

RAE

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO

2. TÍTULO: DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA SOPESA SA ESP.

3. AUTOR (ES): ALEJANDRO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

4. LUGAR: Bogotá, DC.

5. FECHA: Octubre 2014

6. PALABRAS CLAVES: Microcontrolador, Microelectrónica, MODBUS, monitoreo, Interfaz RS232/RS485, Red de Telecomunicación, Tanque de almacenamiento vertical atmosférico.

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO. Una necesidad presentada por la empresa electrificadora de San Andrés y Providencia Isla, SOPESA SA ESP, es la base de este trabajo en el cuál se hizo el estudio para diseñar el prototipo de un sistema electrónico que sea capaz de leer el nivel de combustible almacenado en varios tanques de almacenamiento vertical atmosféricos, diseñar una red de comunicación utilizando el protocolo MODBUS (sugerido por la empresa) y monitorearlos de manera remota. En este caso la lectura se hará en la isla de Providencia y su monitoreo constante se visualizará en San Andrés donde se encuentra la planta central y se coordinan la mayoría de los procesos

8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Línea de investigación de la Universidad de San Buenaventura: Tecnologías actuales; Sublínea de investigación: Análisis y proceso de señales; Núcleo de investigación: Microelectrónica y automatización.

9. METODOLOGÍA: empírico-analítico, buscando ampliar nuestra base cognitiva al respecto, para luego decidir los parámetros para el diseño final; un diseño aplicable y definitivo.

10. CONCLUSIONES: El proyecto DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA SOPESA SA ESP, operó en un área de más de 300m utilizando los módulos de transmisión XbeeProS2 que superan en alcance

este límite. El sensor que se utilizó para el prototipo envía al microcontrolador el dato de la medida de un líquido y es visto en el Display que contiene el módulo esclavo. Los datos enviados por parte del Maestro para inicio de la lectura se vieron reflejados inmediatamente en la interfaz gráfica llegando a la conclusión que el módulo esclavo recibió la orden correctamente para inicio de lectura utilizando el protocolo de comunicaciones MODBUS

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE
COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA
SOPESA SA ESP.**

ALEJANDRO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C
2014**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE
COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA
SOPESA SA ESP.**

ALEJANDRO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**Proyecto de Grado para optar al Título de
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C**

2014

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por haber culminado este proceso en mi vida. A mis padres, mis hermanos y mi compañera quienes siempre estuvieron presente con su apoyo durante toda la carrera. Y a cada docente que por su paciencia, esfuerzo y conocimiento cumplieron su labor, como quien pone gran empeño y dedicación por lo que les gusta hacer. A todos y cada una de las personas que hicieron parte en la realización este sueño.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	- 1 -
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 2 -
1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)	- 2 -
1.1.1. Diseño y construcción de un controlador de cargas por interfaz serial bajo el protocolo de comunicaciones MODBUS.....	- 2 -
1.1.2. Diseño de una estación de monitoreo de procesos. Aplicación a una columna de destilación.....	- 2 -
1.1.3. Estudio de mediciones en tanques de almacenamiento de hidrocarburos	- 2 -
1.1.4. Estudio para calibración de tanques de almacenamiento.	- 3 -
1.1.5. Sistema de supervisión para los tanques de almacenamiento del terminal el beaterio de petrocomercial.....	- 4 -
1.1.6. Implementación de una red MODBUS/TCP.	- 4 -
1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	- 5 -
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	- 6 -
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	- 7 -
1.4.1. Objetivo General.	- 7 -
1.4.2. Objetivos específicos.	- 7 -
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	- 7 -
2. MARCO DE REFERENCIA.....	- 9 -
2.1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL.....	- 9 -
2.1.1. Tipos de medidores de nivel.....	- 9 -
2.1.1.1. Indicador magnético a paletitas.	- 9 -
2.1.1.2. Indicador de nivel flotante con contrapeso.....	- 10 -
2.1.1.3. Cinta o varilla milimétrica y tabla aforo (figura 3).	- 10 -
2.1.1.4. Medidor de nivel tipo RADAR para líquidos en tanques.	- 11 -
2.1.2. Protocolo de comunicación MODBUS.....	- 11 -
2.1.2.1. Descripción general.....	- 12 -

2.1.2.2.	Campos de las tramas MODBUS.	- 12 -
2.1.2.3.	Descripción de los campos de las tramas MODBUS.....	- 13 -
2.2.	MARCO LEGAL O NORMATIVO.....	- 19 -
3.	METODOLOGÍA.....	- 20 -
3.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 20 -
3.2.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	- 20 -
3.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	- 20 -
3.4.	VARIABLES.....	- 21 -
3.4.1.	Variables independientes.....	- 21 -
3.4.2.	Variables dependientes.....	- 21 -
4.	DESARROLLO INGENIERÍL.....	- 22 -
4.1.	ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	- 23 -
4.1.1.	Selección del tipo de sensor.....	- 24 -
4.1.2.	Funcionamiento del sensor	- 27 -
4.1.3.	Sensor a usar para el prototipo	- 30 -
4.1.3.1.	Funcionamiento del sensor.....	- 31 -
4.1.3.2.	Especificaciones técnicas.....	- 32 -
4.1.3.3.	Protocolo de comunicación.....	- 33 -
4.1.5.	Ecuación para cálculo en galones respecto a distancia medida. ..	- 35 -
4.2.	DESARROLLO DE LA ETAPA DE TRANSMISIÓN.....	- 39 -
4.3.	ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN (<i>Figura 24</i>).....	- 49 -
4.4.	FASE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	- 55 -
4.5.	PRUEBAS DE VERIFICACION Y VALIDACION DEL SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL DE COMBUSTIBLE Y TRANSMISION.....	- 65 -
CONCLUSIONES		- 72 -
GLOSARIO		- 76 -
ANEXOS		- 78 -
ANEXO A. Tabla aforo para lectura de nivel de combustible de la empresa SOPESA SA ESP.		- 79 -

ANEXO B. Tabla código ASCII	- 80 -
ANEXO C. Acople del Xbee con el pic18f4550 (módulo maestro).....	- 83 -
ANEXO D. Acople del Xbee con el pic18f4550 (módulo Base esclavo).	- 84 -
ANEXO E. Esquemático de módulo display esclavo.	- 85 -
ANEXO F. Esquemático De fuente de alimentación con intercambio a celda fotovoltaica.....	- 86 -
ANEXO G .Código C de lectura de nivel del sensor ping))) PARALLAX.	- 87 -
ANEXO H. Especificaciones del Relé de dos polos 5v	- 88 -

FIGURAS

Figura 1: Indicador de nivel de paletas.	- 9 -
Figura 2: Indicador de nivel flotante.	- 10 -
Figura 3: Cinta o varilla milimétrica y tabla aforo	- 11 -
Figura 4: Sensor de nivel tipo Radar.....	- 11 -
Figura 5: Trama MODBUS.....	- 14 -
Figura 6: Planteamiento de la solución del proyecto.....	- 23 -
Figura 7: Método en un barrido de radar con cambios de frecuencia continuos-	27 -
Figura 8: Diagrama de bloques del funcionamiento del sensor de nivel	- 29 -
Figura 9: Instalación del sensor.	- 30 -
Figura 10: Diámetro del haz y ángulo del haz de las antena	- 30 -
Figura 11: Sensor ultrasónico (ping))) parallax.	- 31 -
Figura 12: Funcionamiento del sensor (ping))).....	- 31 -
Figura 13: Configuración de pines.	- 32 -
Figura 14: Proceso de comunicación del sensor con el microcontrolador	- 33 -
Figura 15: Proceso de recolección de datos.	- 36 -
Figura 16: Procesamiento de la señal por parte del microcontrolador	- 36 -
Figura 17: Microcontrolador PIC 18f4550 SMD.	- 39 -
Figura 18: Diagrama de flujo procesamiento de datos del sensor por el microcontrolador PIC.....	- 40 -
Figura 19: Etapa de transmisión.	- 41 -
Figura 20. Representación del XBee Pro.....	- 44 -
Figura 21: Conexiones del módulo Xbee.	- 44 -
Figura 22: Configuración del XBee	- 46 -
Figura 23: Configuración de los parámetros del XBEE.....	- 47 -
Figura 24: Distancia promedio para la transmisión de los datos.....	- 48 -
Figura 25: Bloque de Almacenamiento y visualización.	- 50 -
Figura 26: Selección de puerto.	- 51 -
Figura 27: Confirmación de lectura.	- 51 -
Figura 28: Visualización de datos de lectura.....	- 52 -
Figura 29: Diagrama de flujo del subprograma de Visual BASIC.....	- 53 -
Figura 30: Diagrama de flujo del subprograma Microcontrolador.	- 54 -
Figura 31: Panel solar.....	- 55 -
Figura 32: Radiación global de Colombia. Fuente disponible en	- 58 -
Figura 33: Regulador de voltaje Variable para el sistema fotovoltaico.....	- 60 -
Figura 34: Acondicionamiento de la señal para activar el relé de intercambio..	- 62 -
Figura 35: Circuito diferencial con ganancia.	- 64 -
Figura 36: Datos mostrados en el Display..	- 66 -
Figura 37: Datos mostrados en aplicativo VB	- 67 -
Figura 38: Datos mostrados en archivo plano (*.txt).	- 67 -
Figura 39: Maqueta de prueba y funcionamiento del sistema.....	- 68 -
Figura 40: Punto de ubicación del sistema de medición	- 68 -

Figura 41: ALARMAS de nivel.	- 69 -
Figura 42: Indicador de confirmación de lectura	- 70 -
Figura 43: Chasis módulo maestro.	- 71 -
Figura 44: Chasis módulo esclavo	- 71 -

TABLAS

Tabla 1 <i>Funciones de código de error MODBUS</i>	- 15 -
Tabla 2 <i>Funciones MODBUS más comunes</i>	- 16 -
Tabla 3 <i>Petición del equipo maestro</i>	- 18 -
Tabla 4 <i>Respuesta del Esclavo</i>	- 18 -
Tabla 5 <i>Ventajas y desventajas de los diferentes sensores de nivel</i>	- 24 -
Tabla 6 <i>Características principales de los sensores de nivel tipo RADAR</i>	- 26 -
Tabla 7 <i>Protocolo de comunicación del sensor</i>	- 34 -
Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas de Microcontroladores</i>	- 37 -
Tabla 9 <i>Ventajas y desventajas de los diferentes Microcontroladores</i>	- 38 -
Tabla 10 <i>Ventajas y desventajas de los módulos de comunicación</i>	- 42 -
Tabla 11 <i>Especificaciones de los módulos de comunicación Xbee</i>	- 43 -
Tabla 12 <i>Configuración de XBee</i>	- 47 -
Tabla 13 <i>Especificaciones técnicas de las antenas</i>	- 49 -
Tabla 14 <i>Energía que consume cada uno de los elementos del sistema</i>	- 56 -

INTRODUCCIÓN

Una necesidad presentada por la empresa electrificadora de San Andrés y Providencia Isla, SOPESA SA ESP, es la base de este trabajo en el cuál se hizo el estudio para diseñar el prototipo de un sistema electrónico que sea capaz de leer el nivel de combustible almacenado en varios tanques de almacenamiento vertical atmosféricos, diseñar una red de comunicación utilizando el protocolo MODBUS (sugerido por la empresa) y monitorearlos de manera remota. En este caso la lectura se hará en la isla de Providencia y su monitoreo constante se visualizará en San Andrés donde se encuentra la planta central y se coordinan la mayoría de los procesos.

En el área minera y petrolera es de gran importancia poder establecer métodos precisos de lectura y constante monitoreo para diferentes variables y estados en procesos. En esto podemos incluir la lectura de niveles de agua, combustible, desechos, presión, temperatura, humedad, entre otros. Por tanto, al obtener una buena lectura con un porcentaje de error muy bajo se pueden mejorar procesos, tener menor pérdidas de materia prima, establecer un control más preciso de los procesos que dependen de estas variables y acciones de respuesta rápida en el caso que se presente alguna falla o fuga de material que pueda ser causante de algún daño (sin importar su gravedad) y tenga impacto económico dentro de la empresa o ambiental en el sector donde se encuentran las plantas. Por ende el estudio realizado estableció el método adecuado para poder hacer una lectura de combustible con un porcentaje de error inferior al que poseía el proceso de lectura implementado en la compañía, se estableció una red de comunicación utilizando el protocolo MODBUS para monitorear el área donde se hace la lectura y paralelamente poder enviar la información obtenida e forma remota, haciendo uso de las ventajas amplias de comunicación que actualmente tenemos al alcance, como lo es el Internet.

El sistema posee una ventana predefinida, la cual establece límites críticos de nivel bajo y nivel alto; los cuales, son visualizados en un aplicativo con entorno fácil de manejar para el personal encargado del sistema. Estos límites definidos brindan ayuda la hora de hacer la lectura en los tanques. Cuando alguno de estos se activa, se genera una alarma de advertencia para que se puedan coordinar los posesos establecidos en la empresa en tales casos ya sea de nivel máximo de llenado o nivel crítico de vaciado. De la misma forma, el sistema posee una alarma cuando se presente una caída drástica de combustible, refiriéndose esto a una posible pérdida de combustible en alguno de los tanques. Todos los datos recopilados van a la base de datos actual que posea la empresa para llevar el control de procesos cuando haya carga de combustible y de vaciado de los tanques a medida que este sea utilizado.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)

1.1.1. Diseño y construcción de un controlador de cargas por interfaz serial bajo el protocolo de comunicaciones MODBUS.

Este proyecto se realizó en el año 2007, en Huajuapán de León, Oaxaca, México, y se describió el desarrollo para construir un controlador de cargas eléctricas de corriente alterna (CDECA) por interfaz serial utilizando protocolo MODBUS, teniendo el control de válvulas, encendido de motores, control de variables como temperatura, caudal, presión entre otras.

Para obtener los resultados se utilizó un microcontrolador *ATMEL* de 8 bits, el cual acorta el tiempo de desarrollo y es de bajo costo para la necesidad. Se optó también por tener un puerto serial que manejara niveles TTL, de esta forma se conecta a radio módems estableciendo la comunicación entre dispositivos sin la utilización de cables al transmitir la información. (PAZ CARREÑO, 2007.)

1.1.2. Diseño de una estación de monitoreo de procesos. Aplicación a una columna de destilación.

En este trabajo de investigación hecho en Cuernavaca, Morelos en el 2006, se presentó el desarrollo de una estación de monitoreo para una planta piloto de destilación donde se implementó un observador de estados para poder estimar en línea las composiciones molares en cada etapa. El protocolo de comunicaciones MODBUS fue la solución tecnológica de comunicación utilizando un computador como la unidad de control para la planta piloto de destilación. Utilizando este protocolo se pudo obtener un sistema de monitoreo con un costo de implementación bajo y la vez aumentando la fiabilidad del control de la planta.

El diseño del sistema de monitoreo se presentó en un ambiente gráfico para el operador, quien tiene la capacidad de monitorear y manipular las variables físicas que intervienen en el proceso de destilación. (RIVAS CRUZ, 2006).

1.1.3. Estudio de mediciones en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

El objetivo principal de este trabajo fue el de evaluar y determinar cuáles son las técnicas y los requerimientos necesarios, para el sistema de mediciones en los

tanques de almacenamiento de hidrocarburos en ZOLIC Santo Tomas de Castilla, Izabal en Guatemala.

Más allá de la medición, lo que buscan es el enfoque a solucionar los problemas para garantizar la gestión de inventarios, utilizando tecnologías emergentes que han surgido en un entorno competitivo. Estas mediciones de líquidos a granel se inician desde el momento en que el importador manifiesta la importación del producto para almacenarlo en los tanques de ZOLIC, en donde se inicia el proceso de mediciones que era el objeto del presente estudio.

Para determinar estas mediciones fue necesario tener en cuenta distintos requerimientos como son los movimientos y operaciones de ingreso y salida del combustible, control de inventario, facturación, control de pérdidas y conciliación, entre otras.

Algunas de las técnicas de mediciones utilizadas son: medición manual, medición por flote llamada (automática), medición por radar, medición hidrostática, y medición sistema híbrido. Donde el sistema más confiable y sin contacto directo con el material es el medidor por radar que proporciona datos fiables, exactos y continuos sobre el contenido del tanque así como la disponibilidad de alarmas en caso de operaciones no deseadas en curso. Por otro lado, un sistema manual se rentabiliza gracias a la reducción en el mantenimiento y en los gastos de explotación de su parque de tanques, y abre nuevas posibilidades de aumentar los beneficios al mejorar el rendimiento de la planta.

Es de gran importancia conocer los beneficios de los sistemas de medición utilizando algún tipo de software para monitorear la medición y poder tener un control de inventarios y transferencias aplicables a otras técnicas para comparar las ventajas de cada tecnología. El tener la disponibilidad de los equipos implica un costo pero, significa un mejor control en los procesos de mediciones (CHANG GRANADOS, 2007).

1.1.4. Estudio para calibración de tanques de almacenamiento.

Este trabajo fue realizado en Ecuador en el año 2007, con el objetivo de a conocer una síntesis de los principales métodos para el cálculo de las Tablas de Capacidad de los Tanques (TCT) los cuales son utilizados para el almacenamiento de combustibles y sus derivados. El énfasis que se hizo fue la importancia que tienen las mediciones que se realizan para conformar dicha tabla. También se estudió los fenómenos que se presentan y que afectan las dimensiones de los tanques por lo cual es necesario en ellos un proceso de recalibración ya que el proceso a realizar para ello es la medición estática de hidrocarburos concerniente la medida de volúmenes, temperaturas y propiedades físicas del hidrocarburo almacenado en el tanque.

En este proyecto se realizó un breve resumen de los principales procesos y métodos de medición en tanques de almacenamiento, proceso por medio de los cuales se obtienen las capacidades de operación volumétricas. Estos métodos determinan la capacidad del tanque, su forma, las condiciones de uso del mismo, entre otros factores. Teniendo en cuenta factores como su geometría, que se basa en mediciones de triangulación óptica, encintado y uso de distanciómetro para métodos electro-ópticos; otro factor es el volumétrico usando un caudalímetro y cinta patrón con métodos de llenado y vaciado del tipo de tanque que se mide; y por ultimo utilizando el método gravimétrico, que determina el volumen del tanque mediante la densidad del producto utilizado (BARRERA, 2007)

1.1.5. Sistema de supervisión para los tanques de almacenamiento del terminal el beaterio de petrocomercial.

Este proyecto consistió en el diseño y la simulación del sistema de supervisión de los tanques de almacenamiento de combustible, para la empresa Petrocomercial, filial de Petroecuador en Ecuador. El estudio se llevó a cabo específicamente en el Terminal de Productos Limpios El Beaterio quien se encarga del ingreso, almacenamiento y despacho del combustible, en donde los tanques necesitan de un sistema controle el nivel del combustible de una forma exacta y permanente, obteniéndose de esta manera el control de ingreso y salida del combustible.

Para reemplazar el sistema de medición obsoleto e impreciso que depende del control humano, y que por consiguiente era necesario realizar cálculos y correcciones posteriores, se realizó este estudio y se procedió a diseñar el proceso que automatiza tal sistema para obtener directamente un informe claro y detallado de las mediciones en cada uno de estos tanques, guardando la información en una base de datos para tener así un histórico de los tanques. Al automatizar el sistema de medición de nivel, se facilitó el control del volumen de combustible que sale e ingresa de la empresa. Para obtener el volumen de los tanques se requirió un sistema con una tecnología vigente que garantiza la constante lectura y control del nivel de combustible, de una forma rápida y sencilla (GÓMEZ ROCA, 2005).

1.1.6. Implementación de una red MODBUS/TCP.

En la universidad del valle en Colombia se llevó a cabo el desarrollo e implementación de una red de instrumentación y control industrial con conectividad TCP/IP (como por ejemplo Internet), con capacidad de poder ser controlada y supervisada remotamente utilizando el protocolo de comunicaciones MODBUS/TCP, también se usó el sistema embebido TINI de Dallas Semiconductor para poder realizar el control del sistema. Por consiguiente, se

desarrolló una interfaz gráfica para el usuario y de esta manera poder tener acceso desde Internet vía Web.

Para tener una conectividad segura y la recepción de información correcta se utilizaron buses de campo que son una forma especial de LAN dedicada a aplicaciones de adquisición de datos y el comando de elementos finales de control sobre la planta. Estos buses de campo operan sobre cables de par trenzado de muy bajo costo. Al optimizar los buses de campo se garantiza de forma efectiva el intercambio de mensajes cortos de comando y de control con altísima seguridad y temporización con bajo tiempo de retardo (RUIZ OLAYA, 2002).

