



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTRUMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELEMETRÍA DE UNA PLANTA DESALADORA.**

GUSTAVO ADOLFO ORTIZ MENCHACA

MÉXICO, D.F. JUNIO 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME

**INSTRUMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELEMETRÍA DE UNA PLANTA DESALADORA.**

PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:

GUSTAVO ADOLFO ORTIZ MENCHACA

DR. MIGUEL MOCTEZUMA FLORES

DIRECTOR DE TESIS

MÉXICO, D.F. JUNIO 2011

Agradecimientos

Este documento y su significado son tan solo el fin de una etapa que da inicio a otra más desafiante, de mayores retos y nuevas experiencias. El camino recorrido es más fácil si se tiene el apoyo incondicional de personas capaces de brindar afecto, confianza, acciones y palabras que ayudan a querer siempre seguir adelante.

Quiero agradecer profundamente a mis padres que estuvieron siempre a mi lado por su gran apoyo en todos los aspectos, por su comprensión, empatía, reconocimiento y motivación durante todos mis años de estudio además de los principios y valores que me han transmitido y que me permiten disfrutar y compartir cada meta alcanzada.

No me queda duda de que gran parte del objetivo cumplido que representan estas páginas son de mis padres y por tal razón quiero dedicarlo a Martha y Gustavo.

Agradezco también a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser tan bondadosa *alma mater*, a todos mis profesores que con su dedicación enorgullecen a la Universidad, mis compañeros y amigos que en buenos y malos momentos se involucraron de alguna manera en mi formación y aprendizaje.

Me llevo la mejor experiencia y gratos momentos vividos de mi paso por esta Universidad, estoy convencido de haber elegido la carrera indicada y eso es algo que muy pocos pueden reconocer al final del recorrido.

Gustavo A.

Resumen

Este informe, desarrollado dentro del Proyecto IMPULSA 4 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, plantea el proceso realizado para instrumentar una planta desaladora e implementar un sistema de Telemetría entre el Edificio 8 del Instituto de Ingeniería y la Torre de Ingeniería, que posteriormente se instalará y operará en campo. Este documento en principio trata la teoría general sobre la Instrumentación de cierto proceso que se desea monitorear y de la Telemetría descrita como una tecnología de comunicación mediante medios remotos, mostrando así conceptos, clasificaciones y diagramas a bloques de los elementos básicos que componen a un sistema de esta naturaleza. Una vez dada la teoría básica, se parte de definir el problema a resolver y las condiciones bajo las cuales deberá plantearse una solución, planteando que se tiene que instrumentar una planta desaladora instalada en el Edificio 8 y de la cual se requiere conocer el comportamiento y la eficiencia ante distintas condiciones, según las características del agua a desalar y empleando distintos tipos de membranas, por lo tanto es indispensable que dicha planta desaladora esté instrumentada y además se implemente un sistema de telemetría que muestre de manera remota y en tiempo real los procesos que se llevan a cabo y los datos que de esto se derivan. Dicho sistema de telemetría deberá llevar la información del Edificio 8 al sexto piso de la Torre de Ingeniería, donde se encuentran las oficinas del proyecto IMPULSA 4. Durante el diseño del sistema de Telemetría se considera que en futuras aplicaciones la planta desaladora podría cambiar su ubicación y por lo tanto las condiciones del entorno, de esta manera se plantean distintos escenarios y se proponen las adaptaciones pertinentes al sistema.

Este informe trata de manera conjunta al proceso de Instrumentación y al proceso de Telemetría pues ambos van ligados y en este caso tienen el mismo fin, se plantean una serie de pasos mediante los cuales se completa el proceso de Instrumentación e implementación del sistema de Telemetría hasta concluir con un sistema de monitoreo remoto que puede visualizarse en tiempo real mediante una interfaz gráfica, teniendo así los siguientes puntos:

- Elección de las variables de instrumentación.
- Ubicación de sensores.
- Elección del protocolo de comunicaciones para los sensores.

- Modo de acceso a la información.
- Elección del dispositivo de adquisición de datos.
- Selección de la tecnología para la transmisión de datos.
- Selección del equipo para el sistema de telemetría.
- Interfaz gráfica.
- Adaptación del sistema para un posible cambio de entorno.

