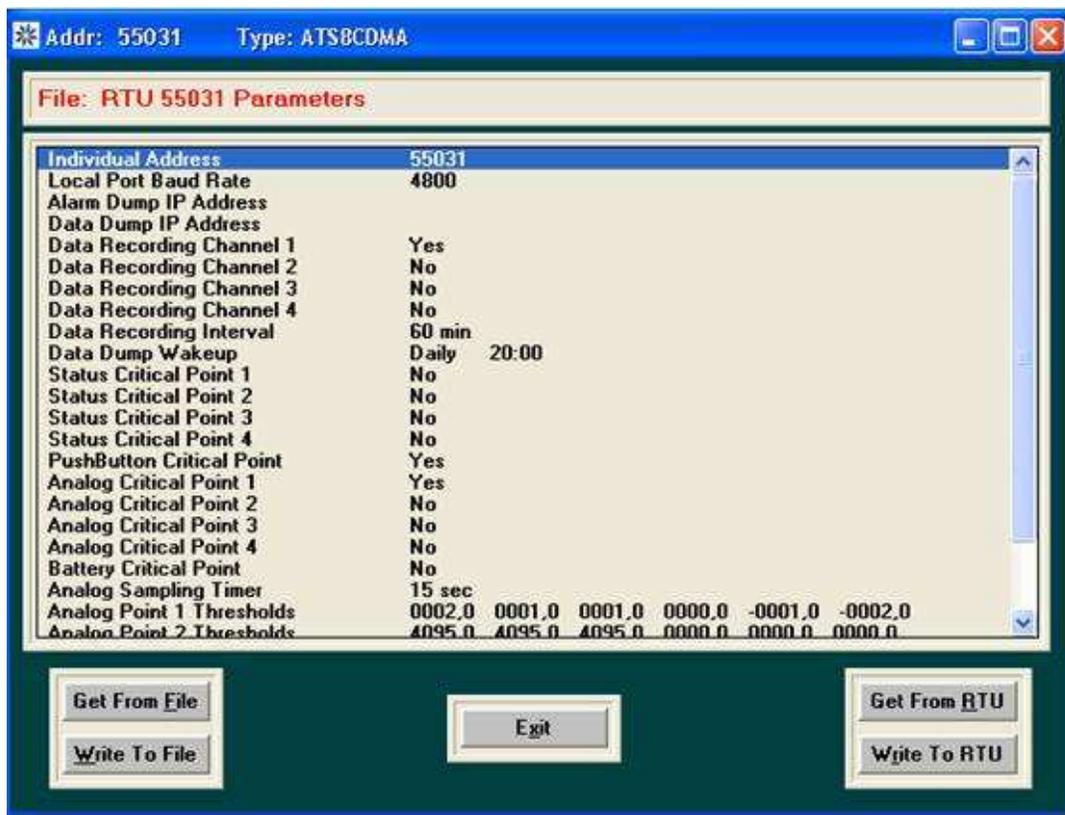


Figura 3.11. Pantalla de Parámetros fuera de línea.

Con Doble clic en **Individual Address** se puede cambiar la dirección de la RTU la cual puede estar entre 2 y 65534.



Figura 3.12. Ventana para cambiar la dirección de cada RTU.

De la misma forma se accede a la ventana de **Local Port Baud Rate**.

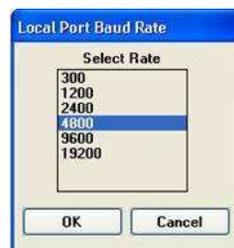


Figura 3.13. Ventana para configurar la velocidad, se utiliza 4800 baudios.

Se utiliza 4800 baudios puesto que los radios Midlan transmiten y reciben a esta velocidad con modulación FFSK.

La opción **Data Recording Channel 1** se habilita o deshabilita con doble clic sobre la opción. Esta debe estar habilitada para que la RTU grabe los datos de la entrada análoga 1. El siguiente parámetro a configurar es el **Data Recording Interval** que es el parámetro que determina cada cuanto tiempo se va a tomar el dato de la entrada analógica para almacenarlo en la memoria de la RTU. Este está programado para tomar datos cada sesenta minutos por razones de consumo de batería.



Figura 3.14. Ventana para elegir el Intervalo para grabar datos.

El siguiente parámetro a configurar es el **Data Dump Wakeup** que permite configurar a la RTU para que envíe todos los datos almacenados una vez al día, o una vez a la semana a una hora determinada.

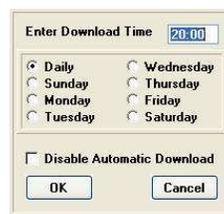


Figura 3.15. Ventana para configurar la descarga de datos.

El siguiente parámetro **Push Button Critical Point** al estar habilitado permite que el Botón PB1 ubicado en la tarjeta electrónica junto al diodo LED en la RTU posibilite el envío del estado de la entrada analógica 1 y la batería, tal como si se presionase el botón POLL en el T-Link. Esta habilitación sirve para fines de calibración en sitio y comprobar que el dato que se tiene en la entrada sea el mismo que se está enviando. El parámetro

Analog Critical Point 1 permite tener un aviso cuando la entrada analógica ha pasado de uno de sus límites críticos Alto Alto o Bajo Bajo,

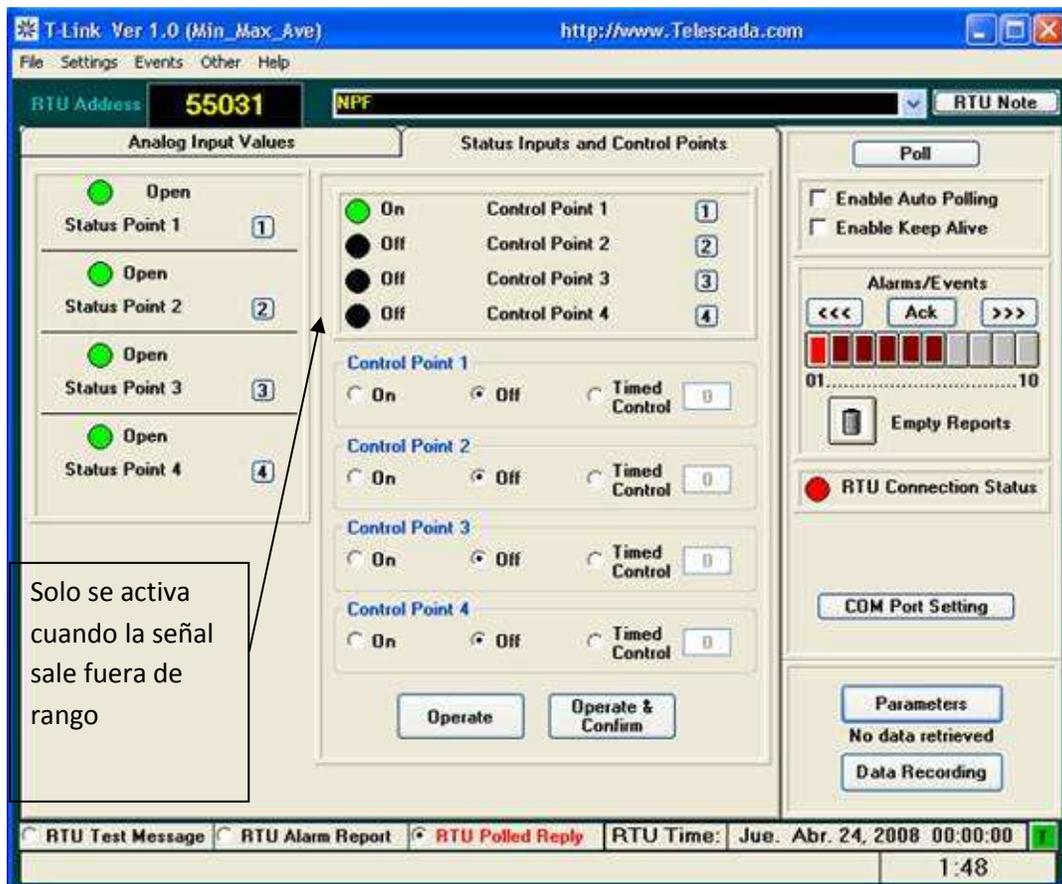


Figura 3.16. Ventana que se muestra cuando se presiona la pestaña **Status Inputs and Control Points**, ubicada junto a Analog Inputs Values.

El resto de elementos de esta pestaña no se utilizan en este proyecto, los indicadores de la parte izquierda son los estados de las entradas digitales, y en la parte inferior media se muestran “puntos de control” utilizados principalmente cuando se ocupan RTUs que envían datos en tiempo real.

El siguiente parámetro a considerarse es el **Analog Sampling Timer** el cual determina el tiempo en el cual la RTU pasa en modo de bajo consumo antes de chequear la entrada en busca de valores fuera de rango; es decir, alarmas.