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La forma de generar energía eléctrica en las islas de San Andrés y Providencia es utilizando motor generadores Diesel los que se requieren la utilización de tanques de almacenamiento vertical atmosféricos que contienen el combustible que es necesario para la generación eléctrica y posterior distribución, los cuáles están situados en el parque de generación en cada una de las plantas para el consumo a la medida de la demanda que se requiera en la región. Actualmente el sistema de lectura de los hidrocarburos es un modelo ineficiente, completamente analógico donde actualmente se utilizan sistemas de medición con indicador a flotante, indicador magnético a paletillas e indicadores de tubo de vidrio; esto no quiere decir que no sean exactos, tales métodos pero el propósito es establecer un procedimiento aplicando nuevos sistemas eficientes y más precisos al momento de llevar el monitoreo de nivel de combustible en los tanques.

Por ende ¿Cómo identificar los elementos necesarios para poder obtener una medición de volúmenes en los tanques de almacenamiento de combustible (ACPM) con un bajo porcentaje de error en la Isla de Providencia y estos poder ser monitoreados en San Andrés utilizando el protocolo de comunicación MODBUS?. Investigando los tipos de sensores que tengan una lectura precisa con un mínimo error de lectura, diseñando el circuito que se requiere para la adquisición de los datos y que establezca la comunicación utilizando el protocolo MODBUS entre el sensor y un equipo de monitoreo (Computador). El equipo de monitoreo tendrá un software de interfaz gráfica fácil de entender para el operador que visualiza las variaciones de volumen, identifica alarmas de exceso de llenado y de nivel crítico de vaciado, y en un caso de una variación repentina e inesperada del combustible que puede ser reflejo de pérdida por derrame o fuga.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El interés de este trabajo fue estudiar y diseñar un sistema de medición electrónica que mejore los métodos actuales de medición con los que cuenta la empresa electrificadora SOPESA SA ESP en Providencia Isla. Medidas que actualmente son completamente analógicas y por lo cual se requiere la participación directa del hombre para poder tomar la lectura de los niveles de combustible. El riesgo constante es la falla de lectura humana y esto se ve reflejado en los movimientos de ingresos respecto al consumo del material combustible y es lo que se requiere controlar al tener un monitoreo constante en los tanques. Otro motivo, es por el riesgo industrial que tienen los operarios al momento de usar la cinta de medición milimétrica, pues quien está encargado de obtener la lectura debe ir a la parte superior del tanque a medir y por una escotilla ingresar la cinta varias veces para poder hacer un estimado del nivel de combustible que hay en cada tanque y luego ir a una tabla aforo que tiene los valores concernientes al volumen de cada tanque con respecto al nivel marcado en la cinta. Esta tabla aforo tiene niveles de error muy elevados ya que al despreciar o aumentar tan solo 1 milímetros se obtiene una diferencia elevada en cuanto a error de lectura. En el sistema de medición manual (humano), no se tiene en cuenta los milímetros de lectura, por lo que el operario sólo supone una aproximación con la varilla de medición. El tanque a monitorear tiene una capacidad de 5277,33 Galones hay una diferencia de aproximadamente 0,4231 Gal/mm (ver **ANEXO A.**), valores por lo general despreciados por el operario que hace la lectura. Los errores pueden prescindir desde la misma forma como se aplome la varilla de medición, el ángulo que esta tenga a la hora de hacer la medición, la temperatura también juega un papel ya que si el medidor es metálico tiende a dilatarse o contraerse al haber cambios de temperatura, y por consiguiente, la lectura no es la más exacta. Mejorando esta diferencia con un sistema que no requiera directamente la intervención de un trabajador para la lectura, evitando algún tipo de accidente en el momento de tomar la lectura. De esta manera se logra controlar el volumen de ingreso y egreso con mayor precisión, llevando estas lecturas a una base de datos establecida por la empresa, teniendo así un mejor aprovechamiento del material combustible, un buen inventario y de la misma forma se ve reflejado en la contabilidad de la empresa. Esto refleja la reducción de error en las lecturas hechas por el personal y las procesadas por el sistema, lo que en costos es favorable para la empresa. Por otra parte no serían necesarios los viajes programados para los ingenieros de dichas operaciones en la empresa ya que la oficina principal está en un municipio diferente de donde se harían las lecturas y en esto también se reducen gastos de

Al momento de investigación la empresa electrificadora facilitó la información necesaria para el diseño del sistema, en la cual se establece las medidas de los tanques, cada uno con su capacidad, la tabla aforo de referencia (ver **ANEXO A.**), con la que actualmente cuentan para la lectura con las cintas milimétrica, y de esta manera se hizo la comparación de las lecturas con el sistemas que tienen

actualmente y el nuevo sistema a implementar. La empresa interesada en el estudio se compromete en financiar la adquisición de los componentes que se requieran para poder implementar la lectura de nivel de combustible y la red de comunicación MODBUS y su posterior monitoreo en la oficina principal, al momento que decidan desarrollar en su totalidad el estudio realizado.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar y construir un prototipo de un sistema de medición electrónico para obtener la lectura de nivel de combustible en tanques de almacenamiento vertical atmosférico, establecer una red de comunicación utilizando protocolo MODBUS para ser monitoreado de manera remota.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Establecer los componentes, sensores y diseñar una interfaz gráfica necesarios para realizar el diseño y prototipo del circuito de adquisición de datos.
- Determinar una línea base para comparar las mediciones a tomar con respecto a los archivos de toma de datos que posee la empresa.
- Determinar los modelos electrónicos y matemáticos pertinentes para el diseño de los circuitos electrónicos y de la red de comunicación MODBUS.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Este documento tiene como alcance el estudio del tipo de sensor necesario para hacer la lectura de nivel de ACPM en los tanques de combustible, los circuitos para el monitoreo e implementar la red de comunicación MODBUS, requerida por la empresa, donde hay una red implementada con este protocolo llevando a cabo otras funciones y a futuro se desea acoplar ambos sistemas. SOPESA SA posee el *SOFTWARE* de monitoreo para dicho trabajo y este es operado únicamente por personal autorizado. La lectura se establece en los tanques que están situados en la planta de generación en Providencia Isla.

La duración y cumplimiento de la totalidad del proyecto dependió de la adquisición de la información que proporcionó la empresa para realizar el estudio y diseño del

sistema de lectura y posterior comunicación para la empresa. Los sensores que se requieren para hacer la lectura del nivel en los tanques no se encuentren dentro del territorio nacional. Al momento que la empresa tome la decisión de establecer el sistema, basado en el estudio realizado y quiera implementar el sistema, tendría que importar los sensores para su posterior montaje.

El tipo de sensor se determinó teniendo en cuenta las variaciones de temperatura, presión, flujo, gravedad específica del material a medir y que pueda operar ambientes pesados.

Las mediciones necesarias en la empresa estuvieron limitadas a los permisos otorgados de acuerdo a las políticas y reglamentos internos, válidos sólo para el personal que labora en la misma.

Al hacer el diseño del sistema de medición y monitoreo se tuvo en cuenta que se construirá un prototipo del mismo. Para la simulación se utilizó software libre para hacer la aplicación de monitoreo, debido a que la licencia del software que actualmente tiene la empresa está restringida para uso exclusivo del personal. Por este motivo, fue necesario desarrollar un aplicativo para visualizar el monitoreo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

Como el objetivo de este trabajo es el estudio y diseño de un prototipo de medición de nivel de combustible en tanques verticales atmosféricos, se presenta a continuación los parámetros que habitualmente se siguen para la medición en este tipo variables y una breve descripción de los instrumentos utilizados para ello en la actualidad.

2.1.1. Tipos de medidores de nivel

2.1.1.1. Indicador magnético a paletitas. En la *figura 1* se muestra el tipo de indicador de nivel “similar a un tubo de vidrio pero para Líquidos Costosos, Peligrosos, Sucios, con Alta presión o Alta Temperatura, siempre que tengan densidad mayor de 0,45. Es el Indicador local Por Excelencia para toda instalación de hasta 10 m cuando necesita máxima seguridad y confiabilidad.



Figura 1: Indicador de nivel de paletas. (SCHILLIG, 1992)

Este sensor puede operar en tanques subterráneos incorporando una Varilla Prolongadora. Las paletitas indicadoras se accionan magnéticamente y son de gran visibilidad. Escala en Altura o Volumen”¹. La instalación de este dispositivo se hace mediante una rosca o brida lateral y vasos comunicantes en sus extremos,

¹ NIVELIMETRIA > Indicadores y Medidores de Nivel [En línea] 2004 [Citado 12 – Oct- 2013]
Disponible en: http://e-bs.com.ar/export/medicion_continua_de_nivel_fr.htm

tiene una resolución de 10mm, construido con norma AISI 316, PCV. Su operación es apta para 300°C y a 30bar, apto para intemperie (SCHILLIG, 1992).

2.1.1.2. Indicador de nivel flotante con contrapeso. El indicador de nivel flotante mostrado en la *figura 2*, es Implementado para Líquidos Limpios o Sucios, aún Semi-Viscosos, con densidad de más de 0,6. Apto para Tanques de Gran Altura (prácticamente sin límite).



Figura 2: Indicador de nivel flotante. (SCHILLIG, 1992)

Dado que mide, lógicamente, sin energía, es elegido cuando el medidor necesita ser altamente confiable y cuando es necesario que sea visible. Mide sin energía, es altamente confiable y es visible hasta 30 m. Escala en Altura o Volumen. Requiere lubricación y limpieza ocasional. Tiene una exactitud de +/- 3,5cm, puede operar a temperatura de 100°C y apto para intemperie (SCHILLIG, 1992).

2.1.1.3. Cinta o varilla milimétrica y tabla aforo (figura 3). Es un método basado en la medida de los niveles de combustible utilizando una varilla aforada (sin ningún tipo de sensor) a través de un punto de sondeo, y con el valor encontrado de altura se determina el volumen de mediante una tabla de equivalencias (tabla aforo), la cual maneja el nivel en milímetros y el volumen en galones (PARDO GONZALES, Mauricio; CAMPANELA PINEDA, Humberto; MANOTAS ANGULO, Victor; PÁEZ SAABEDRA, Javier, 2006).

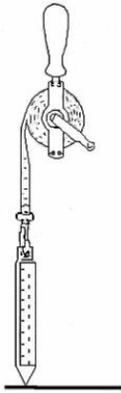


Figura 3: Cinta o varilla milimétrica y tabla aforo. (GÓMEZ ROCA, 2005)

2.1.1.4. Medidor de nivel tipo RADAR para líquidos en tanques. Es un tipo de medidor por radar destinado a la medición de nivel en tanques intermedios, con exactitud de por lo menos 3 mm, útil para tanques con contenido de hidrocarburos o productos químicos en general. Son dispositivos digitales aprobados para poder operar en áreas de altas temperaturas y en intemperie (Rosemount Tank Radar AB, 2007). Se puede ver en la *figura 4*.



Figura 4: Sensor de nivel tipo Radar. (Rosemount Tank Radar AB, 2007)

2.1.2. Protocolo de comunicación MODBUS. “MODBUS es un protocolo de comunicaciones publicado por la compañía MODICON en 1979, siendo una red con protocolo de comunicación entre una estación central denominada MASTER y

muchas estaciones denominadas SLAVE”², diseñada para funcionar con equipos industriales tales como Controladores Lógicos Programables (PLCs), Computadoras, Motores, Sensores, y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida.

MODBUS es un protocolo simple, flexible y robusto, el cual se ha convertido en un protocolo estándar de comunicación industrial, siendo uno de los más comunes para la comunicación de dispositivos electrónicos. Especifica el procedimiento que un controlador maestro y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato a utilizar y la forma cómo se tratan los errores de lectura. Específicamente no trata el tipo de red de comunicaciones que se debe utilizar, y por ende, es soportada en red de tipo Ethernet, RS232, RS485, etc.

Las razones principales por las que se ha estandarizado el uso de este protocolo son las siguientes:

- Es público.
- Su implementación es sencilla y no requiere tiempos de desarrollo extensos.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

2.1.2.1. Descripción general. Es un protocolo que siempre funciona en modo maestro-esclavo, donde el maestro es quien tiene el control en todo momento el proceso de comunicación con los esclavos; los esclavos pueden ser hasta 247 usuarios (@1d a @247d).

En este protocolo la comunicación puede ser “peer to peer”, donde la comunicación es entre el maestro y un solo esclavo. También puede ser de tipo “broadcast” donde el maestro se comunica con todos los esclavos.

Las comunicaciones MODBUS se pueden realizar en modo ASCII o en modo RTU. El primero los datos son cada byte a transmitir se envían dos caracteres ASCII con su representación hexadecimal. En cambio en el modo de transmisión RTU los datos son enviados en binario (tramas de unos y ceros). En ASCII toda trama inicia con el código 0x3A (carácter “;”), y termina con los códigos 0x0D-0x0A (correspondientes a CR LF especificadas en el **ANEXO B. Tabla código ASCII**). En RTU, no se utiliza indicador de inicio y final de trama respectivamente.

2.1.2.2. Campos de las tramas MODBUS. La cantidad de tramas MODBUS varían dependiendo el tipo de código que se utilice, ya sea RTU o ASCII. En la codificación ASCII (Formato de texto) está compuesto de la siguiente forma:

² MODBUS > MODBUS FAQ: About The protocol. [En línea] 2005 [Citada 05-Ago-2013] Disponible en: <http://modbus.com/>

- Inicio de trama: 2 caracteres ASCII (representan 1 byte) codificando el carácter ":" (0x3A).
- Número de Esclavo: 2 caracteres ASCII (representan 1 byte) codificando la dirección del esclavo destino de la trama.
- Código Operación: 2 caracteres ASCII (representan 1 byte) con el código de operación.
- Dirección, datos y subfunciones Datos: con los parámetros necesarios para realizar la operación.
- LRC, Longitud Redundancy Check (16 bits): H L, donde H son los bits más pesados y L los bits menos pesados.
- Final de trama: 4 caracteres ASCII (representan 2 bytes) con los caracteres CR (0x0D) - LF (0x0A).

En la codificación RTU (formato binario) está conformado por:

- Número de Esclavo: 1 byte con la dirección del esclavo destino de la trama.
- Código Operación: 1 byte con el código de operación.
- Subfunciones Datos: con los parámetros necesarios para realizar la operación.
- CRC, *Cyclical Redundancy Check* (16 bits): H L, donde H son los bits más pesados y L los bits menos pesados.

2.1.2.3. Descripción de los campos de las tramas MODBUS. A continuación se procede a hacer una descripción de cada uno de los campos de las tramas utilizadas en el protocolo MODBUS:

- **Número de esclavo (1Byte):** Cuando el maestro envía esta trama, indica la dirección del esclavo solicitado. Tiene 247 opciones para poder solicitar, con direcciones comprendidas de 1d a 247d. El esclavo, envía esta trama para indicarle al maestro quien está enviando la respuesta.
- **Código de operación o Función (1Byte):** Aquí se indica el tipo de operación que se quiere realizar sobre el esclavo. El esclavo confirma al maestro la operación realizada en respuesta hacia el maestro.

- **Dirección, datos y subfunciones (n Bytes):** Este campo indica la información para realizar una operación indicada en el código de operación. El número de Bytes en este campo varían dependiendo la operación a realizar. Por parte del esclavo, responde con tramas con campo de datos o sin ellos, según la operación.

En MODBUS cada dato se direcciona en un rango de memoria concreto de la siguiente forma:

@1-10000(DOs –Salidas digitales): Indica el estado de una o varias salidas. A esta dirección se accede con las funciones 1(lectura), 5(escritura) o 15 (escritura múltiple).

@10001-20000 (DIs –Entradas digitales): Lee el estado de una o varias entradas digitales. A esta dirección se accede con la función 2 (lectura) y lleva implícita la dirección 10001 como la dirección de base.

@20001-30000: Sin uso.

@30001-40000 (AIs –Entradas análogas): Indica el estado de una o varias entradas análogas. Utiliza 16 bits por dirección. A esta dirección se accede mediante el código de función 4 (lectura) y llevan implícita la dirección 30001 como dirección de base.

@40001-50000 (AOs –Salidas análogas): Indica el estado de las salidas analógicas. A esta dirección se accede con el comando 3(lectura), 6(escritura) o 16(escritura múltiple) y llevan implícita la dirección 40001 como dirección base.

:	Nº Esclavo	Código de Operación	Subfunciones, Datos	LRC(16) H L	CR (0D _H)	LF (0A _H)
---	---------------	---------------------------	---------------------	----------------	--------------------------	--------------------------

Codificación ASCII

Figura 5: Trama MODBUS. (Lección 42. MODOS DE TRANSMISIÓN DEL MODBUS, 2014)

Cuando se produce un error en la ejecución de un comando en el dispositivo esclavo, este responde con 1 bit de más peso del código de función (0x80). Este bit le indica al maestro que se ha producido un error como se indica en la siguiente *tabla 1* la cual especifica los códigos de error y sus funciones correspondientes para que el sistema de comunicación pueda identificar y corregir de manera precisa la falla detectada:

Tabla 1
Funciones de código de error MODBUS

Código	Nombre	Significado
01	FUNCION ILEGAL	El código no corresponde a ningún comando disponible en el esclavo.
02	DIRECCION DE DATO INVÁLIDO	La dirección indicada en la trama no corresponde a ninguna dirección válida del esclavo.
03	VALOR DE DATO ILEGAL	El valor enviado al esclavo no es válido
04	FALLA DEL ESCLAVO	El esclavo ha recibido la trama, ha comenzado a procesarla, pero se produjo un error y que impidió termina la tarea.
05	RECONOCIMIENTO	El esclavo ha recibido la trama, la está procesando pero le llevará un tiempo largo. Mediante esta respuesta se evita que el máster considere la demora como un error de timeout. El máster podrá enviar más tarde una trama una trama de tipo Poll Program Complete para verificar si ha completado el comando.
06	ESCLAVO OCUPADO	El esclavo está ocupado realizando otra tarea y no puede atender la petición solicitada en ese instante por lo cual el máster deberá reintentarlo más tarde.

Fuente: (BARTOLOMÉ, 2011)

- Control de errores LCR o CRC: MODBUS utiliza códigos de error dependiendo del tipo de codificación utilizado, sea RTU o ASCII. Para ASCII se utiliza el *checksum* o LRC (*Longitud Redundancy Check*) en hexadecimal. Y en RTU se utiliza el método CRC (*Cyclical Redundancy Check*) codificado en 2 bytes.

A continuación se describe algunos códigos para la detección de errores para ASCII y RTU en lenguaje C:

ASCII:

```
BYTE LRC (BYTE *nData, WORD wLength)
{
```

```

BYTE nLRC = 0 ; // carácter LCR inicializado
for (int i = 0; i < wLength; i++)
nLRC += *nData++;
return (BYTE)(-nLRC);
} // Fin: LRC

```

RTU:

```

unsigned crc16(char*buf,intlen)
{
    char i;
    unsigned crc;
    for(crc=0xFFFF;len!=0;len--){
        crc^=*buf++;
        for(i=0;i<8;i++){
            if(crc&0x0001){
                crc=(crc>>1)^POLY;
            }else{
                crc>>=1;
            }
        }
    }
    return(crc);
}

```

A continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la descripción de los códigos de operación:

Tabla 2
Funciones MODBUS más comunes.

Código	Función
1	Leer estado de bobinas
2	Leer estado de entradas
3	Leer registros
4	Leer registros de entrada
5	Activar una bobina
6	Registro simple predeterminado
7	Leer estado de excepción
8	Diagnóstico
9	Programa 484
10	Sondear 484
11	Establecer contador de comunicación de eventos

Cont..Código	Cont...Función
12	Establecer registro de comunicación de eventos
13	Controlador de programa
14	Sondeo de controlador
15	Forzar múltiples bobinas
16	Registros de pre ajuste múltiple
17	Informe del ID del esclavo
18	Programa 884/M84
19	Restablecer enlace de comunicación
20	Leer registros de referencia general
21	Escribir referencia general
22	Escribir máscara de 4x registros
23	Lectura/Escritura de 4x registros
24	Lectura FIFO en cola

Fuente: (BARTOLOMÉ, 2011)

El comando a utilizar en este proyecto es la **Función 20 (Leer registros de referencia general)**, el cual retorna el contenido de los registros de la memoria extendida comprendida desde @6XXX. En esta trama se envía la dirección del esclavo, el código de función a realizar, el número de bytes que se va a leer por y los bytes de comprobación de error de la siguiente forma:

- Tipo de referencia: 1 byte (debe ser 6).
- Numero de archivo de memoria extendida: 2 bytes (0x01 a 0x0A).
- Dirección del "fichero" a partir de la que queremos comenzar a leer: 2 bytes.
- Cantidad de registros a leer: 2 bytes.

Los datos a leer junto con los demás campos no debe superar la longitud máxima permitida en los mensajes del protocolo MODBUS, es decir los 256 bytes.

A continuación en las siguientes **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta un ejemplo de la petición y respuesta en ASCII y TRU. El modo a trabajar en este proyecto es ASCII:

Tabla 3
Petición del equipo maestro.