Se describe el uso del sistema de telemetría basado en Radio Frecuencia pues es el que se ha implementado en este proyecto, adicionalmente se agrega un capítulo donde se explica la implementación de un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS, pues se pretende que el lector cuente con ambas posibilidades cuando se enfrente a un problema similar.

Como conclusión de este informe se hace énfasis en el uso de la teoría básica para tomar la mejor decisión respecto a la selección de variables a medir y de las tecnologías a emplear, se menciona la conveniencia de apegarse a estándares tanto en diseño como en el empleo de señales o protocolos de comunicación ya que esto facilita considerablemente el diseño, la planeación y el posible escalamiento del sistema. Además se explica la importancia de tener un sistema de telemetría escalable y que pueda adaptarse a distintos entornos. De manera general, esta tesis plasma el desarrollo y la implementación del sistema ya descrito, cubriendo así los objetivos y requerimientos del proyecto.

III

Índice

Introducción	7
Capítulo I	
Planteamiento del problema	
1.1 Teoría básica de Instrumentación	9
1.2 Teoría básica de Telemetría	13
1.3 Descripción del problema	16
1.4 Objetivo	16
Capítulo II	
Instrumentación de la planta desaladora	
2.1 Elección de las variables de instrumentación	17
2.2 Ubicación de sensores	18
2.3 Elección del protocolo de comunicación para los sensores	20
Capítulo III	
Implementación del Sistema de Telemetría	
3.1 Modo de acceso a la información	21
3.2 Elección del dispositivo de adquisición de datos	21
3.3 Selección de la tecnología de transmisión de datos	24
3.3.1 Comunicación satelital (Globalstar)	24
3.3.2 GSM/GPRS	26
3.3.3 Radio Frecuencia	28
Capítulo IV	
Sistema de Telemetría basado en Radio Frecuencia	
4.1 Radio Frecuencia en los Sistemas de Telemetría	31
4.1.1 ZigBee	31
4.2 Selección de los equipos	34
4.3 Pruebas con los equipos	38
Capítulo V	
Sistema de Telemetría basado en GSM/GPRS/SMS	
5.1 GSM/GPRS/SMS en los Sistemas de Telemetría	40
5.2 Selección de los equipos	42
5.3 Pruebas con los equipos	51
Capítulo VI	
Interfaz gráfica de monitoreo	
6.1 Implementación de una interfaz gráfica de monitoreo	57
6.2 Vistas de la interfaz de monitoreo	57
Capítulo VII	
Resultados y adaptaciones al sistema para un posible cambio de entorno	
7.1 Sistema de Instrumentación y Telemetría resultante	60
7.2 Adaptaciones para un posible cambio de locación	61
Conclusiones	63
Referencias	66
Anexos	

Introducción

¿Qué es IMPULSA 4?

En 2005 la Universidad Nacional Autónoma de México creó el proyecto denominado IMPULSA 4, (Proyecto de Investigación Multidisciplinaria de Proyectos Universitarios de Liderazgo y Superación Académica) “Desalación de Agua de Mar con Energías Renovables”, con tres objetivos específicos.

1. Encontrar soluciones para resolver los problemas de escasez de agua en el noroeste de México que sean eficientes económica, social y ambientalmente.
2. Crear un sólido grupo de ingenieros e investigadores expertos en los temas de desalación desarrollados dentro del proyecto, capaces de transformar los conocimientos científicos en soluciones aplicadas en la ingeniería nacional y con un alto conocimiento de las energías renovables.
3. En la parte final de este proceso, conocimiento y experiencia deben ser diseminados en la sociedad a través de cursos, libros, seminarios, entrenamiento de campo y también transformar los grupos del Instituto de Ingeniería en un equipo de consultores.

Una actividad permanente ha sido la mejora de las capacidades del grupo básico de ingenieros, animándoles a tener un profundo conocimiento de las técnicas de desalación y energías renovables, y actualizado con los acontecimientos más recientes. Invitados frecuentes, conferencias y visitas a campo han sido parte de esta formación. Las seis líneas de investigación seleccionadas por el grupo fueron:

1. Desalación de agua caliente.
2. Electricidad geotérmica de recursos de baja entalpía.
3. Electricidad a partir de ventilas hidrotermales profundas.
4. Electricidad a partir de mareas e hidro-generadores.
5. Electricidad a partir de las corrientes de las turbinas.
6. Desalación con energía fotovoltaica intermitente.