El siguiente parámetro **Analog Point Thresholds 1** corresponde a la configuración de los valores de alarma que determinan los colores de las regiones de alarma del programa. En esta ventana se deben ingresar los valores Alto, Alto Alto, Bajo, Bajo Bajo, la Histéresis, y el cero. Según estos valores se determinan los colores en la Indicación de la pantalla principal luego de obtener un dato (Ver Figura 3.6). La región verde corresponde a una región normal de trabajo, la región amarilla es una región entre normal y alto o bajo y la región roja corresponde a la región entre alto y alto alto o entre bajo y bajo bajo.

Analog Point 1 Thresholds (Counts)	
Full Scale	2,0
Very High	1,4
High	1,4
Low	0,0
Very Low	-1,0
Zero	-2,0
Hysteresis	0,0

OK Cancel

Figura 3.17. Ventana de configuración para la entrada analógica 1.

Cuando se tienen todos los parámetros deseados fuera de línea entonces se los pueden escribir en la RTU con un clic en el botón **Write to RTU** de la pantalla de configuración de parámetros. Luego de esto se puede salir de la configuración o guardar esta en un archivo (**Write to File**) si se desea utilizar la misma configuración para otras RTU. En este caso lo que se debe hacer es guardar la configuración en un archivo, salir de la pantalla de configuración de parámetros, direccionar a otra RTU, volver a ingresar a la pantalla de configuración de parámetros con un clic en **Parameters** con lo que automáticamente el programa pide la configuración de la nueva RTU, lo cual no interesa pues se desea copiar la configuración guardada en un archivo, acción que se hace con un clic en **Get From File**. Ahora solo restan cambiar dos parámetros, el primero es la dirección y el segundo es el **Data Dump Wakeup** para que las descargas de datos no coincidan en la misma hora. Luego de esto solo bastaría ejecutar **Write to RTU**, para que la RTU quede configurada.

Otra opción a revisarse es **Data Recording** (Ver Figura 3.5). Cuando se ingresa a esta función se obtiene la pantalla mostrada en la Figura 3.18.

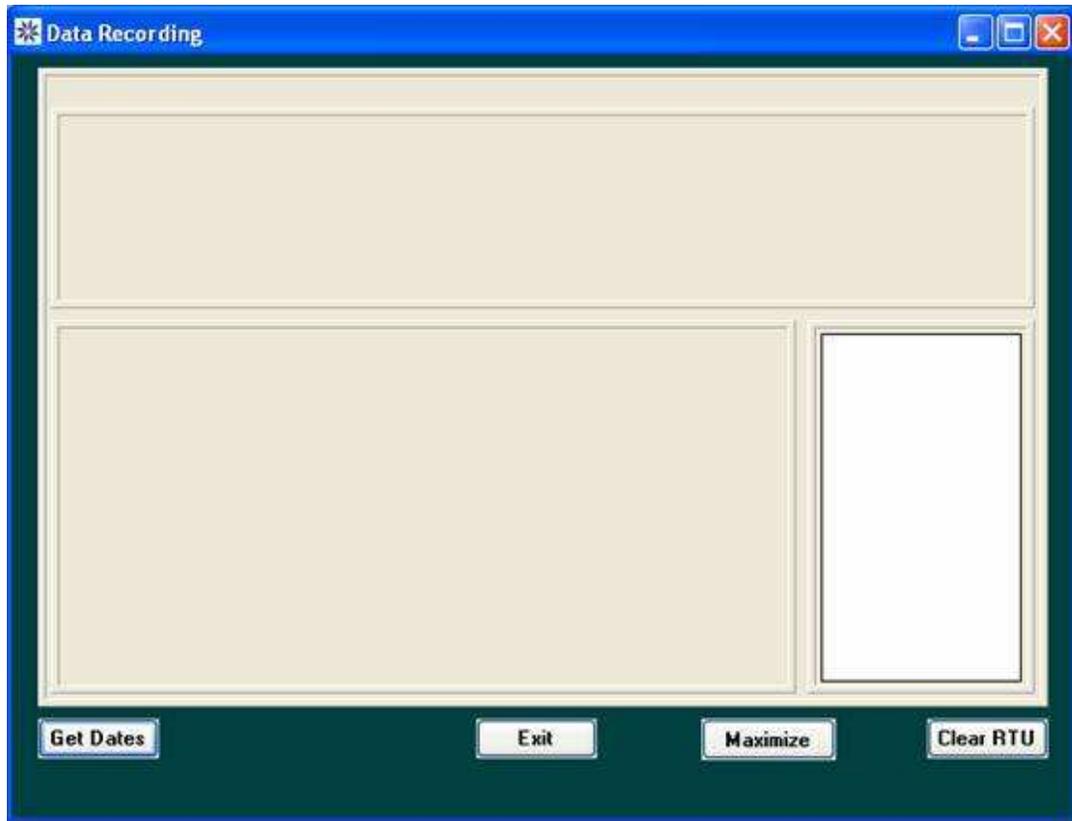


Figura 3.18. Ventana Data Recording.

Para obtener datos almacenados en la memoria de la RTU se da un clic en el botón Get Dates y la ventana anterior cambia a la siguiente.

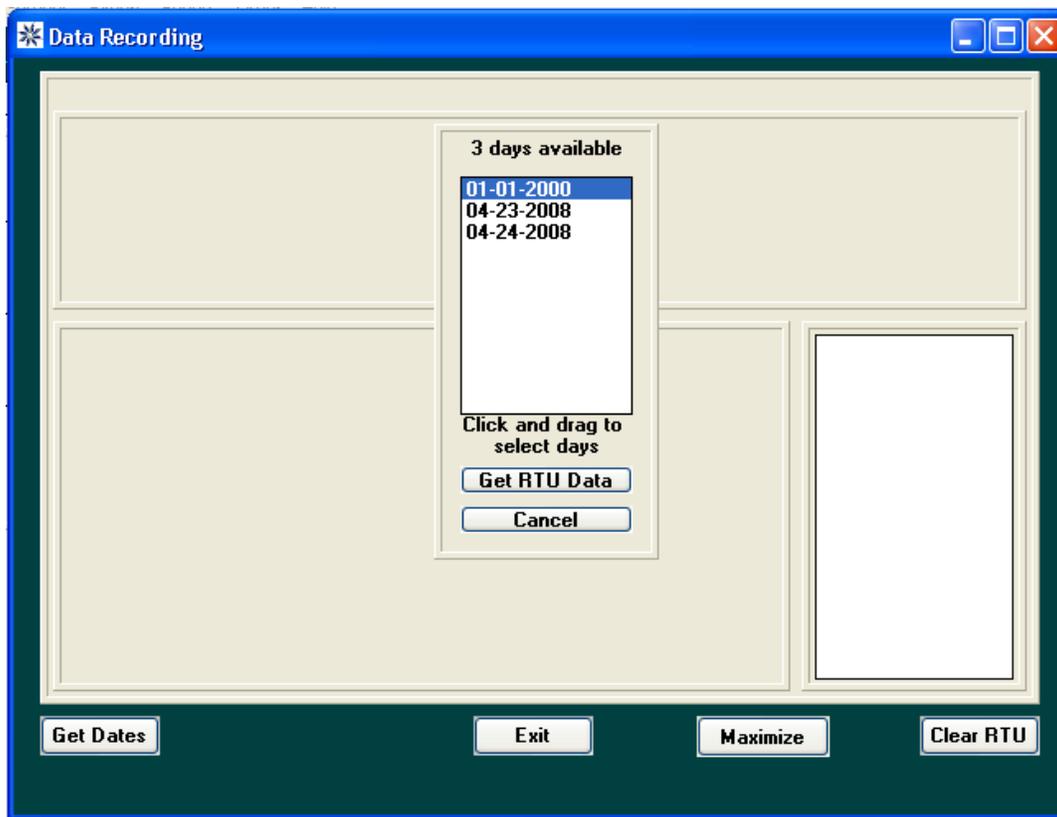


Figura 3.19. Ventana Data Recording en donde se observan los días de los cuales se tienen datos disponibles.

Para ver los datos de interés se coloca el puntero del mouse sobre cualquiera de los días marcándolo de azul y se presiona a continuación **Get RTU Data**. A continuación se muestra la pantalla de la Figura 3.20, en donde se pueden observar una tabla de datos y un gráfico con la variación de los datos obtenidos.

Una vez que los datos se muestran en la pantalla automáticamente generan un archivo en Access en el subdirectorio donde se instaló el T-Link. El nombre con el cual se guardan los archivos es aquel de la dirección de la RTU, por ejemplo 55031 (Ver la Figura 3.21). El formato de la gráfica puede ser modificado por el usuario.