Nombre de la Trama	RTU (hex)	Carácter ASCII
Cabecera		: (Colon)
Dirección de esclavo	11	11
Función	14	10
Inicio de dirección Hi	00	00
Inicio de dirección Lo	0E	01
Cantidad de registros Hi	00	00
Cantidad de registros Lo	02	02
Cantidad de bytes	04	04
Dato Hi	00	00
Dato Lo	0A	0A
Dato Hi	01	01
Dato Lo	02	02
Chequeo de error Lo	C6	LRC (C B)
Chequeo de error Hi	F0	
Fin de trama		CR LF
Total Bytes	13	23

Nota: Tabla basada en el modelo de la trama para el protocolo de comunicación MODBUS

Tabla 4
Respuesta del Esclavo

Nombre de la Trama	RTU (hex)	Carácter ASCII
Cabecera		: (Colon)
Dirección de esclavo	11	11
Función	14	10
Inicio de dirección Hi	00	00
Inicio de dirección Lo	0E	01
Cantidad de registros Hi	00	00
Cantidad de registros Lo	02	02
Chequeo de error Lo	12	LRC (C B)
Chequeo de error Hi	98	
Fin de trama		CR LF
Total Bytes	8	17

Nota: Tabla basada en el modelo de la trama para el protocolo de comunicación MODBUS

2.2. MARCO LEGAL O NORMATIVO

Como el fin de este trabajo es el estudio y diseño de un sistema de medición en tanques de almacenamiento de combustible vertical atmosféricos, es de notar que hay un peligro constante ya que los hidrocarburos, en el caso de sopesa DIESEL, son altamente inflamables y para cualquier tipo de trabajo, instalación, modificación que se les haga directamente se corre el riesgo de explosión si no se tienen en cuenta trabajar con las normas para el manejo correcto y las recomendaciones que estén bajo normas de seguridad, y ambiental. El impacto ambiental, social y económico que esto tiene sobre la localidad es eminente si no se tienen en cuenta los lineamientos que rigen los procesos adecuados en el área de trabajo en los tanques de almacenamiento. Por ende SOPESA SA ESP, está regido bajo las siguientes normas Internacionales ISO³:

ISO 9001, Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos.

ISO 18001, Sistema de Gestión en seguridad y salud ocupacional-Requisitos.

ISO 14001, Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo.

El gobierno nacional de Colombia también establece normas técnicas aplicables a los Biocombustibles a las cuales también se acoge la empresa como:

NTC⁴ 1438, establece las especificaciones que deben cumplir y los métodos de ensayos que se deben usar para determinar los parámetros definidos para los combustibles utilizados en motores tipo diesel disponibles en Colombia.

Donde haya plantas de almacenamiento, estaciones de servicio, o cualquier otra instalación para el manejo de este combustible DIESEL, deben aplicarse las normas NFPA⁵ 30 que están relacionadas con la protección contra incendios establecidos por el ministerio de minas y energía de la República de Colombia, las Normas API⁶ (S.A., 2012).

³ ISO -International Organization for Standardization-

⁴ NTC-Norma Técnica Colombiana-

⁵ NFPA –National Fire Protection Association-

⁶ API-American Petroleum Institute-

3. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Para desarrollar el proyecto de investigación “diseño de un prototipo para la lectura y monitoreo en tanques de almacenamiento de ACPM utilizando protocolo de comunicación MODBUS para la empresa electrificadora SOPESA SA ESP”, se debe tener en cuenta los tipos de metodologías que existen, para determinar cuáles son los procedimientos y soluciones más convenientes para el problema planteado, la cual se ajusta a una teoría de tipo empírico-analítico. Se abordarán las diferentes temáticas que requiere el tema del proyecto buscando ampliar nuestra base cognitiva al respecto, para luego decidir los parámetros para el diseño final; un diseño aplicable y definitivo. Para tal fin se investigará las especificaciones, recomendaciones y experiencias en temas relacionados con problemáticas similares, para tomar lo mejor de ello buscando desarrollar un trabajo investigativo con parámetros óptimos de diseño, con un resultado eficiente y de máximo desempeño. De la misma forma, en el estudio se tendrán en cuenta los cálculos necesarios para definir las variables que intervienen en la toma de datos, la responsabilidad ambiental y la seguridad que se necesita al momento que la empresa decida implementar el sistema.

3.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

Con base en la línea institucional de la Universidad de San Buenaventura se define que este proyecto está asociado a la línea de ‘tecnologías actuales’; siguiendo la línea de investigación de la facultad de ingeniería se tiene que el campo que rige sobre éste es el de: ‘análisis y proceso de señales’, y por último los núcleos problémicos de investigación propuesto en el nodo del programa de ingeniería electrónica se establece que este va ligado la microelectrónica y automatización.

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para responder al problema planteado en este proyecto se debe iniciar con una visita a las instalaciones de SOPESA SA ESP para conocer los elementos de medición con los que ellos cuentan, y así poder plantear una idea general para dar

una solución a la necesidad actual. Para planear la solución al problema planteado se recurrieron a diversas fuentes como proyectos ya antes realizados relacionados con el tipo de problemática similar a esta investigación, libros y recurriendo al mismo tiempo al histórico de algunos datos de medición hechos con anterioridad por la empresa para poder realizar una comparación de los datos experimentales del prototipo a diseñar y obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variables independientes.

El trabajo que se desarrolló presenta una variable principal (el nivel de combustible) que es el referente por el cual parte el interés de poder tener una lectura precisa, ya que es el dato a medir y del cual parte el proceso a estudiar y posteriormente a diseñar, en base a ello, la red de comunicación que hará posible el monitoreo.

3.4.2. Variables dependientes.

Los factores dependientes del sistema serían la transferencia de los datos recolectados, el almacenamiento de la información y las diferentes alarmas de estados del material independiente que interactúan con las variables independientes como lo son: el sistema de suministro de energía y el tipo de ambiente en el cual operaría el sistema, para lograr su correcto funcionamiento en la medición y la comunicación para su posterior monitoreo.

4. DESARROLLO INGENIERÍA

Seguidamente para dar solución al problema planteado, en su momento el personal de trabajo del proyecto en reunión con el personal de SOPESA SA ESP y los asesores técnicos la misma empresa, se establecieron los requisitos necesarios que debe tener el sistema de medición y comunicación de datos de utilizando el protocolo MODBUS, tales como:

- Se requiere remplazar la forma de toma de datos que el personal de la empresa realiza cada hora por una de forma continua y con lapsos de tiempos más cortos para una mejor lectura, utilizando transmisión inalámbrica. Debido a que el lugar desde donde se deben tomar los datos es de una altura considerable (>6m) es un riesgo para el operario cada vez que este va a hacer la lectura de nivel en los tanques. Estas mediciones se hicieron tomando en cuenta que la línea base de toma de datos es la tabla aforo (**Anexo A. Tabla aforo para lectura de nivel de combustible de la empresa SOPESA SA ESP**)
- Los datos de nivel de combustible transmitidos, deben ser monitoreados por medio de un aplicativo diseñado para la recepción y almacenamiento de los mismos ya que la empresa no dispone en la utilización del software que actualmente manejan.
- Se debe generar por medio del sistema electrónico, un *back up* de la información capturada por el sensor de los últimos 120 datos que equivaldrían a las últimas 2 horas de toma de lectura, en el momento que la comunicación inalámbrica llegase a fallar.
- El equipo de medición y transmisión debe contar con un sistema de alimentación que no dependa únicamente del suministro de energía eléctrica proporcionado por sistema de interconexión local.
- El sistema debe ser capaz de generar una alarma en el caso que el sensor lea un nivel crítico mínimo o máximo de combustible ya que esté sólo es para monitoreo y no para control.

Siguiendo estos requerimientos se plantea una solución que representa el proceso que realiza el sistema, a través de las etapas de lectura de nivel y procesamiento, transmisión y almacenamiento de datos mostrado en la *figura 5*. Para la visualización del prototipo de medición se desarrolló un aplicativo (interfaz gráfica) utilizando la plataforma de Visual Basic, en el cuál se podrá visualizar el proceso de lectura, monitoreo y alarma del sistema de medición de nivel. Este

aplicativo se explicará de forma detallada en el tema “*Etapa de almacenamiento y visualización de la información*”.

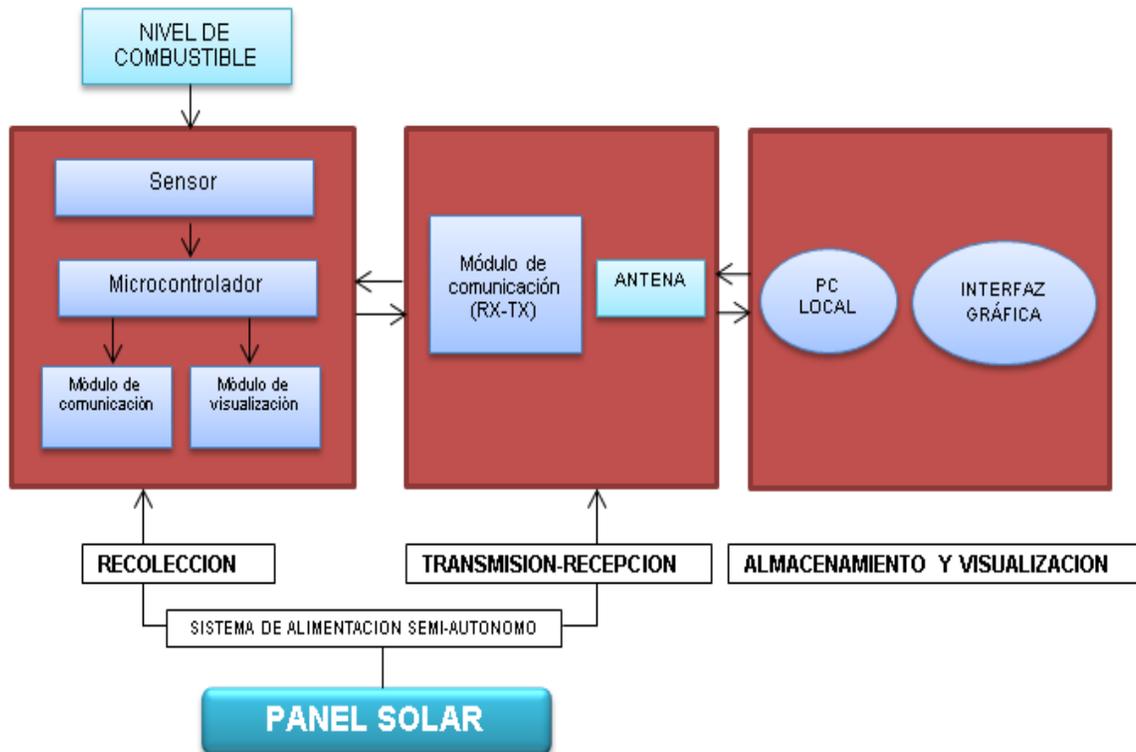


Figura 6: Planteamiento de la solución del proyecto.

4.1. ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En esta etapa, el propósito es establecer solución a los requerimientos planteados por SOPESA SA ESP, en remplazar la forma de toma de datos esporádica (cada hora) y presencial por una de forma continua utilizando transmisión inalámbrica debido a la altura de donde se deben tomar los datos e igualmente implementar un sistema de medición que genere un *back up* de la información capturada por el sensor de los últimos 120 datos que equivaldrían a las últimas 2 horas de toma de lectura, en el momento que la comunicación inalámbrica llegase a fallar. Se establecen los componentes que se necesitan para desarrollar el prototipo del sistema de medición y su efectivo funcionamiento.

4.1.1. Selección del tipo de sensor.

En la etapa de recolección se hace la selección del tipo de sensor idóneo para la realización del proyecto. Por lo cual, se procede a evaluar los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado y por ende comparando cada uno en la siguiente tabla.

Tabla 5

Ventajas y desventajas de los diferentes sensores de nivel

sensor	Ventajas	Desventajas
INDICADOR MAGNÉTICO A PALETITAS	Puede abarcar mediciones hasta de 10m y son de gran visibilidad. Su instalación es sencilla y puede operar en temperatura de hasta 300°C y a 30bar; apto para intemperie (SCHILLIG, 1992).	A mayor altura del tanque a medir mayor el riesgo del operario que toma el dato de lectura ya que su proceso es análogo. El error de lectura es mucho mayor ya que es un proceso en el que el operario supone la lectura a escalas mínimas. Tiene contacto directo con el material líquido.
INDICADOR DE NIVEL FLOTANTE CON CONTRAPESO	Apto para tanques de gran altura (hasta 30m). Puede operar a temperatura de 100°C y apto para intemperie.	Igual que el anterior, a mayor altura del tanque mayor el riesgo para hacer la toma de lectura. El rango de error es de +/-3,5cm valor muy elevado si se requiere mayor exactitud en la medición. Es de contacto directo con el material, requiere lubricación y limpieza ocasional (SCHILLIG, 1992).
CINTA VARILLA MILIMÉTRICA Y TABLA AFORO	Puede ser usado en tanques de gran altura, maneja el nivel en milímetros.	El operario debe subir a la cima del tanque para hacer la medición, tiene contacto directo con el líquido combustible, es considerable el error de lectura debido a que depende de la exactitud cómo se aplome la varilla (si esta queda erguida totalmente). El rango de error puede ir desde

		los +/-2cm o superior (GÓMEZ ROCA, 2005).
sensor	Ventajas	Desventajas
MEDIDOR DE NIVEL TIPO RADAR	Puede tener mediciones de largo alcance, hasta de 100m con una precisión de +/-3mm. Opera a temperaturas de hasta 230°C y 10bar de presión. No tiene contacto físico con el material a medir. Es un sistema electrónico, no requiere la intervención humana para su lectura (Rosemount Tank Radar AB, 2007).	Se requiere hacer una abertura con tapa, en el caso que el tanque no lo posea. Su costo es elevado. Si falla el sistema electrónico hay que recurrir a otro sistema de medición manual hasta que se restablezca el sistema.

Haciendo un análisis de la *Tabla 5* se observa que el sensor de nivel tipo RADAR es el más adecuado, porque tiene mucha más precisión respecto a los otros tipos de sensores, permite obtener el dato de lectura de tal forma que se puede procesar con facilidad y así ser visualizado a un módulo electrónico en un lugar cercano a donde se toma la lectura y también ser transmitido a un centro de recepción y monitoreo.

Con la selección del tipo de sensor, se procede a determinar el modelo del sensor apto para hacer la lectura de nivel requerido por la empresa SOPESA SA ESP, de tal forma que no exceda ni esté al límite de los rangos requeridos para hacer la medición, por lo que se consultó la siguiente información mostrada en la *tabla 6*, a continuación, de los diferentes modelos y sus marcas.

Tabla 6

Características principales de los sensores de nivel tipo RADAR

Sensor Ultrasonido tipo RADAR	Modelo	Precisión	rango	Material	Costo (\$)
<p>RADAR Antena cónica</p> 	Antena cónica	± 3 mm	35m	Antena de acero inoxidable con Sello de PTFE ⁷ o cuarzo	1'540.000
<p>RADAR Antena parabólica</p> 	Antena parabólica	± 3 mm	40 m	Acero inoxidable y fluoropolímero FEP ⁸ /PTFE	2'200.000
<p>RADAR Antena con sello de proceso</p> 	Antena con sello de proceso	± 10 mm	20m	Acero inoxidable con sello de cerámica o de PTFE	998.000
<p>Figura 9. RADAR antena varilla.</p> 	Antena de varilla	± 5 mm	15m	Acero inoxidable con sello de PTFE.	850.000

Fuente: (Rosemount Tank Radar AB, 2007).

⁷ PTFE (politetrafluoretileno) es un material plástico de alta resistencia química, auto lubricante y resistente a altas temperaturas. Consultado en <<http://www.capisa.com.ar/ptfe.htm>>

⁸ FPE (propileno Etileno Florado) es un copolímero de hexafluoropropileno y tetrafluoroetileno.

Al analizar las diferentes características de los sensores de nivel tipo radar mencionados, se encuentra que el sensor ultrasonido de nivel tipo Radar con antena cónica es el que se ajusta a las necesidades del proyecto. Este sensor está fabricado con Acero inoxidable a prueba de ácido tipo EN 1.4436 (AISI 316), tiene un sellante tipo PTFE, con una precisión de +/-3mm, opera a temperatura máxima de 230°C con presiones desde -0.2 a 2bares y con brida de montaje puede ser horizontal o inclinada 4° para el montaje cerca de la pared del tanque para una fácil instalación. Las especificaciones eléctricas y de comunicación son las siguientes (Rosemount Tank Radar AB, 2007):

- Alimentación de entrada de 100-240VAC, 50-60Hz.
- Bus de comunicación TRL/2 (FSK, half dúplex, dos hilos, aislado galvánicamente, 4800 Baudios, basado en MODBUS).
- Conexión RS485 (basado en MODBUS).

4.1.2. Funcionamiento del sensor

Obtenida la información técnica requerida, se inicia un análisis del funcionamiento del sensor de distancia tipo RADAR en la siguiente figura.

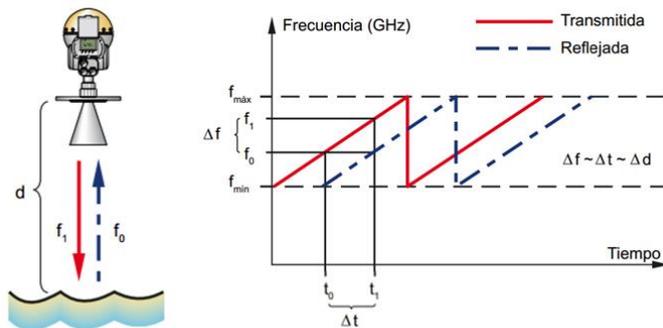


Figura 7: Método en un barrido de radar con cambios de frecuencia continuos. (Rosemount Tank Radar AB, 2007)

La medida del líquido se mide mediante señales ultrasónicas de tipo radar transmitidas desde la antena que se encuentra en la parte superior del tanque.

(Rosemount Tank Radar AB, 2007) establece que: “Al momento que la señal es reflejada en la superficie líquida en eco es captado por la antena. Debido a que el

eco de recepción es diferente en frecuencia a la inicial transmitida en ese momento, esa diferencia en frecuencia es proporcional a la distancia a la que se encuentra el líquido y se puede calcular con precisión”. La banda de frecuencia utilizada puede comprender desde los 400kHz hasta los 100GHz, para conseguir una relación óptima entre la amplitud del haz y la sensibilidad de la antena.

Los métodos dominantes para la toma de lectura de un sensor tipo radar son:

- Radar de pulsos.
- Radar de frecuencia modulada y onda continua (FMCW).

El primero genera pulsos cortos de microondas que se propagan a la velocidad de la luz (C), y mide la diferencia del tiempo de retardo cuando recibe dicha señal emitida, la distancia se calcula mediante:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Por otro lado el Radar FMCW utiliza una señal de amplitud constante para hacer un barrido de frecuencia constante en un periodo de tiempo denominado T . Combinando la señal emitida y la recibida para tener como resultado una diferencia de frecuencia que es proporcional a la distancia d que se quiere medir y está dada por:

$$f = t \left(\frac{\Delta f}{T} \right) = \frac{2d}{c} \frac{\Delta f}{T} \quad \text{Ecuación 2}$$

“Un radar típico para medición de nivel se compone de varias etapas de operación en alta frecuencia así como de electrónica auxiliar. Estas unidades son robustas y compactas con el fin de adaptarlas fácilmente a cualquier tanque y tolerar las condiciones del ambiente de trabajo que pueden ser impredecibles” (Ing. CORONEL RICO, 2012). La *Figura 8* presenta un diagrama de bloques de un radar de medición de nivel.