Otro de los principales objetivos es la creación del laboratorio IMPULSA 4 el cual contará con modelos a escala de los principales proyectos, en primer lugar se cuenta con una planta desaladora piloto que funciona por ósmosis inversa, la cual sirve para propósitos didáctico, ensayos básicos de eficiencia de filtrado y porcentaje de rechazo para diferentes salinidades, temperaturas y membranas.

A pesar de que el principal tema del proyecto ha sido desalar agua de mar con energías renovables, otras líneas de investigación y desarrollo han aparecido como extensión de ésta. Una de las cuales es la Instrumentación del laboratorio y la implementación de un sistema de telemetría.

Actualmente hay un gran número de aplicaciones en las que es muy conveniente implementar un sistema de Instrumentación y telemetría pues aunque supone una

inversión inicial, ésta se recupera en determinado tiempo considerando las ventajas de la automatización. Por ejemplo, el hecho de no depender de personal en campo para la supervisión de las variables de medición o del correcto funcionamiento de la planta desaladora, representa un ahorro considerable.

Para comenzar el proceso de instrumentación es necesario conocer perfectamente el sistema del cual se desean conocer variables de medición, una vez obtenida esta información, debe definirse de qué manera se hará el transporte de dicha información, pues el objetivo es hacerla llegar al operador del sistema, para ello existen varias opciones, actualmente se emplean más frecuentemente dos tecnologías, Radio Frecuencia y GSM/GPRS, ambas con ventajas y desventajas, la decisión de emplear una o la otra dependerá de la aplicación o los requerimientos del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Teoría básica de Instrumentación

Instrumentación es el proceso de aplicar técnicas, herramientas y conocimientos para la selección, instalación y calibración de dispositivos que sirven para medir, registrar, detectar o controlar una o más variables, con el objeto de mantener monitoreado o controlado un proceso industrial o equipo, manteniendo las variables dentro de un rango determinado, alertando de errores o corrigiéndolos, tanto de manera manual como automatizada, de tal manera que se optimicen procesos, tiempos, costos y se incremente la seguridad tanto del operador como del equipo.

Dichas variables pueden ser magnitudes físicas, magnitudes químicas o características que varían respecto al tiempo, además debe ser factible su medición o control. En este contexto se denominan típicamente como variables de medición, variables de instrumentación o variables de proceso.

En la Tabla 1 se muestra una clasificación de variables de instrumentación y algunos ejemplos.

Tabla 1. Clasificación de variables de instrumentación.

Variable	Ejemplos
Térmicas	Temperatura, calor específico
Radiación	Radiación nuclear, radiación electromagnética, efectos acústicos
Fuerza	Momento, presión
Velocidad	Flujo, rapidez, aceleración
Cantidad	Masa, número de autos
Tiempo	Tiempo, frecuencia
Geométricas	Posición, contorno
Propiedades físicas	Densidad, humedad, viscosidad

Composición química	Conductividad, cantidad de sales disueltas
Eléctricas	Voltaje, corriente, capacitancia

La manera típica en que se mide alguna variable de instrumentación es mediante un sensor, que es un dispositivo integrado por una serie de mecanismos sensibles a la detección de la variación de alguna variable de instrumentación, convirtiendo dicha magnitud de detección en una señal útil para ser interpretada. Dicha señal útil, puede ser de distintos tipos, en la Tabla 2 se muestra una clasificación y ejemplos.

Tabla 2. Clasificación de señales a la salida de un sensor.

Señal	Descripción	Ejemplos
Eléctrica	Transforma una variación de la variable medida en una señal eléctrica.	Voltaje, corriente, relación de voltaje y corriente.
Tiempo modulado	Se tiene una señal modulada que varía de acuerdo a la variación de alguna variable de medición.	Duración de pulsos, frecuencia.
Movimiento	Se tiene una manifestación de forma o movimiento como respuesta a una variación en la variable medida.	Desplazamiento líquido, movimiento mecánico, movimiento de un haz de luz, fuerza mecánica.