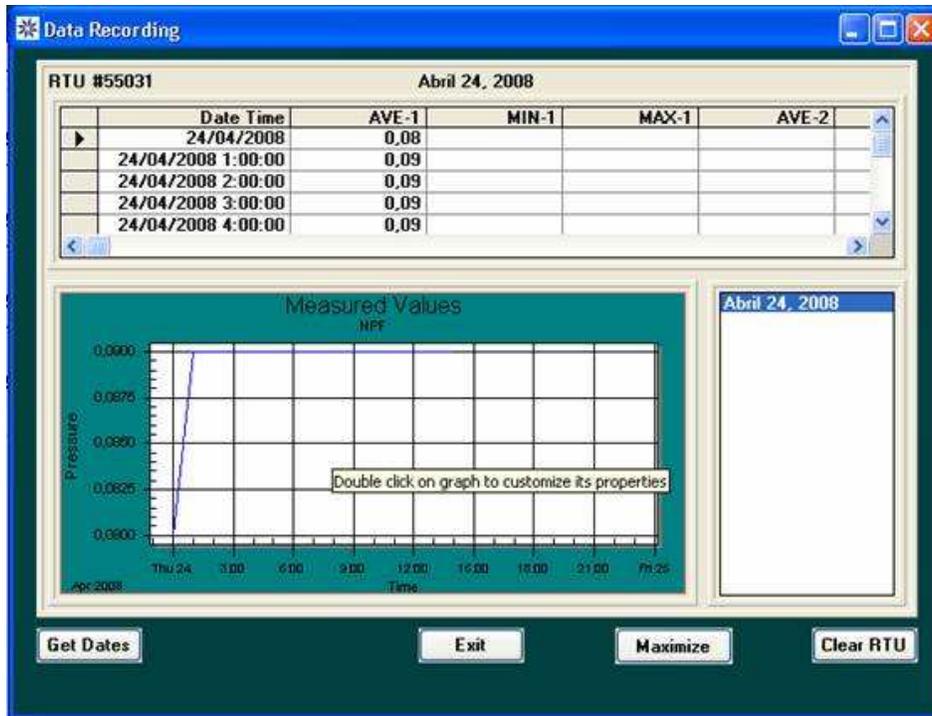


Figura 3.20. Ventana Data Recording donde se muestran los datos del día seleccionado y la gráfica correspondiente.

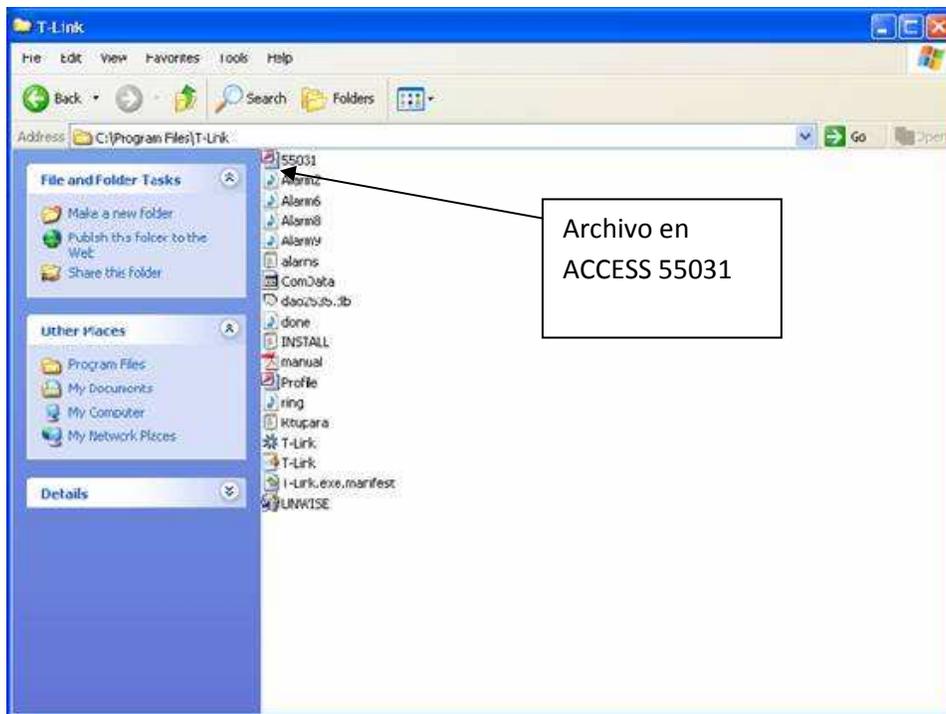


Figura 3.21. El archivo de Acces 55031 es el archivo correspondiente a los datos.

2.15.1. MENUS DESPLEGABLES DEL T-LINK

En la parte superior del programa se encuentran los menús típicos de un entorno de Windows.

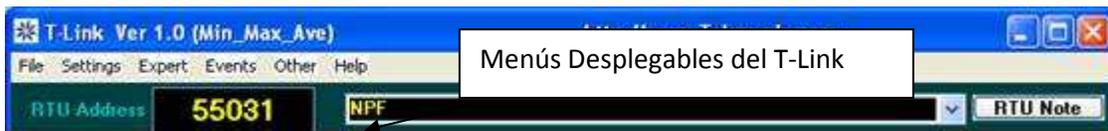


Figura 3.22. Menús desplegables del T-Link.

Menu File

En el menú File se encuentran los siguientes sub menús:

Save Settings que guarda cualquier cambio que se haya hecho en la configuración del perfil.

Save RTU Profile permite guardar las configuraciones que se hayan hecho en el T-Link como un nuevo perfil.

Delete RTU Profile sirve para eliminar el perfil que en ese momento esté activo en el programa.

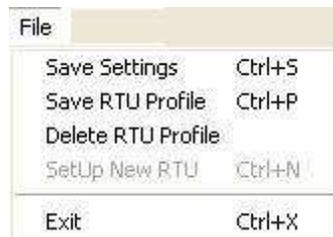


Figura 3.23. Menú File

3.2.2.1 Menu Settings

En este menú se encuentran los siguientes submenús:

Show Waiting Message que es el que habilita o deshabilita que se muestre un mensaje de espera mientras se esta esperando por una respuesta de la RTU.

Confirm Message cuando se han ejecutado cambios en el programa de la RTU y se los quiere descargar, aparece este tipo de mensajes.

Expert Mode, cuando se da un clic en este menú el programa pide un password que por defecto es la palabra **password**. Inmediatamente después de entrar al modo experto aparece otro menú en la parte superior de la pantalla **Menu Expert**.

Los siguientes parámetros **Modem Init String**, **Initialize Modem**, **Reset Modem**, **Modem Thru Local Port** son menús que no se utilizan ya que obedecen a configuraciones para módems celulares. **Audio Alerts**, habilita los avisos de audio.



Figura 3.24. Menú Settings

3.2.2.2 Menu Expert

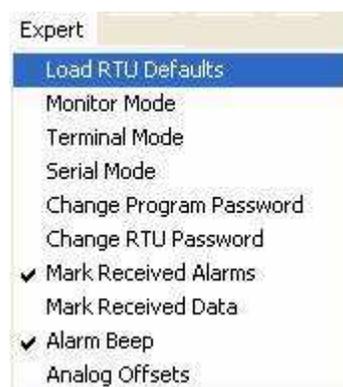


Figura 3.25. Menú Expert.

Se tienen opciones que requieren que la persona que sabe el password tenga conocimientos más profundos de cómo funciona el software.

Load RTU Defaults, carga la configuración de fábrica de la RTU que corresponde a la dirección 1 y todos los settings que tiene esa dirección.

Monitor Mode, esta opción despliega una pantalla que muestra los datos en el formato que utiliza el programa T-Link y los datos que recibe de la RTU en la misma forma.

Terminal Mode, este modo es parecido al anterior pero los datos son vistos en ASCII por el puerto serial.

Change Password, solo en el modo experto se puede cambiar el password para el acceso a este modo.

Change RTU Password, esta selección cambia el password de protección de la RTU. Para esto se debe tener conexión con la RTU vía Local o remota. Cuando se activa esta opción la RTU pide el password, si el password es incorrecto la RTU se desconectará.

Mark Received Alarms, marcando esta opción el Software transmite un mensaje de recibido a la RTU cuando este ha enviado un mensaje de alarma y la RTU deja de enviar la misma. Sino se “acusa recibo” la RTU sigue enviando la condición de alarma hasta que sea revisada.

Mark Received Data, esta opción funciona de la misma forma que la anterior pero con una descarga programada de datos.

Alarm Beep, habilita las alarmas de audio.

Analog Offsets, los RTU tienen un transductor de voltaje que tienen en su salida voltajes de 0-5V. Estos valores de voltaje a su vez representa valores de ingeniería, los cuales pueden requerir un ajuste de error de offset, a continuación se muestra la ventana de Analog Offsets en la Figura 3.26.