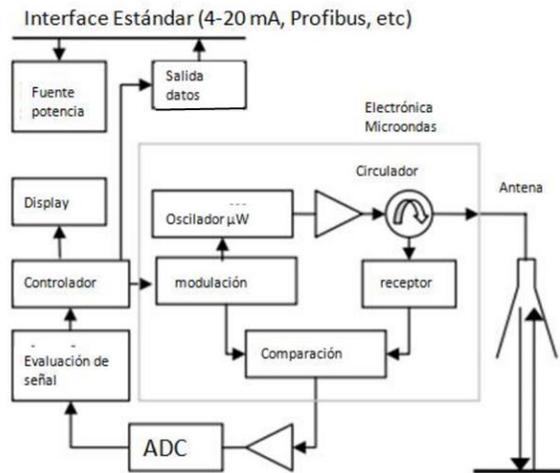
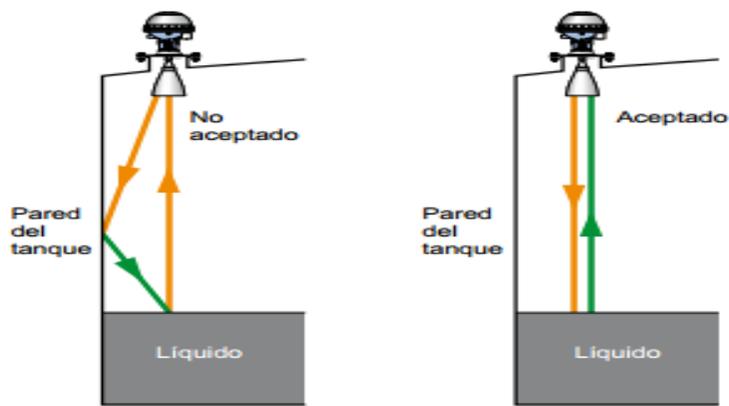


Figura 8: Diagrama de bloques del funcionamiento del sensor de nivel. (Ing. CORONEL RICO, 2012)

En la anterior imagen se muestra el funcionamiento del sensor de nivel tipo radar, dividido por bloques en el que hay una sección externa compuesta por la fuente de potencia, salida de datos, Display para la visualización en sitio, un circuito controlador, un circuito controlador o evaluador de señal, un conversor análogo digital (ADC) para garantizar la fidelidad de la señal leída por el sensor; la sección interna quien se encarga de establecer el pulso continuo de ondas de radar. Para generar dichos pulsos, se tiene integrado un oscilador de alta frecuencia, la cual es amplificada, enviada hacia el radar para generar el haz o pulso de ondas y es comparada continuamente garantizando una buena lectura.

La efectividad de la medición del sensor está centrada en la correcta instalación, su ubicación es clave a la hora de poder obtener con precisión los datos que se requieren tomar. El sensor debe estar preferiblemente en el centro del tanque a medir para evitar choques de la señal con la pared del tanque y obtener una lectura errada (Rosemount Tank Radar AB, 2007). La posición del sensor se debe hacer tomando en cuenta la apertura máxima del pulso que envía el sensor cuando se desea obtener el nivel mínimo del tanque. En la *Figura 9* se aprecia el haz del sensor cuando hay una correcta o incorrecta instalación del sensor; es prescindible tener a nivel los sensores cuando son posicionados en el lugar de acople.



a) Instalación incorrecta b) instalación correcta

Figura 9: Instalación del sensor. (Rosemount Tank Radar AB, 2007)

El haz emitido por el sensor tiene un ángulo de apertura que define el área que cubre respecto a la distancia a medir. Esto para tener en cuenta al momento de posicionar el sensor en la superficie del tanque y tener mejor lectura del radar sin que esta se vea afectada por choques de las ondas emitidas con las paredes del tanque. En la *Figura 10* se especifica el diámetro del haz y su respectivo ángulo (Rosemount Tank Radar AB, 2007).

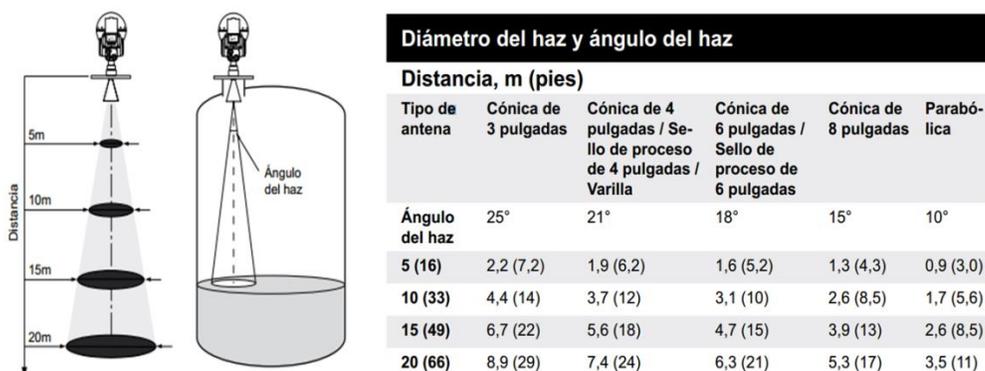


Figura 10: Diámetro del haz y ángulo del haz de las antenas. (Rosemount Tank Radar AB, 2007)

4.1.3. Sensor a usar para el prototipo

En el prototipo desarrollado se utilizó un sensor ultrasonido el cuál cumple la misma función que el sensor tipo Radar anteriormente mencionado. Este sensor es el PING))) Ultrasonic Distance Sensor #28015 PARALLAX (*Figura 11*). Este

sensor ofrece mediciones de distancias precisas sin contacto de aproximadamente 2cm a 3m. Es fácil de usar en sistemas microcontrolados, requiriendo sólo un pin de E / S (PARALLAX, 2014).



Figura 11: Sensor ultrasónico ping))) parallax. (PARALLAX, 2014)

4.1.3.1. Funcionamiento del sensor. El sensor ultrasónico PING))) parallax funciona con una onda de sonido con frecuencia por encima de la audición humana, que es generada durante un tiempo determinado estas ondas al rebotar en el objeto a medir, generan un eco que regresa al sensor y así activar la salida (PARALLAX, 2014). Mediante la medición del ancho de impulso de eco, la distancia al objetivo se puede calcular fácilmente.

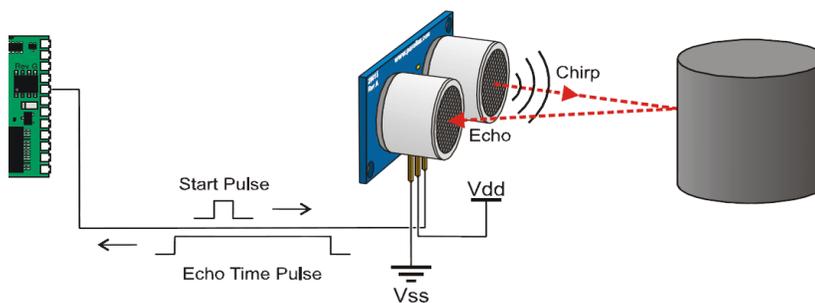


Figura 12: Funcionamiento del sensor ping))). (PARALLAX, 2014)

La *Figura 12* se aprecia cómo la onda del sensor que envía un breve impulso de sonido con su parlante ultrasónico activándolo desde el pin habilitado desde el microcontrolador, esto hace posible que en el tiempo que tarda el eco en regresar se escucha en el micrófono ultrasónico.

El microcontrolador inicia enviando un pulso en el pin de “eco” del sensor para comenzar la medición. Entonces, el microcontrolador espera el tiempo en que el pin se active para determinar la duración de retorno del pulso. La onda de sonido que envía el sensor es de 40KHz. El pin es activado durante un corto tiempo, al instante que el micrófono ultrasónico detecta el eco de retorno.

La medición de la distancia depende del tiempo que tomó la onda de sonido en viajar hacia el objeto y retornar al sensor. Con este tiempo y con la velocidad del sonido podemos establecer la distancia medida del objeto en posición utilizando la ecuación 1 antes mencionada.

4.1.3.2. Especificaciones técnicas. El sensor ultrasónico Ping))) parallax lo único que necesita son 3 cables que facilitan su conexión para hacerlo trabajar. Internamente posee componentes que hacen que este sensor esté protegido contra errores de programación y de inversión de cables en la conexión. En esta medida no es necesario colocar ninguna resistencia para limitar la corriente entre el pin SIG y Vcc (PARALLAX, 2014).

- Rango de medida: 2 cm to 3.
- Pulso TTL Bidireccional en un solo pin I/O con, puede comunicarse con 5v.
- Puede operar con Microcontroladores a 3.3v tecnologías CMOS.
- Pulso de entrada: pulso TTL positivo, 2 μ s min, 5 μ s.
- Pulso Eco retorno: Pulso TTL positivo, 115 μ s. Eco máximo 18,5ms.
- Voltaje de alimentación: +5 VDC.
- Corriente: 30 mA typ; 35 mA max.
- Comunicación: Puso positivo TTL.
- Configuración de pines: 1ground, 2 v+, 3 Señal (ver figura 12).
- Temperatura de operación: 0 – 70° C.
-

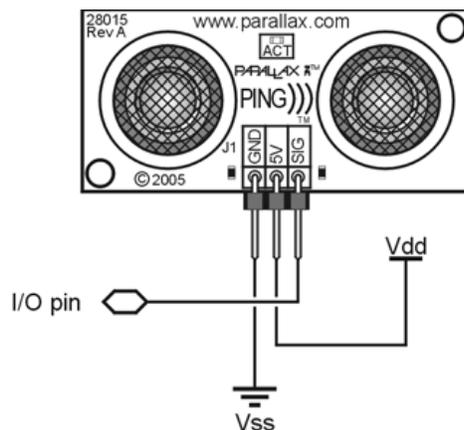


Figura 13: Configuración de pines. (PARALLAX, 2014)

4.1.3.3. Protocolo de comunicación. A continuación se describe el procedimiento para obtener la lectura de distancia medida:

Bajo el control de un microcontrolador se envía un pulso de disparo para que el sensor emita una corta ráfaga ultrasónica de 40 kHz.

Al viajar por el aire la ráfaga y golpear con el objeto rebota hacia el sensor. Aquí el sensor emite un pulso de salida al host que determina cuando termina el eco completo.

La distancia corresponde a la anchura del pulso detectado en el microcontrolador (ver figura 13)

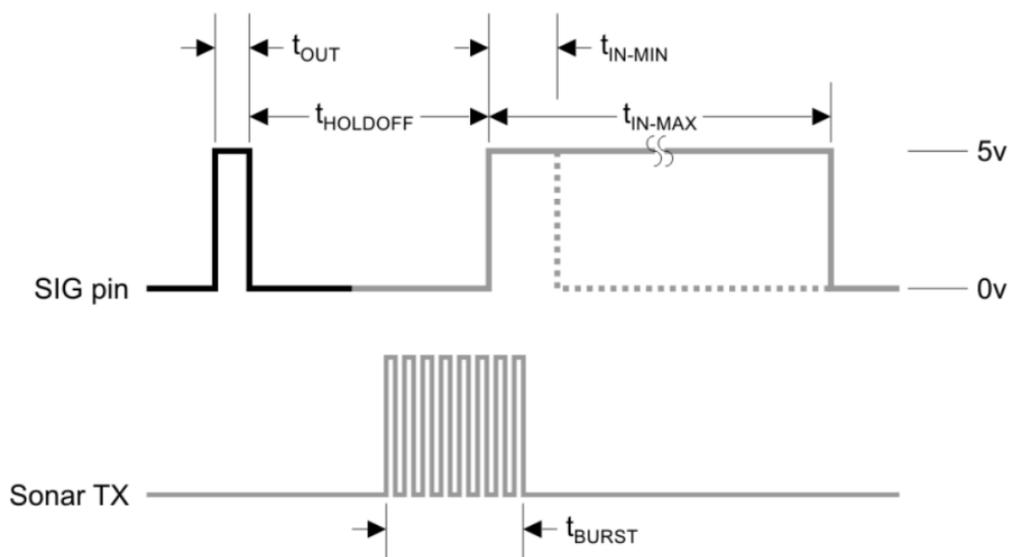


Figura 14: Proceso de comunicación del sensor con el microcontrolador. (PARALLAX, 2014)

A continuación en la siguiente *tabla 6* se exponen los tiempos de retardos a tener en cuenta al momento de programar el pulso de entrada del sensor para que este genere la ráfaga de sonido a emitir por el parlante ultrasónico y así poder recibir el eco enviado por el micrófono ultrasónico. En el programa del microcontrolador el pin destinado para hacer la lectura de estos tiempos debe ser configurado como salida (para dar la orden al sensor de inicio de la lectura) y luego como entrada (esperando que este pin se coloque en alto) para calcular el tiempo que tardó el eco en chocar con el objetivo y retornar.

Tabla 7
Protocolo de comunicación del sensor.

—	Host Device	Input Trigger Pulse	t _{OUT}	2 μs(MIN), 5 μs
—	PING))) Sensor	Echo Holdoff	T _{HOLDOFF}	700 μs
		Burst Frequency	T _{BURST}	200 μs@400 μs
		Echo Return Pulse Minimun	T _{IN-MIN}	115 μs
		Echo Return Pulse Maximun	T _{IN-MAX}	18.5 μs
		Delay before next measurement		200 μs

Fuente: (PARALLAX, 2014)

4.1.4. Dimensiones del tanque de combustible

Cada vez que el haz es emitido el retardo de diferencia en frecuencia es lo que se necesita para hacer el cálculo de nivel de combustible en el tanque a medir. SOPESA SA ESP proporcionó la tabla aforo (**ANEXO A**) como línea base, que actualmente manejan para hacer la toma de medición en la cual se encuentran alguno de los datos para poder calcular la capacidad del tanque y sus dimensiones:

- Capacidad máxima=108.127,80 Gal
- Volumen de fondo es de 4,5cm= 612, 09 Gal. Aquí se encuentra la boquilla de salida de combustible, por lo cual si el combustible llega a este nivel, quiere decir que el tanque está “vacio”. Parte de la línea base es establecida por la empresa para tomar la lectura precisa del nivel.
- Altura referencia= 6,973m.
- Nivel máximo permitido= 6,429m.
- Diámetro promedio= 9m.

4.1.5. Ecuación para cálculo en galones respecto a distancia medida.

La ecuación correspondiente para tomar el dato con el sensor es:

$$\mathbf{Distancia(mm) = -Distancia\ medida(mm) + 6973 \quad Ecuación\ 3}$$

Esto es debido a la posición en la que se encuentra situado el sensor que es en el nivel máximo del tanque, por lo que cuanto mayor sea la distancia que este mida, menor será el nivel de combustible existente.

Para saber la capacidad de volumen de combustible existente tomamos el dato que se calcula con la ecuación 3 y decimos que:

$$\mathbf{Volumen(m^3) = \pi * \left(\frac{9}{2}\right)^2 * \left(\frac{Distancia(mm)}{10000}\right) \quad Ecuación\ 4}$$

Donde 9 equivale al diámetro promedio del tanque.

Por último la cantidad de galones es dada por:

$$\mathbf{Galones = Volumen(m^3) * 264.17 \quad Ecuación\ 5}$$

Posteriormente se mostrará una imagen del prototipo con un dato de lectura y se corrobora que la lectura hecha por el sistema corresponde la ecuación 4 y 5, y nos muestra un rango de error bajo, no superior a +/- 3mm.

4.1.6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Teniendo los valores y ecuaciones correspondientes, se procedió a hacer el análisis de los datos obtenidos del sensor ultrasónico tipo RADAR y así poderlos procesar. El bloque a exponer a continuación es el mostrado en la *Figura 15*.

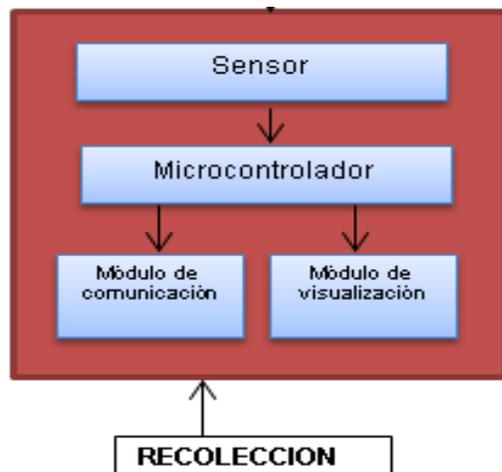


Figura 15: Proceso de recolección de datos.

Para entregar los datos procesados por el sensor, se procede a utilizar un microcontrolador como el encargado de procesar la información como se ve en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*** a continuación.

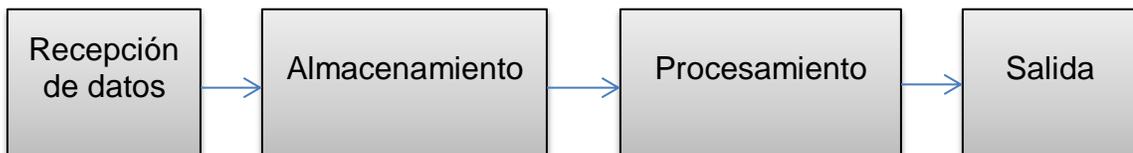


Figura 16: Procesamiento de la señal por parte del microcontrolador.

En esta etapa por bloques se especifica que el ingreso del dato se realiza mediante el sensor utilizado, y a la vez es quien establece la distancia que hay entre el sensor y el nivel de combustible para ser almacenado y procesado seguidamente por un Microcontrolador.

Teniendo en cuenta los requerimientos básicos del proyecto y la señal que arroja el sensor de nivel, se determina las características técnicas necesarias que debe tener el Microcontrolador a usar. En este orden, se evalúan tres marcas de Microcontroladores que se encuentran comúnmente en el mercado, considerando los mejores de cada fabricante para establecer el más adecuado. En la siguiente tabla se establecen las especificaciones técnicas más comunes de los Microcontroladores.

Tabla 8
Especificaciones técnicas de Microcontroladores.

Especificaciones	ARDUINO ⁹	PIC ¹⁰	MOTOROLA ¹¹
Microcontrolador	ATmega328	PIC18f4550	MC68H©C908JL3
Voltaje Operativo	5 V	5V,3.3V	5V
voltaje de entrada (Recomendado)	7-12 V	2.0 a 5.5 volts	3 a 5V
voltaje de entrada (Limite)	6-20 V	2.0 a 5.5 volts	3 a 5V
Pines Digitales E/S	14 (6 son pines PWM)	34(2 son pines PWM, 4 son Timmer)	20(2 son pines PWM)
Pines de Entrada Analógica	6	13	8
Corriente continua para pines E/S	40 mA	25 mA	25 mA
Memoria Flash	32 KB (Atmega328)	32 kB	4096
SRAM	2 KB (Atmega328)	1024	128
EEPROM	1 KB (Atmega328)	2048	256
Velocidad del Reloj	16MHz	Hasta 48MHz	20 MHz

Fuente: tabla basada en (València, 1996)

Después de haber analizado los datos de la tabla anterior a continuación se exponen las diferentes ventajas y desventajas que tendría el uso de estos dispositivos en la *Tabla 9*.

⁹ ARDUINO <http://www.arduino.cc/es/>

¹⁰ PIC <http://www.microchip.com/>

¹¹ MOTOROLA <http://www.freescale.com/>

Tabla 9

Ventajas y desventajas de los diferentes Microcontroladores.

MICROCONTROLADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ARDUINO	<p>Al tener un entorno de programación simple y directa, permite que sea implementado en el proyecto sin mayores complicaciones.</p> <p>Tiene un Software y un Hardware ampliables y de código abierto lo que significa que tienen licencia libre, es muy asequible para la implementación del proyecto.</p>	<p>El código generado puede ser en ocasiones de gran tamaño debido al mapeado que se hace de pines por pines por pines por tipo.</p> <p>En un proyecto complejo se podría quedar sin capacidad en la memoria.</p>
MICROCONTROLADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PIC	<p>Es uno de los Microcontroladores más populares en el mercado es muy fácil acceder a información en libros y foros lo que representa una gran ayuda para solucionar problemas eventuales en el proyecto.</p> <p>Al tener gran variedad de modelos con diferentes capacidades de memoria es más fácil encontrar aquel que se adecue a las necesidades de nuestro proyecto. Utiliza lenguaje C y Assembler.</p>	<p>Se necesita un programador externo implementados por su fabricante Microchip, para poder programar el Microcontrolador. Su memoria es limitada ya que si se requiere procesar mucha información es necesario utilizar una memoria externa.</p>
Motorola	<p>Tiene amplios recursos es simple y de muy fácil manejo es muy útil a la hora de su implementación en el proyecto debido a su amplia trayectoria en el mercado.</p>	<p>Muchos de sus recursos no son accesibles de forma simultánea, es muy probable que exista un conflicto a la hora de utilizar la memoria externa de algunos de sus pines.</p>

Al observar cada una de las ventajas y desventajas de los Microcontroladores expuestos en la anterior tabla, se descarta el Microcontrolador Motorola puesto que su capacidad de memoria es muy limitada, el microcontrolador Arduino, el cual posee un Microcontrolador ATMEGA328 podría ser una opción para el procesamiento de la señal ya que el software de programación es libre, es

compatible con el protocolo Zigbee y el lenguaje de programación es en C, pero sus pines de entrada/salida son limitadas también y su memoria al momento de querer expandir la lectura a futuro, no de un solo tanque, sino de varios al mismo tiempo e inclusive hacer otras funciones utilizando el mismo componente. Por consiguiente el *microcontrolador PIC de Mocrochip (Figura 17)*, es un integrado compatible con el protocolo zigbee, que como se ha dicho anteriormente es el que se usara para la transmisión de la información, el PIC posee un lenguaje de programación flexible ya que quienes no estén actualizados con la programación en C o en C# pueden utilizar la programación el lenguaje *ASSEMBLER*. Por esto permite que cualquier persona que tenga un leve conocimiento de electrónica y programación pueda utilizarlo. Tiene la posibilidad de ampliar sus funciones por la cantidad de pines entrada/salida que posee y su tamaño superior a los demás en memoria. Este integrado viene en encapsulado para montaje superficial reduciendo el tamaño del circuito a implementar.