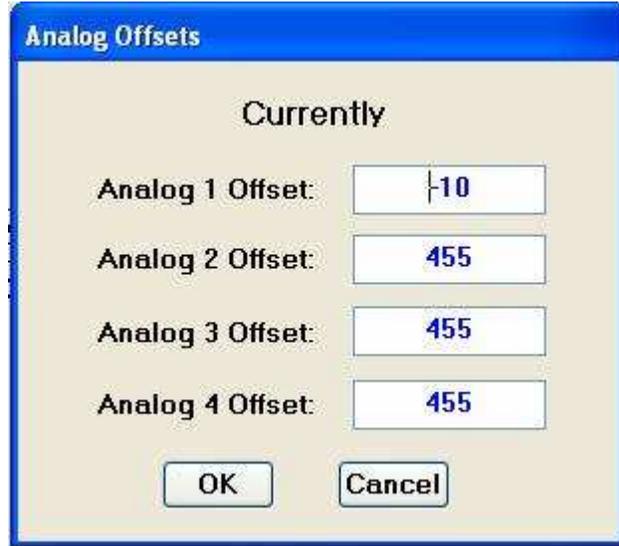


Figura 3.26. La ventana Analog Offsets permite cambiar el error de offset de cada canal.

3.2.2.3 Menu Events



Figura 3.27. Menú Events.

Este menú contiene opciones para la recuperación y el almacenamiento de datos con el propósito de exportarlos para otras utilidades.

View Alarms, esta opción permite visualizar el registro de alarmas en un archivo de texto ALARMS.TXT.

Alarm Reports, este submenú abre una ventana la cual genera un reporte con todas las alarmas presentadas en la RTU. Esta opción permite imprimir directamente estos reportes. En la Figura 3.28 se observa la ventana de “**Alarm Repots**”.

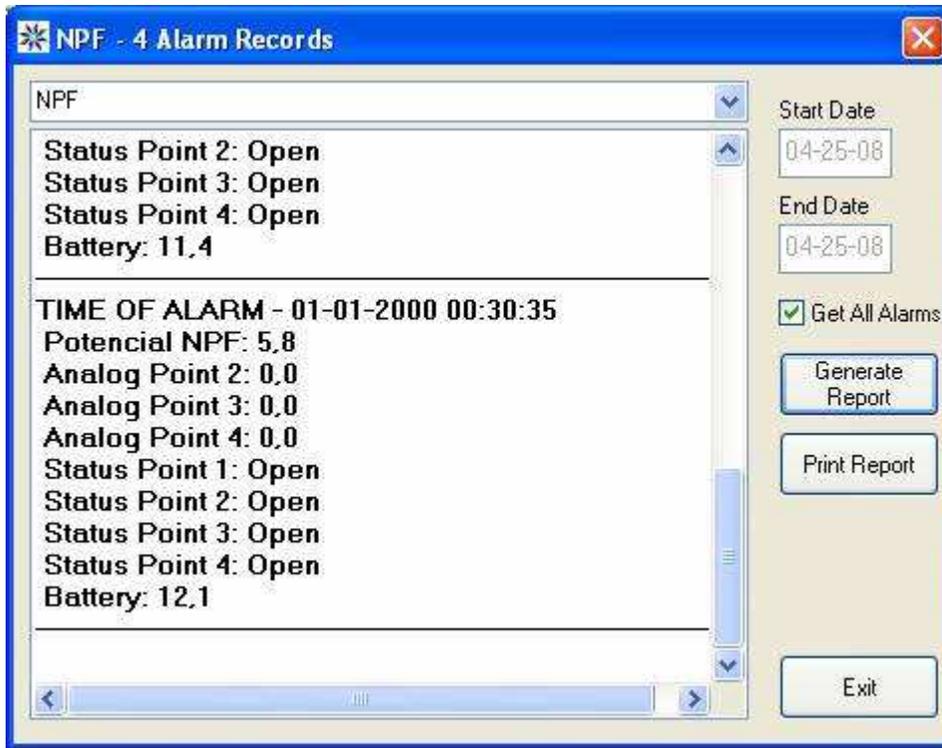


Figura 3.28. La ventana Alarm Reports muestra un reporte de alarmas generadas.

Enabled Alarm Logging, esta opción habilita o deshabilita la opción View Alarms. **Enabled Data Logging**, cuando esta opción esta habilitada los datos descargados crean un archivo de texto cuyo nombre es la dirección de la RTU y tiene extensión .DAT.

3.2.2.4 Menu Other



Figura 3.29. Menú Other.

Este menú contiene otras características que los demás menús no han cubierto.

RTU Information, con un clic en este submenú la RTU envía información tal como la versión del Firmware y el modelo de la RTU.

Retrieve All RTU Alarms, esta opción recupera todo el registro de alarmas y no solo los últimos veinte y cinco que se tiene acceso con las otras opciones.

3.2.2.5 Menu Help

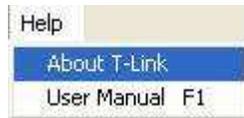


Figura 3.30. Menú Help.

About T-Link, muestra la información de la versión del Software. **User manual**, muestra el manual completo del programa en PDF.

Hasta aquí se ha explicado como se ha desarrollado el software de Telescada T-Link que permite la configuración y el monitoreo remoto de las RTU. Con la ayuda de este software se puede tener históricos de cómo ha variado el potencial de protección de las RTU existentes a lo largo del día, con solo direccionar a cualquiera de ellas. Para esto el personal de corrosión debe poder manipular el software instalado.

En el siguiente capítulo se procede a describir las pruebas que se realizaron para comprobar el funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se describen las pruebas realizadas al equipo para corroborar su correcto funcionamiento. También se muestran los resultados finales cuando el equipo fue monitoreado desde la oficina de Corrosión en el campamento sur de Repsol, a una distancia aproximada de cien kilómetros desde los puntos donde estaban montadas la RTU.

1.20. PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA

4.1.5 PRUEBAS CON ANTENA DB224 EN LA TORRE Y ANTENA ORIGINAL DE RTUs

Se realizaron pruebas de enlace entre las RTUs en la oficina de comunicaciones con sus antenas originales y el radio módem conectado a la nueva antena ubicado en la torre de NPF, y la salida serial al NPort. Este a su vez a un puerto libre del switch ubicado en la misma caseta de comunicaciones.

Desde el T-Link instalado en un computador de comunicaciones se realizaron las primeras pruebas a distancia entre RTUs y radio módem.

Partiendo de la oficina de comunicaciones hasta la torre donde está la antena DB224 colocada al radio módem hay aproximadamente un kilómetro. Se tuvieron resultados positivos con el enlace, los datos de la entrada analógica y el nivel de batería llegaron satisfactoriamente. Luego se hizo la misma prueba pero con señal en la entrada analógica, esta señal correspondía a una fuente regulada de DC. Se colocó en la entrada el nivel mínimo de voltaje de la fuente que es 5,9V, obteniendo nuevamente resultados positivos. A un kilómetro con línea de vista el enlace fue confiable en todo momento.

Se realizaron pruebas durante un día realizando peticiones de envío de datos una y otra vez. Durante estas pruebas el nivel de la batería bajo de 13.7 V a 12.6 V. La pérdida de la carga de la batería se debió principalmente a que las pruebas no se las realizó con la celda solar.

Pese a la baja en la carga de la batería los enlaces tuvieron un 100% de éxito.

La siguiente prueba fue verificar la distancia máxima en la cual se tenía enlace entre RTUs y Radio módems. Se inició con la distancia máxima que hay en la ruta NPF-

Tivacuno que es dentro del Well Pad Tivacuno A, aproximadamente a 12 kilómetros de distancia desde la torre, observándose lo siguiente.

1. Cuando se solicitan datos desde el software la señal de solicitud de dato no llega a los RTU, salvo en contadas ocasiones tras varios intentos.
2. Existe comunicación cuando desde los RTU se presiona el botón PB1 ubicado en la tarjeta electrónica, con lo que se determina que mejorando la ganancia del sistema se obtendrán los resultados esperados.
3. Se probó el enlace ubicando el RTU sobre el MCC de Tivacuno A obteniéndose los mismos resultados.

4.1.6 PRUEBAS CON ANTENA DB224 EN LA TORRE Y ANTENA DE LÁTIGO EN RTUs

Se comprobó la comunicación de las RTUs desde una camioneta a lo largo de toda la carretera que conduce a Tivacuno junto a cada poste de prueba existente de la protección catódica, es decir cada dos kilómetros.

Las pruebas se realizaron con el apoyo del personal de comunicaciones y sistemas de Repsol YPF. Desde la oficina de comunicaciones se enviaron solicitudes de envío de datos mediante el software T-Link en cada poste de prueba de la línea Tivacuno A - NPF. Las dos RTU fueron probadas al menos dos veces en cada punto.

Adicionalmente cerca al kilómetro 10, en sitios donde los árboles prácticamente cubrían la carretera. Se realizaron pruebas para verificar si en esas condiciones de distancia y densa vegetación existía comunicación entre las RTU y el radio Modem.

En total se hicieron pruebas desde NPF hasta Tivacuno en 10 puntos a lo largo de la carretera.

Los resultados de estas pruebas fueron positivos en todos los puntos, inclusive en los postes que se encuentran rodeados de abundante vegetación, y dentro del Well Pad Tivacuno A, el cual constituye la distancia máxima.

Con el cambio realizado en las antenas de las RTU y del radio módem receptor, se pudo obtener un enlace confiable en todo momento con las RTU, lo que facilitó el cambio de los parámetros de manera remota.

Desde el computador ubicado en el laboratorio de comunicaciones, se determinó que los rayos solares que llegan a la celda solar son suficientes para cargar a la batería de la RTU, la cual se descarga en unas varias décimas de voltio principalmente en las madrugadas, pero esta carga perdida se recupera en las primeras horas de la mañana.

Una vez alcanzada la estabilidad del sistema en cuanto a la configuración de parámetros, se procedieron a realizar pruebas en cuanto a la descarga de datos vía remota.

4.1.7 PRUEBAS DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS

Estas pruebas se las realizó por un período de cuatro días, una vez que los equipos fueron instalados en los puntos de prueba.

Las pruebas se las realizó sin el potencial de protección ya que se debía esperar la coordinación con el personal de Corrosión para la instalación de las celdas de referencia permanentes.

El objetivo de estas pruebas era probar al equipo en condiciones reales de trabajo, a lo largo del día se realizaron varias pruebas de solicitud de datos a cada una de las RTU.

En la Figura 4.1 se muestran los datos de la RTU 55031 sin el potencial de protección. La RTU 55031 es la que se encuentra instalada junto al poste 1+015 cerca de la estación Paraíso. La RTU está ubicada en una variante del tramo de la tubería, pero cerca de la torre en donde esta ubicada la antena. Por la cercanía y por el hecho de que la RTU transmite a 5W el enlace en este poste no era crítico. Se debe recordar lo indicado en el Capítulo 3 que para obtener esta ventana, en la pantalla principal del T-Link bajo el botón **Parameters** se encuentra el **Data Recording**. En la ventana siguiente, en el botón **Get Dates**, se solicita a la RTU los datos almacenados en su memoria, este a su vez envía una lista de los días en los cuales tiene datos disponibles. Se selecciona un día, se presiona nuevamente el botón **Get Dates** y se obtiene una ventana similar a la mostrada en la Figura 4.1 la cual es otra ventana del T-Link. Si se sale de esta ventana, para volver a observarla se requiere otra vez establecer comunicación con la RTU.

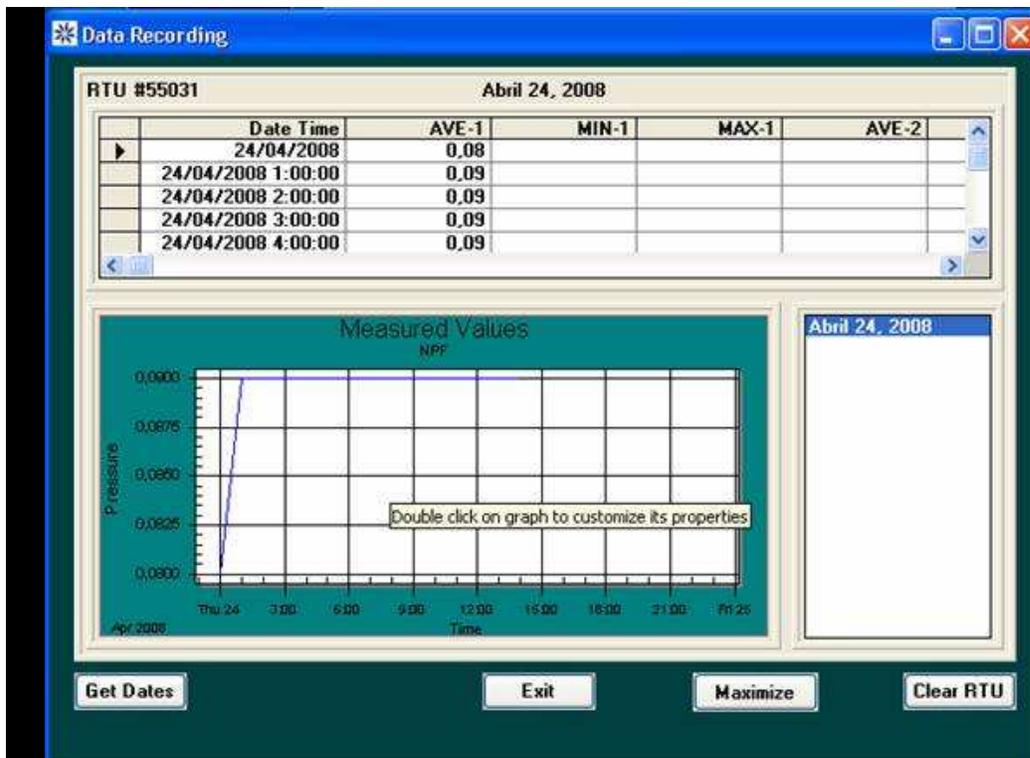


Figura 4.1. Pantalla del RTU 55031 sin potencial de prueba correspondiente al 24 de abril.

4.1.8 PRUEBAS DE ENVÍO Y RECEPCIÓN CON LA SEÑAL DE LA CELDA DE REFERENCIA.

Luego de tener resultados positivos con las señales de los dos postes de prueba sin la señal del potencial de protección se procedió a la conexión de la señal de la celda de referencia y a realizar las pruebas en un computador del departamento de corrosión en el SPF ubicado aproximadamente a unos 100 Km del sitio en donde estaban instalados los postes.

En la Figura 4.2 se muestra la ventana de la RTU 55030 ubicada justo al poste Km 11+080 de Tivacuno con los datos del potencial de protección y de la carga de batería.

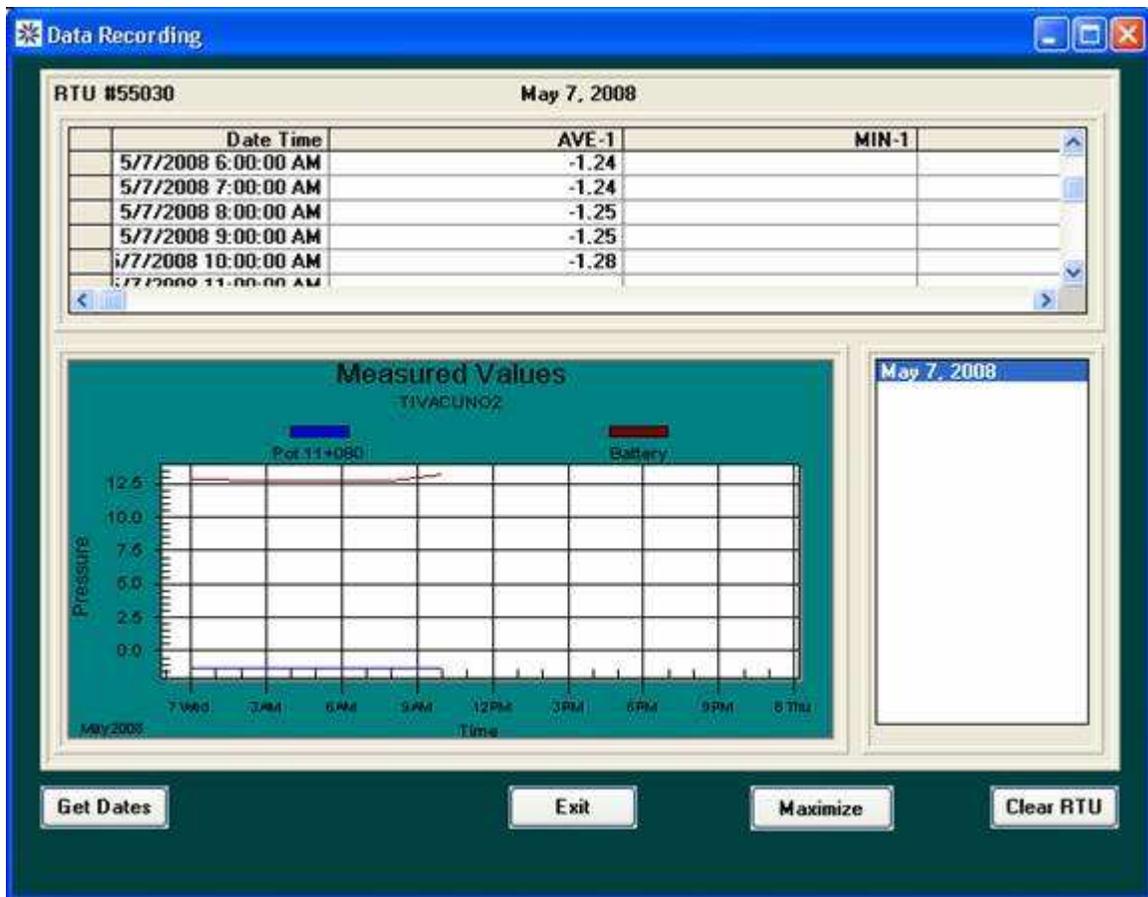


Figura 4.2. Prueba correspondiente al 7 de mayo.