Figura 17: Microcontrolador PIC 18f4550 SMD

Siguiendo el diagrama descrito en la *Figura 18* se procedió a implementar la forma de almacenamiento de los datos, por lo tanto , se implementó un “*Back Up*”, como un método de respaldo en el que registrará la información de los últimos 120 datos dado el caso que la transmisión inalámbrica llegase a fallar en algún momento. Para el registro y almacenamiento de la información de forma local se implementó la utilización de la memoria EEPROM interna del Microcontrolador con capacidad suficiente para esta función.

4.2. DESARROLLO DE LA ETAPA DE TRANSMISIÓN.

Para la adquisición de la información, de forma continua procesada por el Microcontrolador y con el propósito de enviarla al centro de monitoreo, se procedió a implementar la etapa de transmisión, teniendo en cuenta el siguiente parámetro: la comunicación inalámbrica debe ser de tipo bidireccional entre el instrumento de medición ubicado a una distancia determinada (1km sin línea de vista) y la

estación de monitoreo, por lo que se requiere el protocolo Zigbee, que además permitirá controlar que la transmisión de los datos de manera segura.

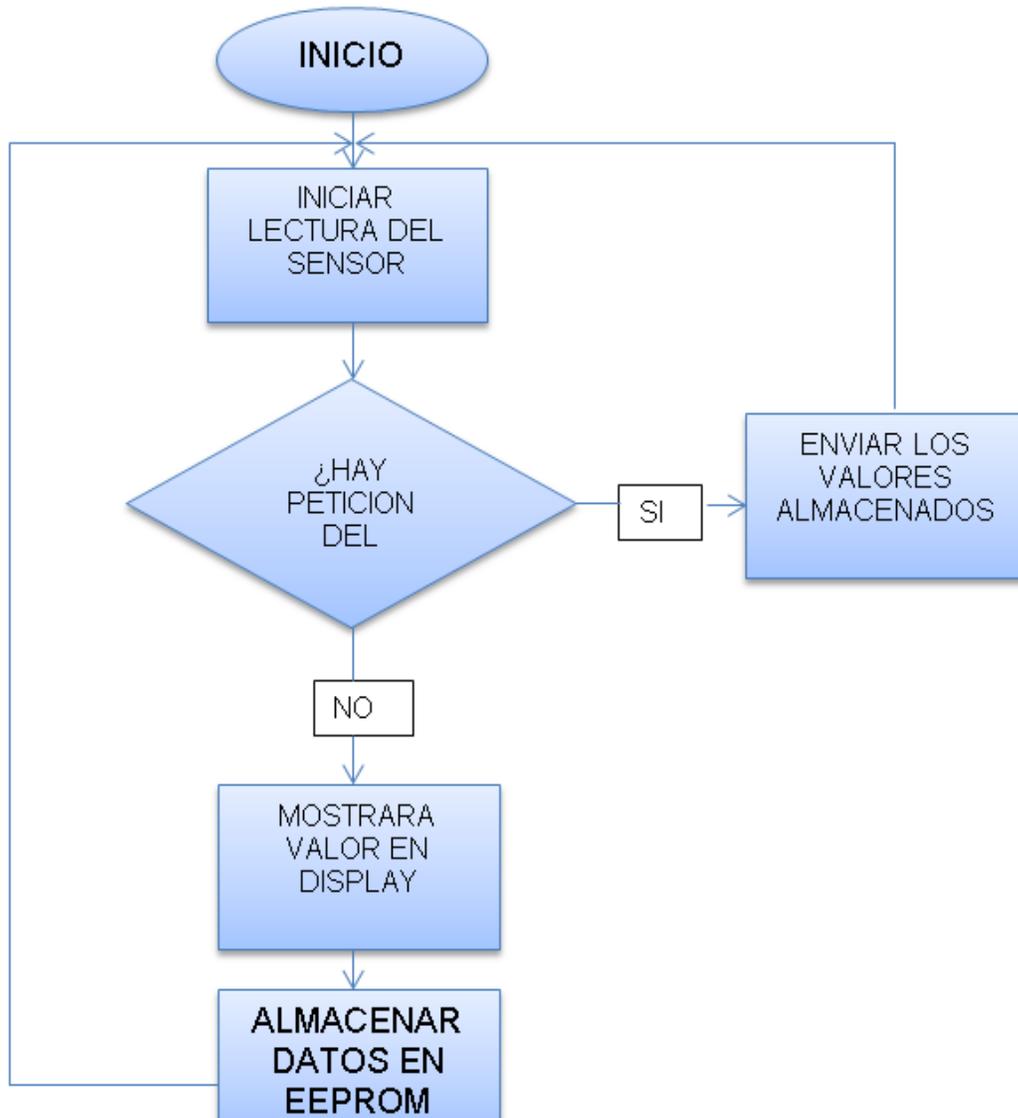


Figura 18: Diagrama de flujo procesamiento de datos del sensor por el microcontrolador PIC.

Al transmitir los datos utilizamos el protocolo de comunicación MODBUS, este nos da buenas garantías a la hora de transmitir los datos desde el módulo que hace la lectura hasta la zona donde se van a visualizar los datos. Este protocolo como se mencionó anteriormente utiliza en sus tramas chequeo de error en la transmisión y recepción de la información requerida. No obstante se requiere utilizar un módulo

para transmitir de forma eficaz los datos adquiridos y procesar las órdenes solicitadas por el mando local donde se encuentra ubicado el dispositivo maestro.

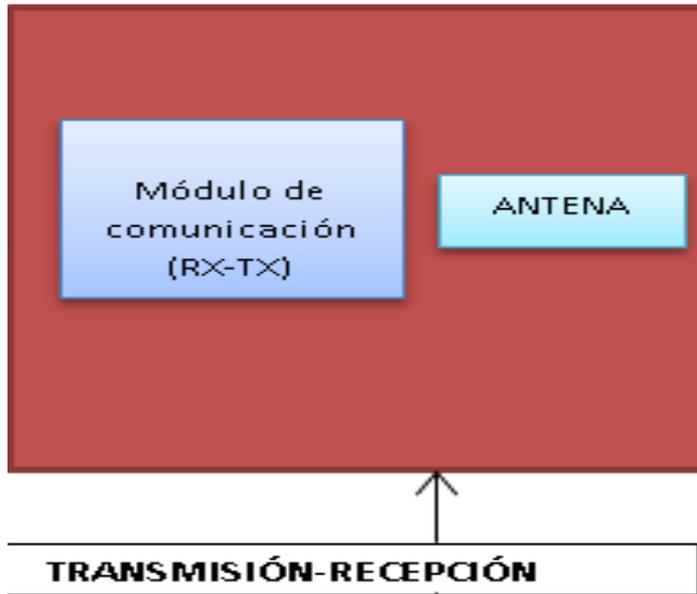


Figura 19: Etapa de transmisión.

Es bueno señalar que el estándar ZigBee posee las siguientes especificaciones:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de los mismos.
- Alcance cortó (típico menor a 50 metros).
- Optimizado para ciclo efectivo de transmisión menor a 0.1 %
- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps (Ing. CORONEL RICO, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a evaluar los diferentes módulos de comunicación existentes en el mercado que utilizan el protocolo *Zigbee* y que además sean de fácil consecución en el mercado, tales como Wi-Fi, RF (Radio Frecuencia) y *Bluetooth*. Cada uno de estos está desarrollado para una clase de aplicación determinada.

Tabla 10

Ventajas y desventajas de los módulos de comunicación.

Módulos de comunicación	Ventajas en el proyecto	Desventajas en el proyecto
RF (Radio Frecuencia)	<ul style="list-style-type: none"> • Provee a los usuarios acceso a la información en tiempo real. • Es rápida y fácil de instalar. • sin cables. • Fácil de modificar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta interferencias. • Si la antena es obstuida se pierde la señal
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> • Es rápida y fácil de instalar. • minimiza la necesidad de cables. • variedad de topologías en instalación. • Las configuraciones son flexibles. • Mayor cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> • No es muy segura. • Costos elevados.
BLUETOOTH	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la conexión de varios dispositivos. • Se pueden crear pequeñas redes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de datos reducida. • Velocidad de transferencia baja. • Poco alcance.

Mediante el análisis de las ventajas y desventajas cada uno de los módulos, para el proyecto, se llega a la conclusión de que para realizar una transmisión de datos se necesita una distancia de 350m aproximados desde el lugar de toma de datos hasta la estación de monitoreo. Por lo cual, con Bluetooth no es posible, ya que su rango de alcance es de 10m, una distancia muy corta para los requerimientos del proyecto. Puede haber posibilidad de conexión LAN pero la distancia igual no es la suficiente ya que habría que colocar varios puntos de acceso y es un dispositivo para un flujo de datos muy grande y sería subutilizado en esta tarea. Una red Wi-Fi, sería muy costosa para el flujo de datos pequeños, aunque cumple con los requerimientos de alcance, sería también subutilizada. Por los motivos anteriores se procedió a escoger un módulo de Radio Frecuencia XBEE Pro ya que es de bajo costo, su alcance es el suficiente para cumplir con la demanda del proyecto. Este elemento, a diferencia de otros RF, tiene un rango de alcance de hasta 1.5 Km como se presenta en la *Tabla 11* de especificaciones técnicas.

Tabla 11
Especificaciones de los módulos de comunicación Xbee

Especificaciones	XBEE	XBEE-Pro
Performance		
<i>Indor/Urban Range</i>	100 ft (30m)	300ft (90m) a 200ft (60m)
<i>Outdoor RF line of site range</i>	300ft (90m)	1mile (1600m) a 2500ft (750m)
<i>Transmito Power Output</i>	1mW (0dBm)	63mW (16 dBm)
Especificaciones		
<i>RF data Rate</i>	250.000 bps	250.000 bps
<i>Serial Interface Data Rate</i>	1200 bps-250 kbps	1200 bps-250 kbps
<i>Receiver Sensivity</i>	92 dBm	100 dBm
Power Requirements		
<i>Supply Voltages</i>	2.8 a 3.4 V	2.8 a 3.4 V
<i>Transmit Current</i>	45 mA	250 mA
<i>Receive Current</i>	50 mA	55 mA
<i>Power Down Current</i>	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
<i>Operating Frecuency</i>	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
<i>Dimensions</i>	0.960" X 1.087"	0.960" X 1,297"
<i>Operating Temperature</i>	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C
<i>Antenna Options</i>	Chip o conector U-FL, conector RPSMA.	Chip o conector U-FL, conector RPSMA.
Networking & Security		
<i>Supported Network Topologis</i>	Point to Point, Point ti Multipoint, Peer to peer	
<i>Number of Channel</i>	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
<i>Addressing Options</i>	PAN ID, Channel and address	PAN ID, Channel and address

Fuente: Tabla adaptada del documento (BERNAL HERNÁNDEZ, LAGOS RODRÍGUEZ, & OSPINA LÓPEZ, 2013).

La referencia escogida para el módulo de transmisión Zigbee es la XBEE PRO 802.15.4 RF serie 2, ya que presenta una potencia de salida de 60mW (18dBm), la sensibilidad del receptor es de -100dBm, tiene un alcance de 1km en espacios abiertos y hasta 300m en urbanos. Cabe señalar que estos módulos también se pueden utilizar en configuraciones de red tipo punto-multipunto y broadcast para

tener mayor cobertura (Inc, Xbee/Xbee-Pro ZB RF Modules, 2014). El módulo que se utiliza es el el XbeeProS2 mostrado en la *figura 19*.



Figura 20. Representación del XBee Pro. (Inc, Xbee/Xbee-Pro ZB RF Modules, 2014)

En la *figura 20* podemos observar el que las conexiones que se requiere el módulo Xbee ProS2 son mínimas. Conexiones suficientes para la configuración del módulo en el modo de operación que requiera el usuario.

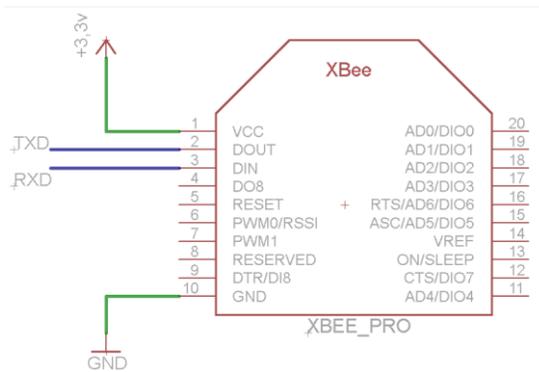


Figura 21: Conexiones del módulo Xbee.

La alimentación requerida para el funcionamiento del módulo va desde 2.8 - 3.4 V, la conexión a tierra y dos hilos de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para establecer la comunicación Microcontrolador, o directamente a un puerto serial rs232 o rs485 para aumentar los niveles de voltaje en caso al que se requiera para mejorar la señal.

4.2.1. CONFIGURACION DE LOS MODULOS XBEE PRO.

La conexión tipo maestro- esclavo de los módulos Xbee es la conexión ideal para reemplazar comunicación serial por un cable. Para esto sólo se configura la dirección o el canal por donde ambos dispositivos van a trabajar. Esta dirección se define arbitrariamente para los dos módulos. Cuando el Maestro solicita enlace con el esclavo este envía una pequeña trama de aviso al receptor, el módulo receptor del mensaje (Esclavo), posteriormente envía un paquete al módulo de origen llamado ACK (viene de Acknowledge) que indica que el mensaje se recibió correctamente.

Los módulos Xbee deben ser configurados antes de ponerlos en función y esto es posible mediante el programa free X-CTU, el cual es una herramienta registrada por *Digi International Inc* (Inc, XCTU Next Generation Configuration Platform for Xbee, 1996-2014); Software de libre acceso. En este software, además de configurar los módulos con los parámetros requeridos por el usuario para la red, se pueden realizar pruebas de funcionamiento y conexión de los dispositivos. Al abrir el programa XCTU nos muestra la siguiente ventana de la *Figura 22*. Luego de tener esta ventana procedemos a configurar los dispositivos. El procedimiento de configuración es el siguiente:

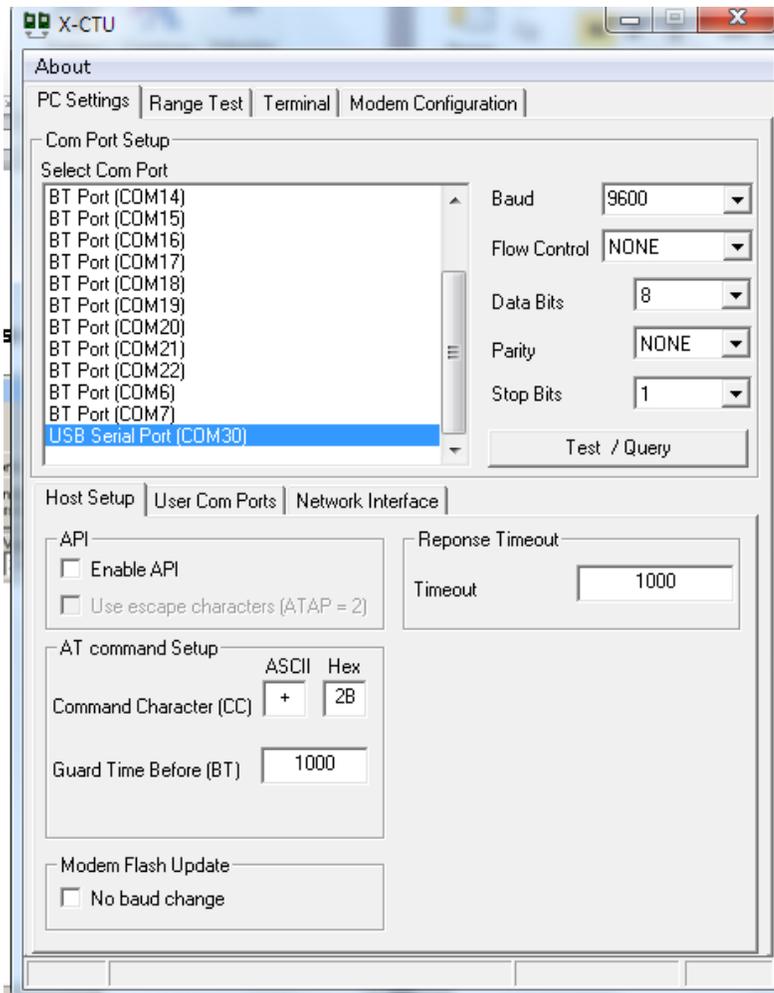


Figura 22: Configuración del XBee.

En esta ventana seleccionamos el puerto donde está conectado nuestro dispositivo Xbee y chequeamos que el enlace está hecho presionando el botón *Test/Query*. Luego, procedemos a configurar teniendo en cuenta los parámetros indicados en la **Tabla 12 Configuración de XBee** donde se establecen los parámetros de trabajo de los módulos, quien será coordinador (Maestro) y quien router (esclavo). Para esto se debe tener en cuenta los comandos MY para el coordinador y DL para el router. Los valores que estos comandos pueden tener son 1 para habilitar o 0 para deshabilitar la función.

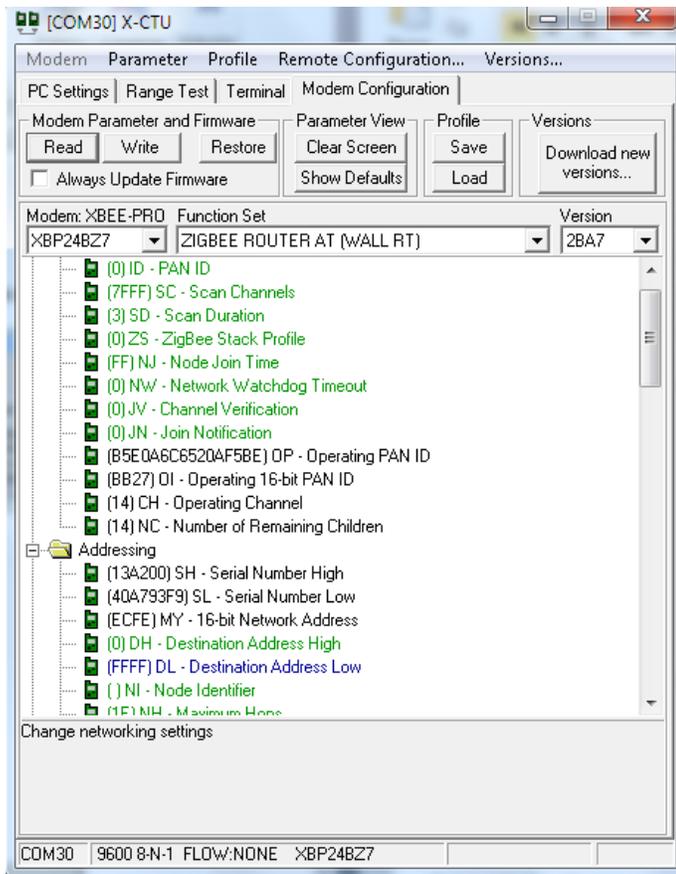


Figura 23: Configuración de los parámetros del XBEE.

Tabla 12
Configuración de XBee.

Configuración	Coordinador	Router
Pain ID: Dirección o canal de trabajo	9015	9015
SH: dato serial alto	13A200	13A200
SL: dato serial bajo	40A793F9	40A793FE
DH: direccinamiento alto16bits	0	0
DL: Direccinamiento bajo 16 bits	0	1
MY: Direccinamiento 64 bits	1	0

El Xbee configurado como coordinador va situado en el circuito con el maestro, quien a su vez hace la petición de los datos de nivel del esclavo. EL módulo Xbee en modo Router (esclavo) es el encargado de transmitir la información a la estación de monitoreo donde se encuentra el maestro.

Con los dos módulos configurados previamente, se hace el acople del Microcontrolador con el Xbee, presentado en el **ANEXO C y ANEXO D**.

Teniendo el acople listo y la configuración de los módulos Xbee, se establece que no es necesario la utilización de ninguna antena especial para obtener el alcance permitido, puesto que no hay bloqueo de la señal por parte de ningún edificio o estructura como se muestra en la *Figura 24*.



Figura 24: Distancia promedio para la transmisión de los datos.

El tipo de antena a utilizar en ambos módulos (Maestro y esclavo), son de tipo omnidireccional como se especifica en la *Tabla 13*. Puesto que la ganancia requerida y la potencia de la antena no es mucha, se escoge este tipo de antena para abarcar la cobertura que se requiere y así establecer la comunicación entre las dos estaciones sin perder transmisión por obstáculos en línea de vista; la distancia para el enlace es lo suficiente para hacer uso de este tipo de antena.

Tabla 13
Especificaciones técnicas de las antenas.