Los datos de la columna AVE-1 corresponden a los datos del potencial de protección, en rojo se muestra el nivel de carga de la batería, y en azul el valor del potencial de protección.

En la Figura 4.3 se muestran los datos de la carga de la batería. Estos datos se encuentran en la misma ventana, pero al final en la parte derecha.

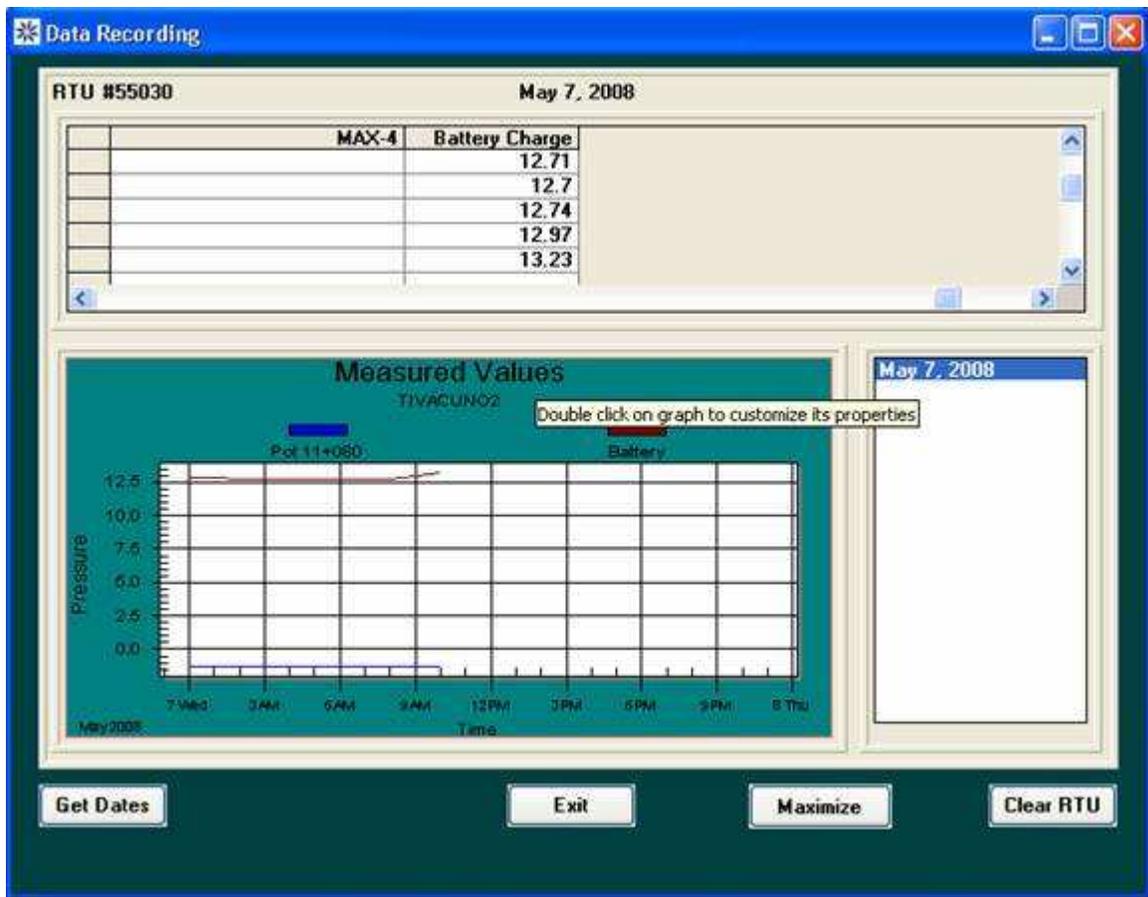


Figura 4.3. En toda la columna Battery Charge se muestra como ha ido variando el nivel de carga de la batería.

Nótese que la carga de la batería es decreciente hasta las 6 AM, hora en que aparecen los primeros rayos solares y empieza a cargarse nuevamente a través de la celda solar.

Cuando en el programa T-Link se visualizan los datos, automáticamente se genera un archivo en Access en la siguiente dirección **C:\Program Files\T-Link\55030**. Este archivo sirve para tener un registro de históricos, y presenta todas las facilidades en el manejo de datos de Acces. El archivo de Acces se muestra como en la Figura 4.4.

Date Time	AVE-1	MIN-1	MAX-1	AVE-2	MIN-2	MAX-2	AVE-3
05/05/2008	1.14						
5/2008 1:00:00	1.14						
5/2008 2:00:00	1.14						
5/2008 3:00:00	1.14						
5/2008 4:00:00	1.14						
5/2008 5:00:00	1.14						
5/2008 6:00:00	1.14						
5/2008 7:00:00	1.14						
5/2008 8:00:00	1.14						
5/2008 9:00:00	1.13						
5/2008 10:00:00	1.12						
5/2008 11:00:00	1.12						
5/2008 12:00:00	1.12						
5/2008 13:00:00	1.12						
5/2008 14:00:00	1.12						
5/2008 15:00:00	1.11						
5/2008 16:00:00	-0.84						
5/2008 17:00:00	-1.21						
5/2008 18:00:00	-1.24						
5/2008 19:00:00	-1.24						
5/2008 20:00:00	-1.24						
5/2008 21:00:00	-1.23						
5/2008 22:00:00	-1.23						
5/2008 23:00:00	-1.23						
*							

Figura 4.4. Archivo en Acces generado cuando se descargan los datos.

Vale la pena profundizar en el contenido en esta ventana ya que muestra la utilidad del RTU y del proyecto en si.

Los valores corresponden al 5 de mayo de 2008, día en el cual con el técnico del departamento de corrosión se realizaron mediciones del potencial ON-OFF. Note que las mediciones hasta las 15:00 dan un dato positivo. Es justo en esa hora que se realizó el cambio en la polaridad de los terminales que van al RTU, ya que el dato que se espera visualizar es negativo. Después se arrancó con una prueba en donde se apagó al rectificador de Tivacuno, es ahí donde a las 16:00 se muestra un Potencial reducido en el punto ya que solo el rectificador de NPF estaba en funcionamiento. Después se normalizó

el rectificador de Tivacuno, y desde esa hora se tienen ya los valores normales del potencial de protección.

Esta es la utilidad del programa, ya que permite al departamento de corrosión tener un histórico de los sucesos referentes a la línea en la cual se desarrolló el proyecto.

En el caso de que por algún motivo se apague el rectificador, se corte el cable que va hacia la cama de ánodos, o hacia la tubería, el departamento puede darse cuenta de que algo sucedió al momento de analizar los datos descargados desde el RTU.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo y luego de los resultados obtenidos se puede extraer las conclusiones siguientes:

5.1 CONCLUSIONES

- 5.1.1** Durante todas las fases de este proyecto se tuvieron que sortear varios obstáculos, el primero de ellos fue la procura de los equipos necesarios, ya que estos debían cumplir con todas las especificaciones técnicas que garanticen el éxito del proyecto. Es así, como en la búsqueda de dispositivos se analizaron un sin número de ofertas las cuales, describía equipos que enviaban los datos por radio frecuencia, lo hacían en la banda de los 900 MHz. Estos dispositivos garantizan una distancia, entre el transmisor y el receptor, de un kilómetro con línea de vista, por lo que la amplia gama de productos con estas características tuvo que ser desechada puesto que las distancias que en principio se esperaban cubrir estaban alrededor de los cinco kilómetros. También se descartó tener línea de vista entre el transmisor y el receptor, puesto que los RTU debían estar ubicados en el derecho de vía, donde los árboles superan los treinta metros de altura. De esto se concluyó que la mejor opción eran las RTU que enviaban los datos por radiofrecuencia en la banda de VHF.
- 5.1.2** Con las modificaciones hechas al sistema se logró superar el alcance del proyecto ya que se esperaba tener un alcance de cinco kilómetros; es decir, se pretendía tener los datos de un poste situado en la mitad del tramo NPF – Tivacuno. En lugar de esto se logró tener comunicación a lo largo de los casi 14 Kilómetros que tiene el tramo en mención. Por lo tanto se puede concluir que la inclusión de un convertidor RS-232 a Ethernet es tuvo resultado.
- 5.1.3** Debido a que las RTU envían los datos por radio frecuencia, no se debe realizar ninguna otra inversión en el sistema salvo la compra de nuevos equipos. Por lo mismo se puede concluir que equipos con transmisión de datos vía celular o satelital, no serán necesarios además que requieren de un costo mensual por el envío de datos.

- 5.1.4** De las pruebas realizadas se puede concluir que el éxito en el envío de datos desde las RTU depende de la potencia de los equipos, la frecuencia en la que trabajan y la antena a utilizarse.
- 5.1.5** Así mismo, de los resultados de las pruebas se puede concluir que con el uso del N-Port es posible tener los datos de la protección catódica en toda la red de Repsol YPF. La red de datos de Repsol comprende Ecuador, España y Argentina.
- 5.1.6** También, del resultado de las pruebas se pudo concluir que el transductor de voltaje de la RTU debe ser de +2V a -2V para tener una precisión más alta en el dato del Potencial de Protección.
- 5.1.7** Se pudo comprobar que con los datos de la Protección Catódica en formato de Acces es posible tener un manejo de los mismos para generar históricos, tendencias, etc.
- 5.1.8** Las RTU funcionan en condiciones de lluvia, sol, cielo nublado, etc. De esto se puede concluir que el sistema será confiable en todo momento.
- 5.1.9** La antena ubicada en la torre del NPF, como se había explicado, está configurada con sus dipolos de manera omni-direccional. Debido a que el tramo probado es el más crítico, pues el Well Pad Tivacuno A es el más distante de los otros tres Well Pads existentes en el Norte, los cuales son: Tivacuno C, que se encuentra de camino hacia Tivacuno A, Bogy y Capiron que se encuentran a unos ocho kilómetros en dirección sur, de ampliarse el proyecto, por lo menos en el norte no sería necesario colocar otra antena en la torre, ni otro módem, solo adquirir las RTUs que sean necesarias.
- 5.1.10** De las pruebas realizadas se puede concluir que el intervalo correcto para que la RTU tome el dato y lo guarde es sesenta minutos, para preservar la carga de la batería, sobre todo en puntos, como el poste 1+015, donde los rayos solares se ven obstaculizados por los árboles, debido a que este punto se encuentra en una variante.
- 5.1.11** Con la ayuda del N-Port los datos de las RTUs se pueden obtener a través de la red en cualquier computador que tenga el programa T-Link, pero que además tenga el programa del N-Port. Estos son los dos requisitos básicos para monitorear los datos desde cualquier PC.
- 5.1.12** Las pruebas demostraron que el trabajo realizado cumple con la totalidad de los objetivos.

5.2 RECOMENDACIONES

De la experiencia acumulada en el desarrollo de este proyecto se puede extraer las recomendaciones siguientes:

- 5.2.1** Si Repsol YPF decide ampliar el proyecto con otros dispositivos que no sean del fabricante Telescada, estos deben enviar los datos en la banda de VHF o mejor aún, HF, ya que a estas frecuencias las ondas viajan mejor y a mayores distancias, se recomienda también que la potencia sea de al menos cinco vatios.
- 5.2.2** Si bien con la antena ubicada en la Torre del NPF se logró aumentar la ganancia, esta ganancia no era suficiente para tener un enlace confiable entre Tivacuno y NPF. Por lo mismo se recomienda colocar una antena con mayor ganancia en las RTU.
- 5.2.3** En el Bloque 16 habitan comunidades Huaoranis. Por esta razón las RTU deben estar ubicadas a una altura fuera del alcance de estos habitantes. Esta recomendación también beneficiará al enlace de radio.
- 5.2.4** Los radios Midlan ubicados en las RTUs, por pedido de Repsol YPF, vinieron programados con las frecuencias del canal general. Cuando existe comunicación, ya sea por solicitud de datos desde el PC, o por un envío de datos desde la RTU, se genera una interferencia que se puede escuchar en los radios motorola que utilizan el canal general. De igual manera, si se amplía el proyecto a más postes, se debe gestionar la asignación de otra frecuencia y pedir que los radios Midlan vengán programados a esta nueva frecuencia. Para cambiar la programación de los radios existentes (dos radios de los RTU y uno del radio módem) se puede adquirir el software de programación de Midlan.
- 5.2.5** Las RTUs poseen entradas analógicas libres por lo que se recomienda sean utilizadas por otros instrumentos, o para monitorear el Potencial de Protección de otras líneas. En el tramo en que fueron probadas las RTUs pasan por ejemplo dos líneas, una línea de crudo y otra de agua.
- 5.2.6** Si se desea realizar mediciones del potencial de protección por ejemplo en tanques ubicados en las facilidades de producción (NPF, SPF), donde existe fuentes de energía, y puntos cercanos para comunicación, se recomienda conseguir equipos que funcionan con 110V y que envían los datos por RS 485, los cuales al no necesitar de batería son de menor tamaño.

- 5.2.7** En ciertas zonas por las que el oleoducto se dirige a Lago Agrio, existe cobertura celular. En estas zonas es recomendable utilizar esta tecnología, ya que las RTUs son considerablemente de menor tamaño y poseen baterías de Litio que pueden llegar a durar siete años.
- 5.2.8** El sistema de transmisión de datos por VHF puede ser utilizado en aplicaciones como CUSTODIA Y TRANSFERENCIA DE CRUDO, que también se la realiza en lugares remotos. Simplemente se recomienda utilizar un banco de baterías que permita la transmisión continua de datos.
- 5.2.9** De ampliarse el proyecto se recomienda usar otro programa de visualización. El T-Link brinda esta ayuda pero también muestra mucha información que no se necesita.
- 5.2.10** Se recomienda que se busquen proyectos reales en la industria, para que los estudiantes puedan realizarlos. La experiencia práctica que se adquiere es invaluable.

5.3 BIBLIOGRAFÍA.

- Atkinson J.T.N. y H. VanDroffelaar, Corrosion and its Control. An introduction to the Subject, NACE, Houston, 1982.
- Bockris J.O'M., N. Bonciocat y F. Gutmann, An Introduction to Electrochemical Science, Wykeham Pub., Londres, 1974.
- González José A. (comp.), Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión, CSIC, Madrid, 1984.
- Van Delinder L.S., (comp.), Corrosion Basics, An Introduction, NACE, Houston, 1984.
- Shreir L.L., Corrosion, vol. II, Newnes-Butterworth, Londres, 1976.
- Von Beckmann W. y Sohwenk, Handbook of Cathodic Protection, Portcullis Press, Redhill Surrey, 1975.
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>
- <http://www.movilcomsa.com/webpages/productos.html>
- http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q3_corrosion.php
- <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones>
- Hidalgo L P. Transmisión de Datos, Escuela Politécnica Nacional, Quito
- 2008.
- <http://www.textoscientificos.com/fisica/ondas>
- <http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html>
- <http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml>
- <http://www.telescada.com/main.htm>
- <http://www.wiprocat.com/>

ANEXOS

ACTA CIERRE	COD.: RO ISUP_12_B16_19		
	Rev: 1	VIGENTE DESDE: MAYO 15, 2008	PÁGINA 1 DE 2
	Elaboró: ADM. SIGIN	Revisó: JEFE ISUP	Aprobó: Gerente ISUP

1. Antecedentes

1.1 Datos Generales del Proyecto

- 1.1.1 Nombre del proyecto: Instalación de equipos de monitoreo remoto de los potenciales de protección catódica en el primero y último poste de las líneas NPF - Tivacuno
- 1.1.2 Instalación/Yacimiento: NPF
- 1.1.3 Cliente: Fernando Eguiguren
- 1.1.4 Número interno del SIGIN: ECUA08031
- 1.1.5 Monto estimado: 0

2. Justificación del Proyecto

2.1 Descripción del Proyecto

Integrar los datos de los potenciales de protección catódica de los postes de prueba que se encuentran instalados en el derecho de vía, al sistema seada para tener la posibilidad de un monitoreo continuo y en tiempo real.

2.2 Memoria descriptiva del Desarrollo del Proyecto

Para la ejecución del proyecto, se contó con la participación del Sr. Santiago Imbat, quien lo desarrolló como tema de tesis, previo la obtención de su título de ingeniero.