ESPECIFICACIONES	ANTENA OMNIDIRECCIONAL
Rango de frecuencia	890-960 MHz
Ganancia de señal	2.5 dBi
Número de elementos	1
Longitud de antena	0.58 m.
Peso	0.60 Kg
Resistencia al viento	240 Kmph
Ancho de Haz vertical	15
Ancho de Haz horizontal	360
WSWR	Menor a 1,5
Polarización	Vertical
Protección a descargas eléctricas	D.C tierra
Tipo de cable	50 Ohms
Longitud de cable	NA
Conector	NA

4.3. ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN (Figura 24).

En la siguiente etapa se describe la forma como son visualizados los datos capturados por el sensor, inicialmente en un Display LCD 16x2 (**ANEXO E**) local donde se encuentra el esclavo y posteriormente en la estación de monitoreo donde los datos de nivel son transmitidos. La información debe ser visualizada por medio de un aplicativo que fue diseñado para la recepción y almacenamiento de los mismos. Se diseñó un aplicativo en Visual Basic que es un software libre para visualizar en la estación de monitoreo los datos la empresa SOPESA SA ESP no permite utilizar el software que actualmente tienen por políticas internas y restricción a personal que sólo labora en la empresa y con acceso al mismo.



Figura 25: Bloque de Almacenamiento y visualización.

Visual BASIC 2010 fue utilizado para desarrollar la interfaz, debido a que es un entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos de Windows, y además soporta lenguaje de programación en C como la mejor alternativa para darle solución a esta etapa de monitoreo y visualización de la información que transmite el dispositivo local esclavo que transmite los datos.

La función principal de la interfaz gráfica desarrollada es capturar los datos de nivel de combustible, con el nombre del tanque leído, fecha y hora en tiempo real. Estos datos se visualizarán en un ambiente fácil de entender por el operario en forma de textos, números y gráficos. La aplicación le indica al operador si el sistema está conectado y en que puerto de comunicación como se muestra en la *Figura 26*; luego genera un mensaje de advertencia y confirmación de conexión del dispositivo antes de iniciar la lectura (ver *Figura 27*); por último el botón lectura da inicio a la solicitud al dispositivo esclavo para iniciar la lectura y mostrar los datos de forma gráfica en un cilindro, representación del tanque, y en una lista mostrando el valor de la lectura con la fecha y hora respectiva (ver *Figura 28*).



Figura 26: Selección de puerto.



Figura 27: Confirmación de lectura.



Figura 28: Visualización de datos de lectura.

Para garantizar la buena lectura y evitar al máximo la pérdida de información, fue necesario crear un subprograma (*Figura 29*) en la estación de monitoreo local entre el PC y el módulo maestro para requerir la información del esclavo, donde el programa le indica al microcontrolador PIC 18f4550 (que contienen ambos módulos maestro y esclavo) que envíe la información a través del Xbee cuando el PC lo solicite. El microcontrolador también tendrá un subprograma (ver *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) que guardará el mismo "Back UP" que tendría el esclavo en caso tal que se pierda la comunicación y así poder ser recuperada por la estación de monitoreo.

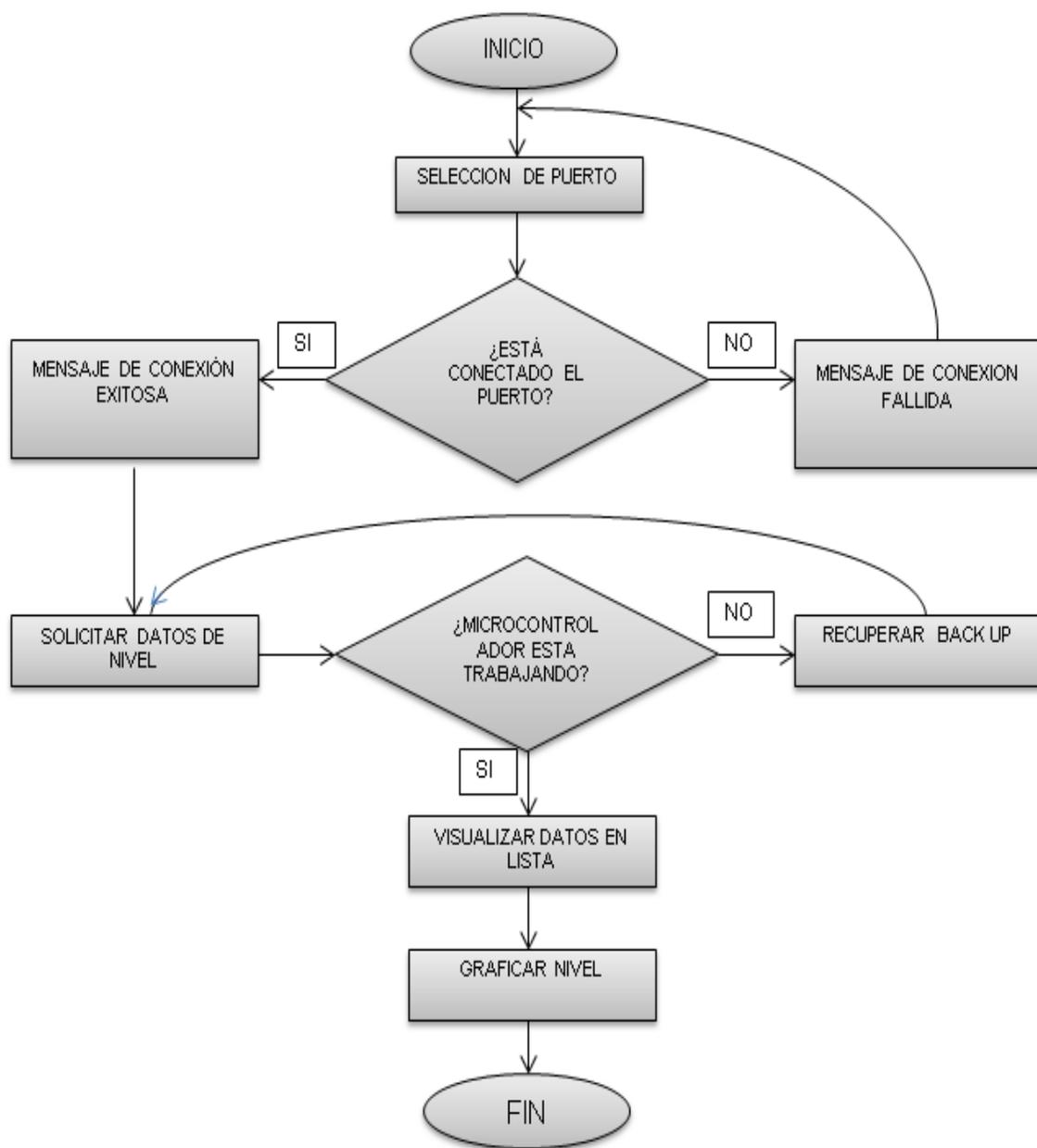


Figura 29: Diagrama de flujo del subprograma de Visual BASIC.

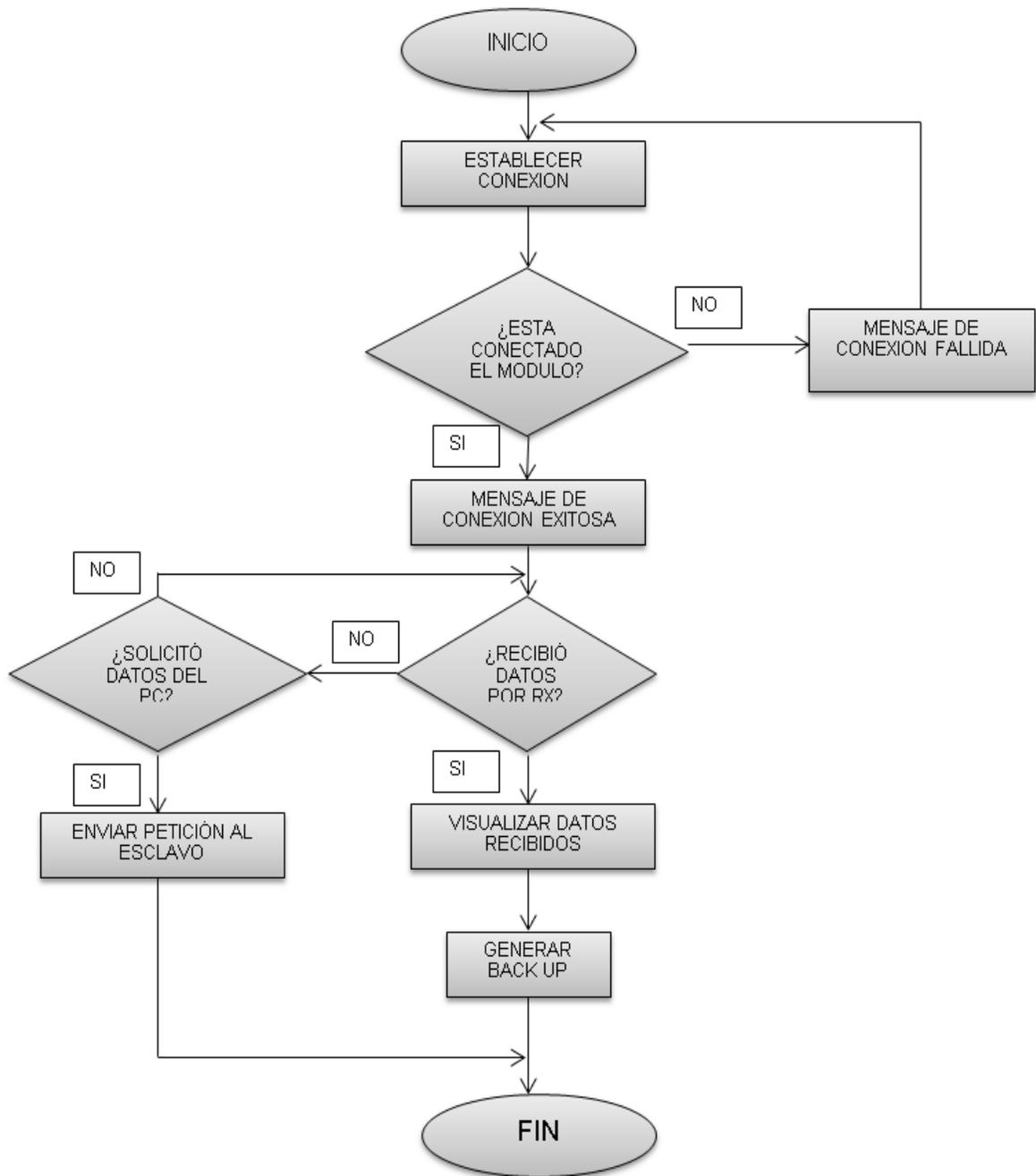


Figura 30: Diagrama de flujo del subprograma Microcontrolador.

4.4. FASE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO.



Figura 31: Panel solar.

Por último se implementó un sistema fotovoltaico con un panel solar (*Figura 31*), haciendo uso de energías renovables como la radiación solar para darle un buen manejo en el consumo y no depender continuamente en la energía suministrada por tomas de corriente, sino en el caso que lo requiera cuando no haya radiación solar suficiente para alimentar el circuito, principalmente para el módulo de campo (el esclavo).

Se debe asegurar que el sistema fotovoltaico genere la energía necesaria para el funcionamiento óptimo en el peor de los casos cuando la radiación solar sea mínima durante el día. Por lo cual, el tamaño que debe tener el panel solar como la batería del sistema fotovoltaico autónomo, depende del consumo de energía de los elementos que componen el sistema de medición y transmisión de datos, la potencia nominal de cada una (P), el número de aparatos de determinado tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t). El consumo diario (C_d), medido en Wh/día, para cada tipo de carga se calcula entonces de la siguiente forma (WOLFGANG, 1978)

$$C_d = P * n * t \left(\frac{Wh}{día} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Los datos de las cargas que conforman el sistema de transmisión y medición, la potencia total del sistema y el consumo eléctrico diario aproximado se calcula con base a una estimación referente a las horas de trabajo promedio de cada una de los componentes, como se muestra en la **tabla 13**.

El factor de seguridad del sistema fotovoltaico es de un 30% para disponerlo contra sobrecargas y no dañe el sistema. El consumo de energía que utiliza el sistema de medición y transmisión se obtiene a partir de la suma de los productos de las potencias de cada uno de los elementos por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno (WOLFGANG, 1978).

Tabla 14

Energía que consume cada uno de los elementos del sistema.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (v)	Corriente (mA)	Potencia (w)	Horas de uso día	Consumo en watts día [C _d]
Microcontrolador PIC 18f4550	1	12	4	0,048	24	1.152
Xbee	1	3,3	265	0.844	12	10.128
Led	2	5	30	0.144	24	6.912
Resistencia	2	5	0.125	0.625	24	15
Antena	1	3.3	0.5	0.0016	12	0.019
					30%	33.211

Fuente: tabla basada en el artículo: Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares tomada de (ARRIETA. Mario, 2012. pag 97-107).

Los cálculos de las sumas de consumos diarios surgen a partir de la ecuación 6 teniendo en cuenta los datos detallados en la Tabla 14, definiendo así el consumo energético teórico E_t en Wh . Teniendo este valor se calcula el consumo energético real E en Wh , que considera los diferentes factores de pérdida en la instalación del sistema fotovoltaico, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_t}{R} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde

R = Rendimiento global de la instalación fotovoltaica, y está definido por:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \left(1 - \frac{k_d N}{P_d}\right) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

k_b : Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

K_c : Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas

k_v : Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.)

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es

$0,05 < k_v < 0,15$

k_a : Coeficiente de auto descarga diaria de las baterías, los valores típicos son

0,002 para baterías de baja auto descarga (Ni-Cd)

0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)

0,012 para baterías de alta auto descarga (SLI)

N: Días de autonomía de la instalación

4-10 días como valores de referencia

P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería: Esta no deberá exceder el 80% de la capacidad nominal del acumulador

Al remplazar los valores en la *ecuación 8* el rendimiento global del sistema es de **$R = 0.74667$** . Ahora, sustituyendo el valor del rendimiento global obtenido para la carga de corriente continua y el rendimiento global del sistema en la *ecuación 7*, da como resultado que la energía real del sistema es **$E = 44.48 \text{ Wh/día}$** .

Como es de saber el sistema de medición está situado en la Isla de Providencia en el mar caribe cerca al meridiano 82. Lugar con un alto nivel de radiación durante el año. Puesto que ya se conoce el consumo de energía diario del sistema de lectura de nivel y transmisión, se procede a hacer los cálculos correspondientes a la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir la demanda del sistema.

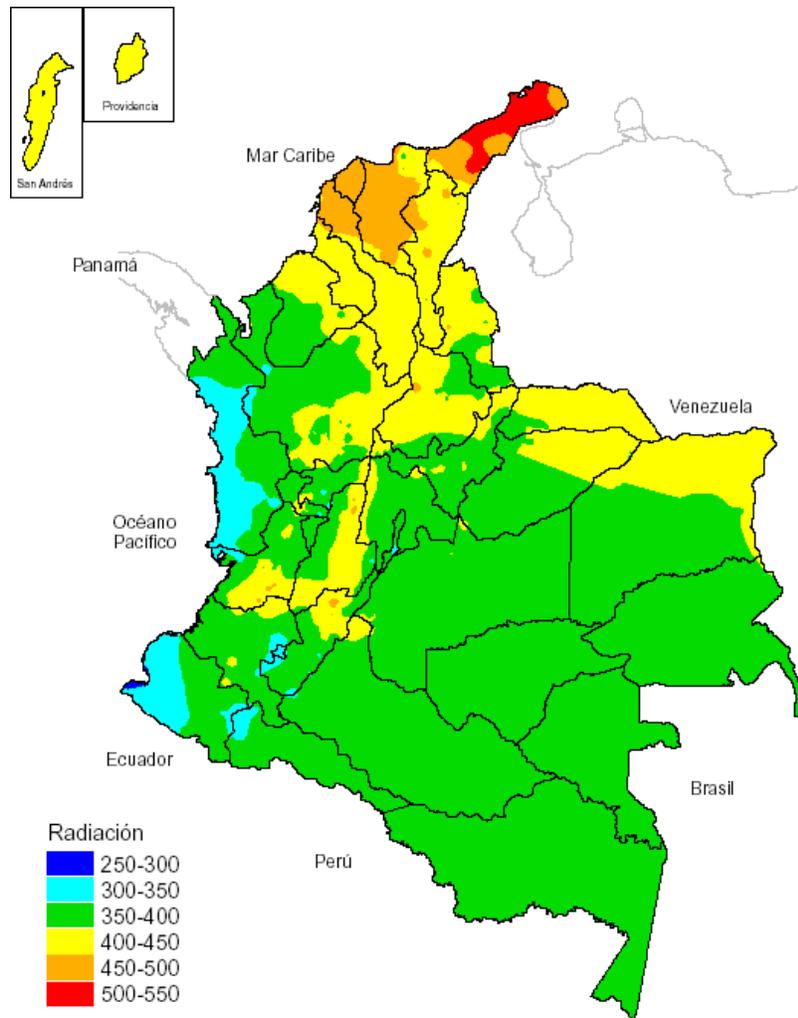


Figura 32: Radiación global de Colombia. Fuente disponible en. (García, 2006)

En la figura anterior se observa la radiación global anual, y providencia isla tiene una radiación comprendida entre 400 Wh/ y los 450 Wh/ m². Para dar seguridad de trabajo del sistema, este se diseñó con base en la condición de operación más baja.

$$C_{radiacion} \cong 4 \frac{kWh}{m^2} \text{ Ecuación 9}$$

Para el diseño del prototipo también se establece el tiempo de luz solar se da en el punto de radiación, con ese valor, que es de 12 horas debido a que el punto está ubicado cerca de la línea ecuatorial, se toman 4 horas de radiación solar directa. Para los cálculos de los paneles solares se toman como día, y radiación solar es

la energía recibida del sol cada m^2 por unidad de tiempo donde 4 horas es el tiempo estimado de radiación solar directa por la NASA para la zona ecuatorial:

$$4KWh/m^2 \times 4horas = 16KWh/m^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$WP = 1200 * \frac{0.076KWh}{16KWh/m^2}$$

$$WP = 5.7 W \text{ pico} \quad \text{Ecuación 11}$$

Para determinar cuántos paneles solares requiere el sistema para cargar las baterías, se toma un panel solar comercial el cual tiene una potencia de 5 Watts entonces

$$\#P = \frac{WP}{W \text{ de los paneles}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\#P = \frac{5.7 W \text{ pico}}{3 W} = 1.9$$

Respecto a los valores calculados se necesitarían 2 paneles solares de 3W de para cubrir las necesidades de carga de la batería. La batería a usar en la estación es de 12V-2A. Vale la pena recordar que los valores obtenidos son para el prototipo presentado, ya que los valores de consumo para el sistema fotovoltaico cambiarían dependiendo del tipo de sensor que en su momento adquiera la empresa al momento de implementar el sistema.

La batería necesita un circuito de carga que mantenga con un regulador (*Figura 33*) durante los periodos de radiación máxima durante el día con la capacidad máxima de energía para abastecer el sistema. Para tener esto, la batería debe tener un voltaje de carga superior al voltaje de la misma, por lo tanto, lo recomendado es 0,8v máx (Company, 2008) por encima de su valor nominal. Para tener este valor, tomamos los datos del panel solar los cuales son:

- Potencia máxima=3 W.
- Máximo voltaje= 18 V
- Máxima corriente= 0.17 A.
- Relé en serie máximo=5 A.
- STC (Standard Test Condition); AM1.5 1kW/m²=25°C.
- Temperatura de operación= -/+47°C.

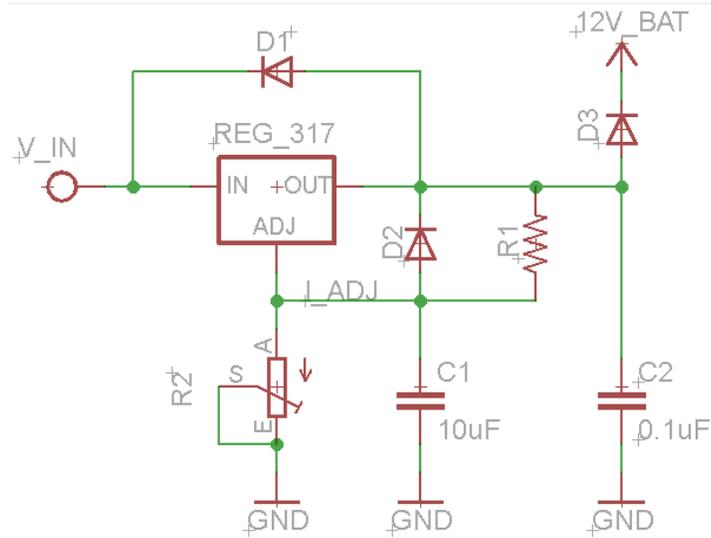


Figura 33: Regulador de voltaje Variable para el sistema fotovoltaico. Fuente tomada del **ANEXO F**.

Ahora tomando el voltaje máximo del panel utilizamos la siguiente fórmula para obtener el valor de salida deseado:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 \quad \text{Ecuación 13}$$

- Voltaje de entrada= 18v
- Voltaje de referencia (Vref)=11 v.
- Voltaje de salida (Vout)= 12.8V
- Corriente de ajuste (Iadj)=133 μ A.
- $R_2=10k\Omega$

La corriente de ajuste se tomó con base en los datos que muestra el cuadro de la *tabla 13*. Donde se debe hallar primeramente la resistencia de carga del circuito R_L de la siguiente forma:

$$R_L = \frac{v^2}{P} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde $v= 12v$ (Voltaje de alimentación) y $P = 0.0016W$ (Potencia del circuito). Reemplazando los valores tenemos:

$$R_L = 90K\Omega$$

Ahora como.

$$I_{adj} = \sqrt{\frac{P}{R_L}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Reemplazamos y obtenemos que:

$$I_{adj} = \sqrt{\frac{0.0016w}{90K\Omega}} = 133\mu A$$

Se procede a hacer los cálculos del regulador para el sistema fotovoltaico tomando los valores antes mencionados, y se despeja R_1 .

$$R_1 = \frac{R_2}{\frac{V_{OUT} - I_{ADJ}R_2}{V_{REF}} - 1} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$R_1 = \frac{10k\Omega}{\frac{12.8v - 133\mu A * 10k\Omega}{11v} - 1} = 23.4042k\Omega$$

Con los datos obtenidos respecto a la cantidad de paneles solares que se necesitan, el tipo de batería escogido y demás, se diseñó una fuente de poder con control de intercambió (**ANEXO F**), la cual se encarga de establecer la fuente de alimentación para todo el sistema de medida de nivel y transmisión del dispositivo esclavo, situado en campo. Este circuito contiene un control que compara el voltaje suministrado por el panel continuamente, de forma que cuándo el voltaje del sistema fotovoltaico sea inferior a 8 voltios, el sistema intercambia automáticamente a la fuente de alimentación primaria de la red eléctrica en la empresa. Este cambio no afecta el funcionamiento del dispositivo porque el sistema de intercambio tiene un condensador que adelanta el voltaje respecto al tiempo durante 4ms (detallado en la *ecuación 25*, tiempo suficiente para mantener el sistema de medición funcionando sin que este se vea afectado. Todo el sistema se puede observar en el **ANEXO F**.

Para el sistema se requiere establecer cuáles son los niveles de voltaje de entrada a comparar y los de salida de un amplificador operacional, como acondicionador de señal, que activan un relé con 2 contactos de 2 posiciones, quien es el

comando que envía el voltaje hacia el sistema de medición del panel fotovoltaico o de la red eléctrica de la empresa.

A continuación se procede a realizar los cálculos de diseño definidos para el comparador del sistema con un comparador de voltajes utilizando un amplificador operacional.

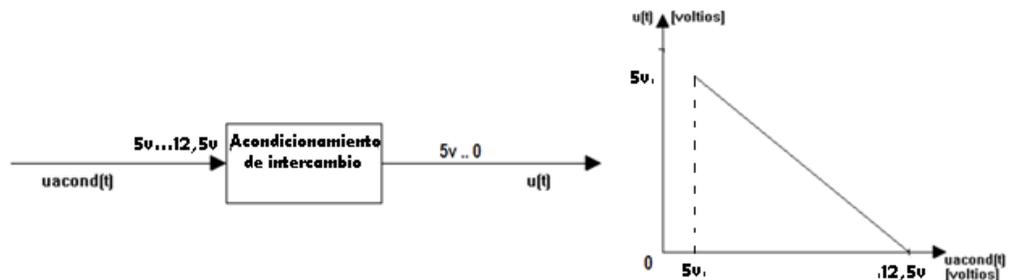


Figura 34: Acondicionamiento de la señal para activar el relé de intercambio.

Para el acondicionamiento del actuador se requiere que nuestra señal de entrada sea de 5 a 12.5v pero como se ve e las gráficas es de 5v a 0 por tal motivo implementamos un circuito restador amplificador (Ver Figura 33).

De acuerdo a la respuesta requerida procedemos mediante la ecuación dela recta para hallar la función del sistema a acondicionar.

$$u(t) = A * Uacond(t) + b \quad \text{Ecuación 17}$$

Como

$$u_{max}(t) = A * Uacond_{max}(t) + b$$

$$b = u_{max}(t) - A * Uacond_{max}(t) \quad \text{Ecuación 18}$$

Reemplazando la [Ecuación 18] en [Ecuación 17] tenemos

$$u(t) = A * Uacond(t) + u_{max}(t) - A * Uacond_{max}(t)$$

$$u(t) = A * [Uacond(t) - Uacond_{max}(t)] + u_{max}(t) \quad \text{Ecuación 19}$$

“**A**” es la ganancia o la pendiente de la recta definida por

$$A = \frac{\Delta U(t)}{\Delta U_{acond}(t)} \quad \text{Ecuación 20}$$

Por lo cual la ecuación general está definida como

$$u(t) = \frac{\Delta U(t)}{\Delta U_{acond}(t)} * [U_{acond}(t) - U_{acond_{max}}(t)] + u_{max}(t) \quad \text{Ecuación 21}$$

Como ya tenemos definido los valores según la *figura 33* se reemplazan los valores

$$u(t) = \frac{0 - 5}{12.5 - 5} * [U_{acond}(t) - 12.5]$$

$$u(t) = -0.667[U_{acond}(t) - 12.5]$$

$$u(t) = 0.667[5 - U_{acond}(t)] \quad \text{Ecuación 22}$$

Ecuación correspondiente a un circuito diferencial con ganancia de 0.667

$$0,667 = \frac{R_f}{R}$$

Si $R_f = 10k\Omega$, $R = 15k\Omega$.

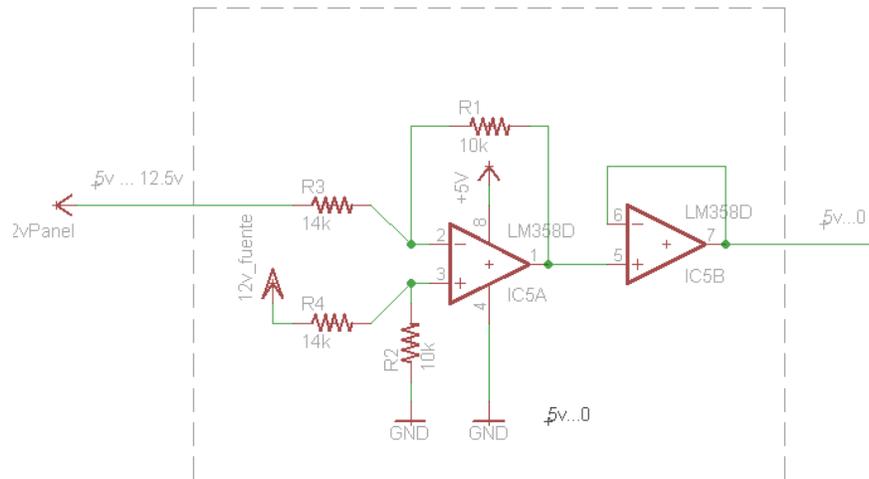


Figura 35: Circuito diferencial con ganancia. Fuente tomada del **ANEXO F**

Habiendo tenido los valores para el diseño del sistema fotovoltaico y el control de intercambio se define colocar un capacitor en la entrada de la carga para que el sistema no se caiga al momento de hacer el intercambio de fuente de alimentación del circuito, teniendo en cuenta los valores de voltaje permitidos para que el sistema no se vea afectado cuando esto ocurra. Para ello se toma la *ecuación 23* descrita a continuación donde se calcula el valor del capacitor que se requiere utilizando la fórmula de Capacitancia (CJ. SAVANT, MARTINS, & CARPENTER, 2000. Pag 30):

$$C = \frac{5 \cdot V_{max}}{\Delta v \cdot 2\pi \cdot f_p \cdot R_L} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde

$$V_{max} = 12.5$$

$$V_{min} = 10$$

T = 4ms, Valor dado por el dataSheet del relé (**ANEXO 7**)

$$f_p = \frac{1}{T} = 250\text{Hz} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$T = \frac{1}{f_p} = 4\text{ms} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$R_L = 90\text{k}\Omega.$$

$$C = \frac{5 \cdot 12.5V}{2.5V \cdot 2\pi \cdot 250\text{Hz} \cdot 90\text{k}\Omega} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$C = 0.1768 \mu\text{F}/25V$$

4.5. PRUEBAS DE VERIFICACION Y VALIDACION DEL SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL DE COMBUSTIBLE Y TRANSMISION.

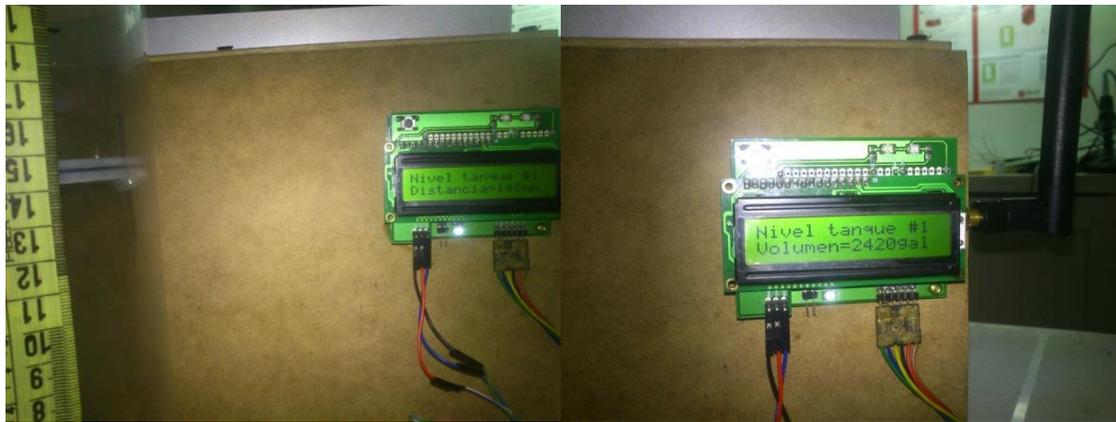
En este proyecto se realizó un prototipo y la construcción del sistema de medición, transmisión y monitoreo probándolo respecto a su funcionamiento y utilidad. Primeramente se debe establecer la precisión del sensor y su respectiva calibración partiendo de las especificaciones técnicas mencionadas del sensor de nivel ultrasónico (ping))) parallax. Para lo cual se debe tener en cuenta la *ecuación 27* y calcular la distancia respecto al tiempo de retardo de la señal.

$$d = \frac{V_s \cdot t}{2} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde d es la distancia a medir, V_s es la velocidad del sonido equivalente a 345m/s y t es el tiempo de retardo. Se toma la mitad porque es la distancia en la cual el eco viaja y rebota del objeto hacia el sensor.

El código C que utiliza el microcontrolador para este proceso se explica en el **ANEXO G**.

Al realizar las pruebas del funcionamiento del prototipo se verificó el funcionamiento correcto de lectura del sensor en el Display y el aplicativo en Visual Basic, mostrados en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* y *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*.



a). distancia en mm

b). cantidad de Galones

Figura 36: Datos mostrados en el Display.

En la *Figura 36* se observa el valor medido en distancia (a) en milímetros y el volumen calculado (b) por el sistema. Tomando la *ecuación 1, 3 y 4* respectivamente obtenemos que para una distancia de 146mm el valor equivalente es de 2453 gal y el sistema nos arroja un valor de 2420 gal, lo cual da una diferencia de 33gal equivalentes según la tabla aforo del ANEXO 1, una diferencia de 2mm, valor deseado en el rango de error esperado no superior a +/- 3mm. A la vez estos datos comparados con la tabla aforo obtenemos que 146mm equivaldrían a 2312 galones de ACPM, manteniéndonos en el rango deseado. Cabe anotar que este es un prototipo utilizado para la simulación del sistema, por lo cuál los sensores de nivel tipo radar expuestos con anterioridad tienen mejor precisión en la lectura. Las *Figura 36* y *Figura 37* representan el funcionamiento del sistema de medición, mostrando los datos leídos por el escalvo y visualizados no solo en el display sino también en el aplicativo desarrollado en Visual Basic. El aplicativo tiene la opción de guardar en un archivo tipo *.txt para posteriormente exportarlo a excel o simplemente imprimir el reporte que se desee.

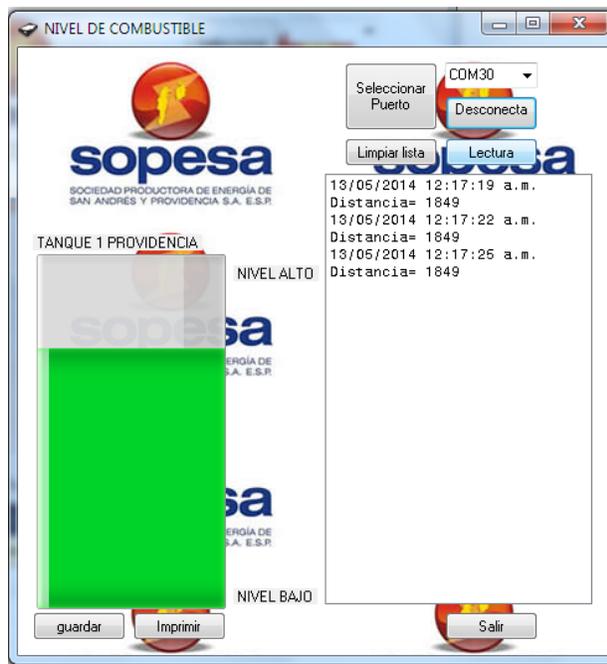


Figura 37: Datos mostrados en aplicativo VB.

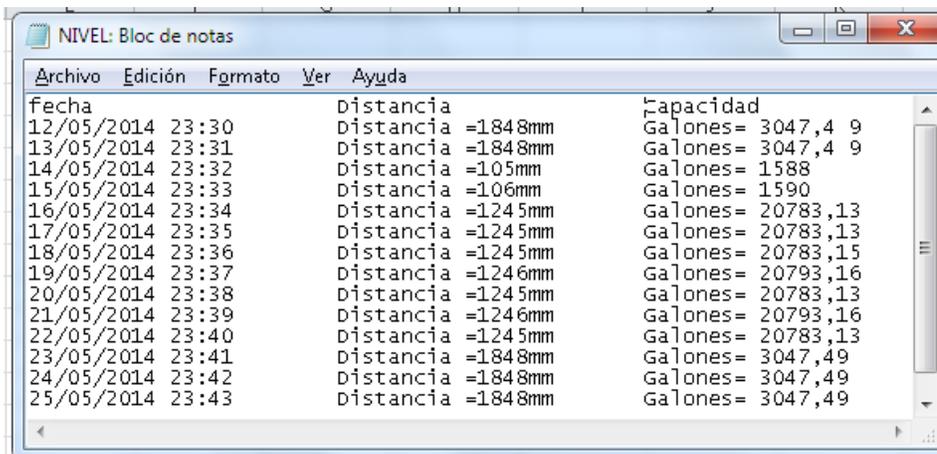


Figura 38: Datos mostrados en archivo plano (*.txt).

Luego se procedió a verificar el funcionamiento a distancia superior a 400m para comprobar el funcionamiento correcto del sistema de transmisión y efectivamente el sistema respondió sin problemas a distancia de 1km en línea de vista sin obstáculos, por lo que podemos apreciar la efectividad del sistema en la distancia que se requiere manejar la información.



Figura 39: Maqueta de prueba y funcionamiento del sistema.



Figura 40: Punto de ubicación del sistema de medición.

En la *Figura 40* se muestra el lugar donde sería instalado el módulo esclavo, encargado de hacer la lectura, procesamiento de la señal y envío al mando local

donde se encuentra el master y el sistema de monitoreo con el aplicativo de la interfaz gráfica.

El programa de interfaz gráfica que se diseñó para la visualización de los datos que obtiene el sistema esclavo, con un ambiente fácil de entender para el operador, donde antes de verificar el programa aparte de la visualización mensajes de ALARMA de nivel de llenado máximo permitido (*Figura 41.a*), ALARMA de nivel mínimo (*Figura 41.b*) y ALARMA de tanque vacío (*figura 40.c*). También en su ambiente cada vez que operario requiere ver la lectura del nivel se muestra un aviso pidiendo confirmación de la lectura antes de proceder (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La alarma de nivel máximo para el tanque de combustible es de 6429mm igual a 108.127, 80 Galones de ACPM aproximadamente. La de nivel mínimo es de 100mm equivalente a 16.6980, 05 Galones. Y por último el de vaciado comprende cuando el tanque tenga un nivel de 45mm que representa 612, 09 Galones, distancia a la que se encuentra la boquilla de salida de combustible. Estos datos son tomados respecto a la tabla aforo (**ANEXO A**), línea base para comparar las mediciones, archivos dispuestos por parte de la electrificadora SOPESA SA ESP.



a). Nivel máximo

b). Nivel mínimo

c). Tanque Vacío

Figura 41: ALARMAS de nivel.



Figura 42: Indicador de confirmación de lectura.

Por último, luego de haber hecho las pruebas de funcionamiento del sistema se procedió a hacer el diseño del chasis donde iría integrado el sistema en el software *solid Edge*. donde iría integrado el sistema de lectura (esclavo) y el sistema de control y monitoreo (maestro) mostradas en las *Figura 43* y *Figura 44*. El diseño es un diseño pensando en no tener que utilizar tornillos para ensamblar el chasis, pues estos con la humedad relativa muy alta que se sobrepone en las islas no sería conveniente; un sistema de dos piezas modulares y ajustables donde las pestañas que la base de cada chasis encaja con precisión en la parte superior. Por otro lado también se tuvo en cuenta a la hora de modificar o actualizar el programa del microcontrolador que contiene cada módulo, no tener que desarmar totalmente el chasis con el riesgo de dañar alguno de los componentes de los circuitos.

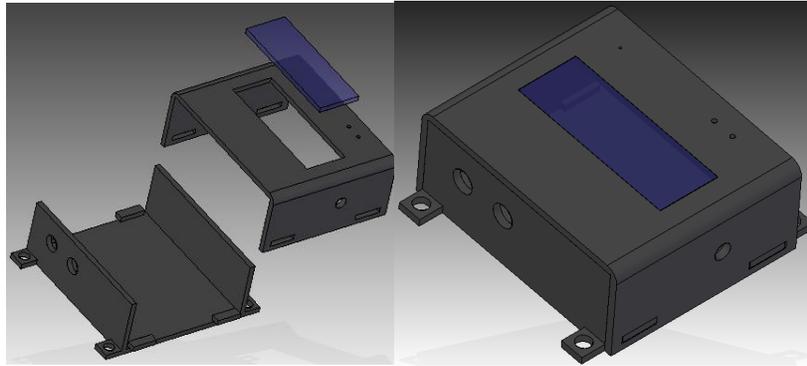


Figura 43: Chasis módulo maestro.

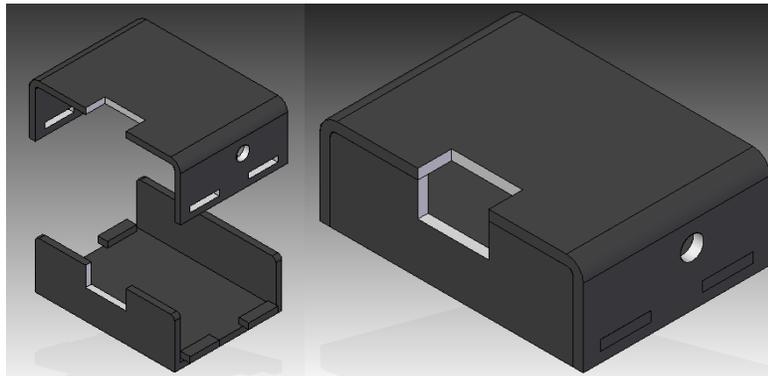


Figura 44: Chasis módulo esclavo.

CONCLUSIONES

El proyecto DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA SOPESA SA ESP, operó en un área de más de 300m utilizando los módulos de transmisión XbeeProS2 que superan en alcance este límite. El sensor que se utilizó para el prototipo envía al microcontrolador el dato de la medida de un líquido y es visto en el Display que contiene el módulo esclavo. Los datos enviados por parte del Maestro para inicio de la lectura se vieron reflejados inmediatamente en la interfaz gráfica llegando a la conclusión que el módulo esclavo recibió la orden correctamente para inicio de lectura utilizando el protocolo de comunicaciones MODBUS.