De acuerdo a la ingeniería aprobada, se procedió de la siguiente manera:

- Instalación de dos celdas de referencia en el primer y último poste de prueba de la línea entre NPF y Tivacuno, para la medición de potenciales de protección catódica.
- Instalación de los equipos de monitoreo remoto en el primer y último postes del sistema de protección catódica de las líneas NPF – Tivacuno.
- Instalación de equipos receptores de la señal.
- Configuración de señales en la intranet.
- Puesta en marcha del sistema.
- Pruebas y evaluación.

2.3 Conclusiones del Proyecto

El proyecto, fue ejecutado, de acuerdo a la ingeniería desarrollada por el tesista y aprobado por ISUP. Los resultados, fueron satisfactorios y cumplieron con las expectativas del proyecto

2.3 Recomendaciones del Proyecto

Realizar un estudio de prefactibilidad técnico – económico, para su implementación en las líneas del bloque 16.

3. Entrega al cliente

3.1 Presentación Proyecto

- 3.1.1 Fecha: 13-05-2008
- 3.1.2 Participantes: Fernando Eguiguren, Byron Sánchez.
- 3.1.3 Lugar: Quito, SPF
- 3.1.4 Es necesaria una nueva presentación ? (S/N): N
- 2.4.2 Fecha: N/A

3.2 Observaciones (Descripción de pendientes y/o comentarios por parte del cliente)

ACTA CIERRE	COD.: RO_ISUP_12_B16_19		
	Rev: 1	VIGENTE DESDE: OCT 10, 2007	PÁGINA 2 DE 2
	Elaboró: ADM, SIGN	Revisó: Jeje Ingeniería ISUP	Aprobó: Gerente ISUP

No existen actividades pendientes en la ejecución del proyecto.

3.4 Registros de aprobación

Cliente: Fernando Eguiguren

Firma:

Fecha: 13-05-2008

Ing. Proyectos: Byron Sánchez

Firma:

Fecha: 13-05-2008

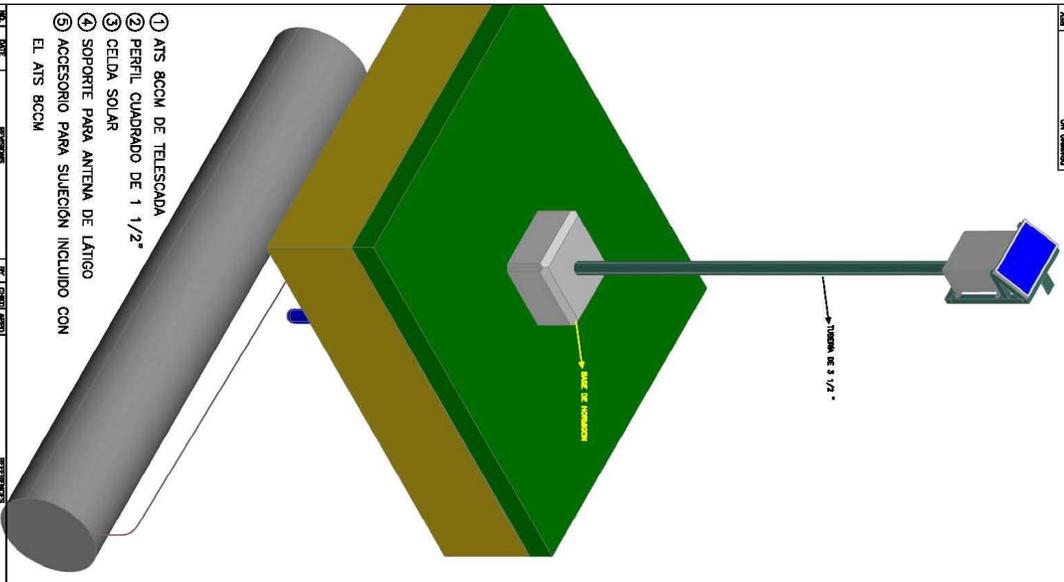
Jefe Proyectos: William Caldero

Firma:

Fecha: mayo 14/08

ANEXO 1:

DETALLES DE MONTAJE DE SOPORTE DE RTUs



- ① ATS 80CM DE TELESCADA
 - ② PERFIL CUADRADO DE 1 1/2"
 - ③ CELDA SOLAR
 - ④ SOPORTE PARA ANTENA DE LATIGO
- ACCESORIO PARA SUECION INCLUIDO CON EL ATS BCCM

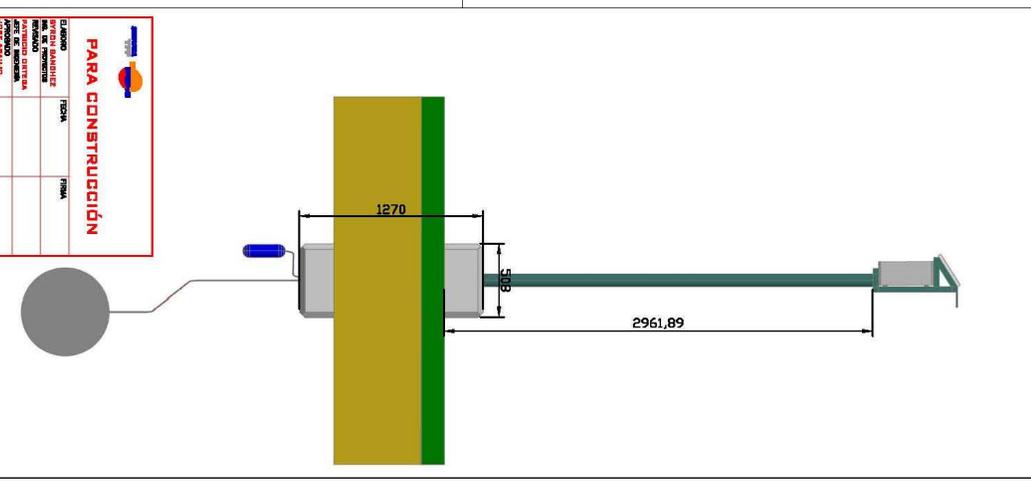
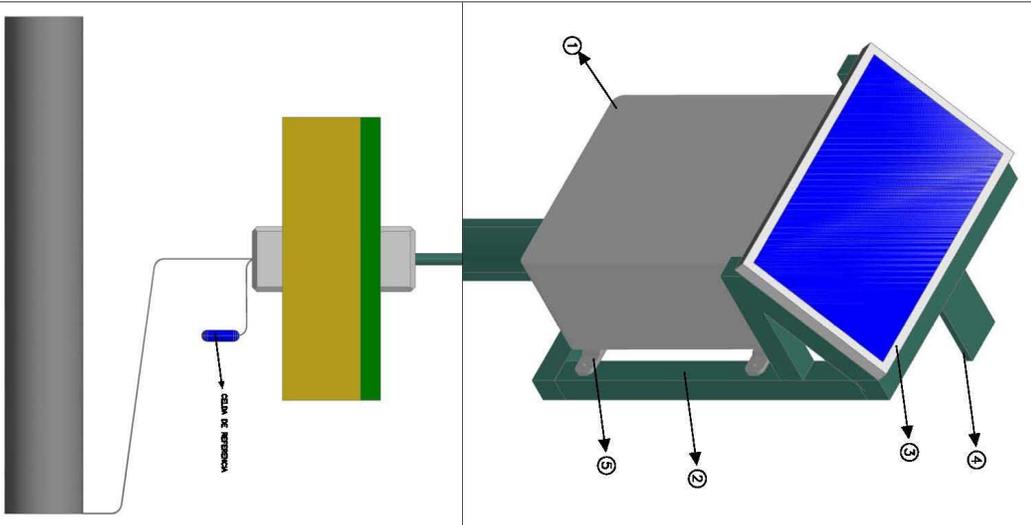
NO.	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	ATS 80CM DE TELESCADA	UN	1		
2	PERFIL CUADRADO DE 1 1/2"	M	1		
3	CELDA SOLAR	UN	1		
4	SOPORTE PARA ANTENA DE LATIGO	UN	1		

NO.	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PERFIL CUADRADO DE 1 1/2"	M	1		
2	CELDA SOLAR	UN	1		

REPSOL - YPE ECUADOR S.A.
 BLOQUE 16 DEVELOPMENT
 PROYECTO DE TITULACION
 MONITOREO DE PROTECCION CATODICA
 DETALLE DE MONTAJE DE SOPORTE PARA RTUS

PROYECTO NO. 314-D794-001

FECHA: ABRIL/2015



PARA CONSTRUCCION

REPSOL - YPE ECUADOR S.A.

PROYECTO DE TITULACION

MONITOREO DE PROTECCION CATODICA

DETALLE DE MONTAJE DE SOPORTE PARA RTUS

ANEXO 2:

**DIMENSIONES DE SOPORTE PARA UNIDADES
REMOTAS.**

ANEXO 3:

ARQUITECTURA DE CONTROL