En la aplicación desarrollada en Visual Basic, se comprobó la conexión del módulo maestro el cual está conectado directamente al PC de monitoreo, se verificaron los datos recibidos en el aplicativo de forma gráfica y en una lista paralelamente, esta lista puede ser guardada como un archivo *.txt y ser utilizada para manejo interno de la empresa. Los datos recibidos desde el dispositivo de campo (esclavo) hacia el centro de monitoreo (maestro) mostraron una diferencia de error de lectura respecto a la tabla aforo. Esta diferencia de error en el prototipo diseñado estaba dentro del rango de los medidores de nivel tipo radar del mercado (+/- 3mm) respectivamente, cumpliendo así el objetivo propuesto de minimizar el error en la lectura del nivel de combustible.

El funcionamiento del sistema fotovoltaico mantuvo la carga mientras la radiación solar era suficiente para no depender únicamente del uso de la red eléctrica de la empresa. Con el sistema en funcionamiento, se procedió a bloquear el paso de la luz solar que irradia sobre los paneles y se comprobó que el sistema de intercambio diseñado cumplió su función manteniendo los niveles de voltaje permitidos en el circuito, sin afectar el trabajo de lectura y transmisión de la información.

Las pruebas finales fueron realizadas fuera de la empresa SOPESA SA ESP, debido a que el acceso y manipulación de cualquier sistema que pueda afectar el funcionamiento parcial o total de alguno de los procesos dentro de la empresa está restringido únicamente al personal técnico que labora en la empresa. Por tal motivo, estas pruebas se hicieron en un campo abierto con la suficiente distancia entre el maestro y el esclavo, para comprobar la conexión de ambos sistemas, sobrepasando el rango máximo de alcance (400m) para el cual se requería en la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Obtenido de <http://www.e-bs.com.ar>

ARRIETA, Mario, O. L. (2012. pag 97-107). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *10*(No. 1).

ASCIITable.com. (2010). *ASCII Table and Description*. Obtenido de <http://www.asciitable.com/>

BARRERA, C. (2007). *Estudio para la calibración de tanques de almacenamiento. Tesis de grado*. Recuperado el 21 de Sep de 2013, de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5804/1/33146_1.pdf

BARTOLOMÉ, J. (01 de 2011). *El protocolo MODBUS*. Recuperado el 27 de Sep de 2013, de www.tolaemon.com: Disponible en <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>.

BERNAL HERNÁNDEZ, C. A., LAGOS RODRÍGUEZ, M. L., & OSPINA LÓPEZ, F. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y COMUNICACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN EN UNA PLANTACIÓN AGRÍCOLA. Proyecto de Grado para obtención de título como ingeniero macatrónico*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.

CHANG GRANADOS, R. (2007). *‘Estudio de mediciones en tanques de almacenamientos de hidrocarburos. Tesis profesional* . Recuperado el 01 de Oct de 2013, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0130_MT.pdf

CJ. SAVANT, J., MARTINS, R., & CARPENTER, G. (2000. Pag 30). *DISEÑO ELECTRÓNICO*. California: Addison Wesley.

Company, T. B. (2008). *GUÍA PARA EL USUARIO DE BATERÍAS TROJAN*. (Trojan Battery Company, USA.) Obtenido de www.trojanbattery.com: Disponible en: www.trojanbattery.com/Tech-Suppoert/Documents/UserGuide_Spanish_0708.pdf

Fujitsu Components Europe, B. (2012). *MINIATURE RELAY*. (F. C. Europe, Ed.) Recuperado el 21 de 03 de 2014, de <http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fcai/relays/sy.pdf>

García, A. (24 de 04 de 2006). *Manual El Medio Ambiente en Colombia Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*. Recuperado el 28 de 04 de 2014, de <http://www.todacolombia.com>

GÓMEZ ROCA, M. P. (2005). *Sistema de supervisión para los tanques de almacenamiento del terminal el Beaterio de Petrocomercial. Tesis de grado.* Recuperado el 30 de Ago de 2013, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/809/1/T-ESPE-027557.pdf>

Inc, D. I. (1996-2014). *XCTU Next Generation Configuration Platform for Xbee.* (Digi International Inc) Recuperado el 18 de Mar de 2014, de <http://www.digi.com/>: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu>

Inc, D. I. (2014). *Xbee/Xbee-Pro ZB RF Modules.* Recuperado el 08 de May de 2014, de <http://www.xbee.cl/>: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_S.pdf

Ing. CORONEL RICO, J. F. (2012). *ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE ECOS DE RADAR DE ONDA CONTINUA APLICADOS A LA MEDICIÓN DE NIVEL DE FLUIDOS HOMOGÉNEOS Y HETEROGÉNEOS. Tesis para el grado de Magister en Ingeniería Eléctrica.* Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica, Facultad de ingeniería.

Lección 42. MODOS DE TRANSMISIÓN DEL MODBUS. (09 de 09 de 2014). Recuperado el 07 de 09 de 2014, de UNAD: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150513/Contenidolinea/leccin_42_modos_de_transmision_del_modbus.html

LIONES MORA, C. F. ([En línea] Marzo de 2011). *Definición y funcionamiento de microcontroladores y microprocesadores. Sistemas digitales III.* Recuperado el 10 de Oct de 2013, de <http://es.scribd.com/>: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51365750/definicion-y-funcionamiento-de-microcontroladores-y-microprocesadores>

MARTIN GONZALES, E., RAMIREZ HABELA, C., SÁNCHEZ, j., & RODRIGUEZ CENALMOR, L. M. (s.f.). *LA CONTABILIDAD DE GESTIÓN EN LAS EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES.* Recuperado el 12 de Oct de 2013, de <http://diarium.usal.es/>: Disponible en: http://diarium.usal.es/igallego/Alumnos/SECTOR_TELECOMUNICACIONES.pdf.%20Consultada%20el%2012%2010%202013

MILMAM, J., & GRABEL, A. (2007). *Microelectronics.* McGraw-Hill.

PARALLAX, I. (2014). *Ping))) Ultrasonic Distance Sensor.* Recuperado el 05 de Ene de 2014, de www.parallax.com: <http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/122-28029-Smart-Sensors-Espanol-v1.0.pdf>

- PARDO GONZALES, Mauricio; CAMPANELA PINEDA, Humberto; MANOTAS ANGULO, Victor; PÁEZ SAABEDRA, Javier. (2006). *Método de medición de combustible en una embarcación fluvial*. (U. EAFIT, Ed.) Recuperado el 21 de Ago de 2013, de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2305576.pdf>
- PAZ CARREÑO, R. (2007.). *Diseño y construcción de un controlador de cargas por interfaz serial bajo el protocolo de comunicaciones MODBUS*. Tesis de grado. Recuperado el 05 de Oct de 2013, de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10449.pdf
- RIVAS CRUZ, F. (2006). *Diseño de una estación de monitoreo de procesos. Aplicación a una columna de destilación*. Tesis de Maestría. Recuperado el 05 de Oct de 2013, de <http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mktro/submenus/investigacion/tesis/27%20Fernando%20Rivas%20Cruz.pdf>
- Rosemount Tank Radar AB. (2007). *EMERSON Process Management. Ficha técnica*. Recuperado el 12 de Ago de 2013, de www.rosemount-tg.com: <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemounttankgauging/Pages/index.aspx>
- RUIZ OLAYA, A. F. (2002). *Implementación de una Red MODBUS/TCP*. Trabajo de grado. Recuperado el 25 de Sep de 2013, de http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos_de_grado/informes/tg_AndresRuiz.pdf
- S.A., E. E. (2012). *Diesel Corriente*. Recuperado el 01 de Nov de 2013, de <http://www.ecopetrol.com.co>: <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37368>
- SCHILLIG, B. (1992). *Automatización, Nivelmetría y Caudalimetría desde 1956*. Recuperado el 30 de Oct de 2013, de www.schillig.com.ar: http://www.brunoschillig.com/new/index.php/productos/lista?id_padre=1
- València, U. U. (20 de 11 de 1996). *COMPARATIVA DE MICROCONTROLADORES ACTUALES*. Recuperado el 16 de 08 de 2013, de <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lse/2002-03/Micros/downloads/trabajo.pdf>
- WOLFGANG, P. (1978). *Electricidad solar: estudio económico de la energía solar*. Blume, Paris: Unesco.
- zxcvzx. (zxcvzxc). zcv. Obtenido de zxcv: www.dfzasdfasd.com

GLOSARIO

Microcontrolador: Es un sistema electrónico que integra las capacidades de una arquitectura de un computador, junto con la capacidad de acople a otros sistemas que brindan los periféricos, todo, en una sola capsula para realizar uno o mas procesos (LIONES MORA, [En línea] Marzo de 2011)

Microelectrónica: definido por Jacob Millman como “ La ciencia que estudia los dispositivos electrónicos fundamentalmente fabricados sobre materiales semiconductores y su uso en el diseño y fabricación de sistemas electrónicos complejos, en circuitos integrados con una alta densidad de componentes” (MILMAM & GRABEL, 2007).

MODBUS: Es un protocolo de comunicaciones industriales desarrollado por la empresa norteamericana MODICON en 1979. Es uno de los protocolos de comunicaciones más populares en sistemas de automatización y control (BARTOLOMÉ, 2011)

Monitoreo: Es un sistema que constantemente está visualizando una variable o estado para mostrarlo de forma gráfica.

Interfaz RS232/ RS485: son dos estándares utilizados para las conexiones en serie desde computadores a periféricos.

Red de telecomunicación: es el medio físico, la infraestructura que hacen posible el intercambio o transmisión de información mediante algún tipo de señales eléctricas o electromagnéticas (RF) a distancia (MARTIN GONZALES, RAMIREZ HABELA, SÁNCHEZ, & RODRIGUEZ CENALMOR)

Tanque de almacenamiento vertical atmosférico: Recipiente para el almacenamiento de hidrocarburos el cual lleva un diseño de construcción tal que brinde seguridad en el área donde se encuentra localizado y que pueda operar en la intemperie.

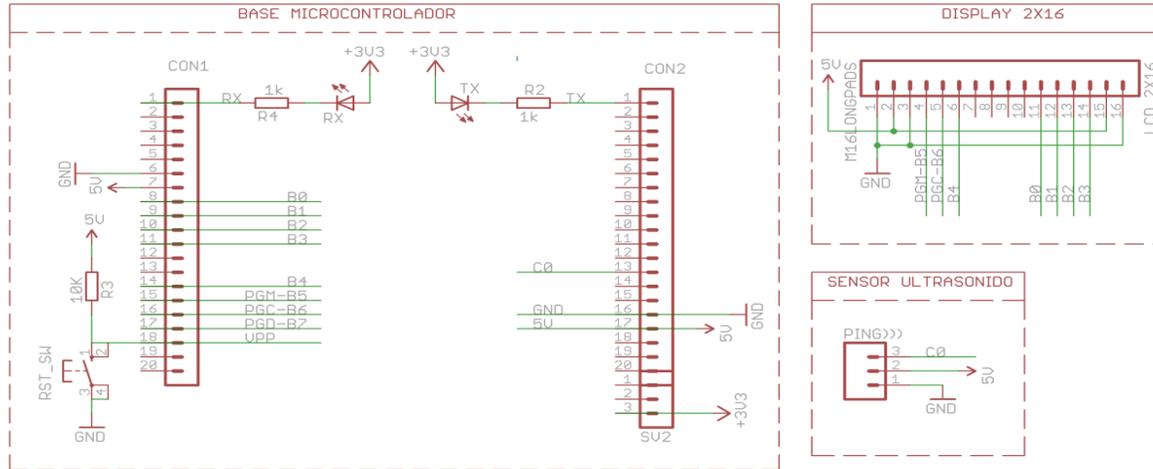
ANEXOS

ANEXO B. Tabla código ASCII

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		DEL

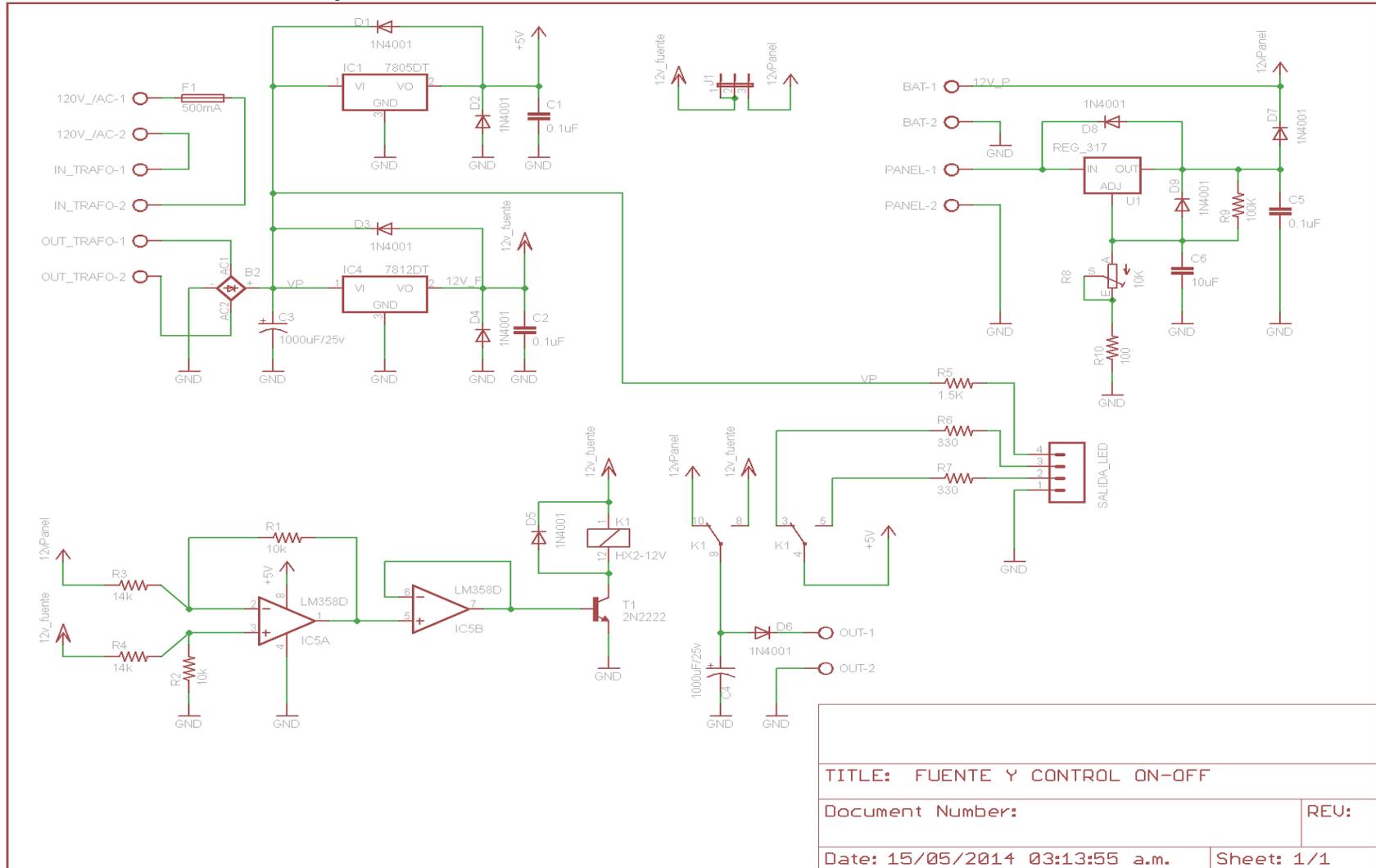
Fuente (ASCIITable.com, 2010)

ANEXO E. Esquemático de módulo display esclavo.



AUTHOR: ALEJANDRO HERNANDEZ	
COMPANY: ESTUDIANTE USB	
TITLE: DISPLAY	
Date: 24/04/2014 04:38:43 p.m.	Sheet: 1/1

ANEXO F. Esquemático De fuente de alimentación con intercambio a celda fotovoltaica



ANEXO G .Código C de lectura de nivel del sensor ping))) PARALLAX.

```
while (1) { // Ciclo infinito
SENSOR_PIN_DIR = 0; // Configurara SENSOR_PIN como salida
SENSOR_PIN = 1; // Inicia pulso de disparo
Delay1KTCYx(5); // Retardo de tiempo requerido s/g datasheet (mínimo 2 us)
SENSOR_PIN = 0; // Termina pulso de disparo
SENSOR_PIN_DIR = 1; // Configurara SENSOR_PIN como entrada
TMR1H = 177; // Carga inicial del timer1 registro MSB(177)
TMR1L = 224; // Carga inicial del timer1 registro LSB (224)
while (!SENSOR_PIN); // Esperar el arribo del pulso de respuesta
TMR1ON = 1; // Llegó pulso eco de respuesta, activar Timer1
while (SENSOR_PIN && !TMR1IF); // Esperar conclusion de eco de respuesta
// o timeout TMR1IF de 20 ms
/* Rango de duración de pulso provisto por el sensor: 115 us a 18.5 ms
* Si el conteo sobrepasa los 18.5 ms y llega a 20 ms, se puede considerar
* que se ha recibido un pulso no válido del sensor. Error de timeout. */
TMR1ON = 0; // Desactivar Timer1
TMR1IF = 0; // Borrar bandera Timer1
conteoMSB = TMR1H; // Leer máximo conteo alcanzado por el Timer MSB
conteoLSB = TMR1L; // Leer máximo conteo alcanzado por el Timer LSB
/* Conversión de 2 bytes a 1 word (16 bits):
* Recorrer el MSB 8 posiciones a la izquierda (multiplicar por 256)
* y luego sumarlo con el byte LSB */
conteoMSB = conteoMSB*256; // Multiplicar por 256 para recorrer 8 posiciones
conteoMSB = conteoMSB + conteoLSB; // Sumar con el byte LSB
/* Calculo de la distancia en función al ancho del pulso:
* Restar primeramente el número de carga inicial del Timer (45536),
* dividir por 29 (vel. sonido = 1/29 cm/us, calculado de vel. sonido = 345 m/s),
* multiplicar por 10 para hacer la conversión de centímetros a milímetros
*dividir por 2 debido a que el pulso provisto por el sensor representa el tiempo
* total de ida y vuelta (eco) del ultrasonido. Solo necesitamos la mitad. */
conteoMSB = ((conteoMSB-45536 )*10)/29;
mostrar_distancia(&conteoMSB, 0);
```

Fuente: (PARALLAX, 2014)

ANEXO H. Especificaciones del Relé de dos polos 5v

■ SPECIFICATIONS

Item		Standard	Single Winding Latching Type	Double Winding Latching
		BA-() W-K	BAL-() W-K	BAL-D () W-K
Contact	Arrangement	2 form C (DPDT)		
	Material	Gold overlay silver alloy		
	Style	Bifurcated		
	Resistance (initial) (at 1 A 6 VDC)	Maximum 50 mΩ		
	Rating (resistive)	0.5 A 125 VAC or 1 A 30 VDC		
	Maximum Carrying Current	2 A		
	Maximum Switching Power	62.5 AV, 30 W		
	Maximum Switching Voltage	250 VAC, 220 VDC		
	Maximum Switching Current	2 A		
	Minimum Switching Load*1	0.01 mA 10 mVDC		
	Capacitance	Approximately 0.5 pF (between open contacts, adjacent contacts) Approximately 1.0 pF (between coil and contacts)		
Coil	Nominal Power (at 20°C)	0.25 to 0.36 W	0.2 W	0.36 W
	Operate Power (at 20°C)	0.14 to 0.2 W	0.15 W	0.205 W
	Operating Temperature	-40°C to +70°C (no frost) (refer to the CHARACTERISTIC DATA)		
Time Value	Operate (at nominal voltage)	Maximum 6 ms	Maximum 6 ms (set)	
	Release (at nominal voltage)	Maximum 4 ms	Maximum 6 ms (reset)	
Insulation	Resistance (at 500 VDC)	Minimum 1,000 MΩ		
	Dielectric Strength	between open contacts	1,000 VAC 1 minute	
		between adjacent contacts	1,000 VAC 1 minute	
		between coil and contacts	2,000 VAC 1 minute	1,000 VAC 1 minute
	Surge Strength	3,000 V (at 2 × 10 μs)	1,500 V (at 10 × 180 μs)	
Life	Mechanical	1 × 10 ⁷ operations minimum		
	Electrical	2 × 10 ⁵ operations minimum (0.5 A 125 VAC) 5 × 10 ⁵ operations minimum (1 A 30 VDC)		
Other	Vibration Resistance	Misoperation	10 to 55 Hz (double amplitude of 3.3 mm)	
		Endurance	10 to 55 Hz (double amplitude of 5.0 mm)	
	Shock Resistance	Misoperation	500 m/s ² (11 ± 1 ms)	
		Endurance	1,000 m/s ² (6 ± 1 ms)	
	Weight	Approximately 1.9 g		

Fuente (Fujitsu Components Europe, 2012)