Dentro del proceso de Instrumentación, también se puede hablar del control, aunque no necesariamente se Instrumenta con este fin, ya que dependerá del objetivo que se tenga, por ejemplo en el caso de que se quisiera instrumentar un colector solar instalado en una casa habitación con fines de conocer la eficiencia del mismo, probablemente sólo sea necesario tener un registro de las variables de instrumentación, será conveniente entonces almacenar cada determinado tiempo la presión de alimentación y la presión de salida del colector, las temperaturas de entrada y salida, así como el gasto que se tiene a la salida del colector, por lo tanto el objetivo primordial de instrumentar este proceso sería el monitoreo de las variables. Por el contrario si se quisiera posteriormente tener un rango de temperatura determinado a la salida del colector solar, de tal manera que este no aumentara excesivamente cuando la radiación solar se encuentra al máximo, podría implementarse un sistema que aumentara o disminuyera la presión de una bomba que alimente el agua al colector solar, de tal manera que al tener una temperatura alta a la salida, el flujo dentro del colector solar aumente para que el agua recorra la estructura en menor tiempo y con ello tenga menor contacto solar. Para este caso el fin de instrumentar sería monitorear y además controlar variables de medición.

Al hablar de sensores o instrumentos de medición, se observa que estos tienen diversas características de gran importancia y que ayudan a elegir el sensor indicado para la aplicación que se quiere realizar, en la Tabla 3 se muestran algunas de estas características y se hace una breve descripción.

Tabla 3. Descripción de las características más comunes en dispositivos de medición.

Característica	Descripción
Exactitud	Se refiere a la capacidad de un instrumento de medición, de dar lecturas muy próximas al valor real de la variable de instrumentación.
Precisión	Se refiere a la tolerancia de medición, definiendo así un rango de error entre el cual estará el valor real de la variable de instrumentación.
Campo de medida	Es el rango o conjunto de valores, dado por un límite inferior y un límite superior y que definen la capacidad de lecturas que el instrumento puede registrar o transmitir.
Alcance	Se refiere a la diferencia algebraica entre el límite superior y el inferior del campo de medida del instrumento.
Error	Se trata de la diferencia algebraica entre el valor dado o transmitido por el instrumento de medición y el valor real de la variable de instrumentación.
Zona muerta	Se refiere al rango de valores de la variable de instrumentación que no hace variar al instrumento y por lo tanto no se obtiene una respuesta.
Sensibilidad	Es el valor mínimo que debe de cambiar la variable de instrumentación para que se obtenga un cambio en la lectura del instrumento.
Repetibilidad	Se trata de la capacidad del instrumento de dar lecturas similares ante mismas condiciones de la variable de instrumentación.
Histéresis	Se refiere a la diferencia de lectura que se obtendría del instrumento para el mismo valor real de la variable de instrumentación, tanto para una lectura en sentido ascendente como una en sentido descendente.
Sensibilidad al ruido	Es la capacidad del instrumento, de ignorar perturbaciones que pueden interferir en la lectura de la variable de instrumentación.
Fiabilidad	Capacidad del instrumento de seguir dando una lectura dentro de los límites de error a pesar de cambios en las condiciones del medio.
Resolución	Se refiere a la magnitud entre los cambios en escalón que presenta el instrumento a lo largo del campo de medida.
Linealidad	Se refiere a la aproximación de la curva de calibración del instrumento a una línea recta.
Estabilidad	Se refiere a la capacidad del instrumento de dar rápidamente una lectura dentro del rango de error aceptable, al presentarse cambios bruscos en la variable de instrumentación.
Temperatura de servicio	Rango de temperatura en el cuál se espera que el instrumento ofrezca fiabilidad.
Vida útil	Tiempo mínimo en el cuál se espera que el instrumento trabaje sin modificar sus características específicas de operación.

Existe una gran variedad de dispositivos empleados en Instrumentación, de tal manera que en conjunto pueden formar un sistema completo de Instrumentación. Mencionarlos todos implicaría definir una gran lista que además se modifica con gran rapidez dado que con frecuencia salen al mercado nuevos productos para nuevas aplicaciones, o se diseñan sensores para las mismas variables de instrumentación pero con un principio de funcionamiento distinto e innovador, a continuación se presenta una lista con algunos de estos dispositivos clasificados según su funcionamiento.

Instrumentos indicadores:

Son ampliamente usados cuando se requiere tomar lecturas de una manera local y manual, estos instrumentos o sensores, presentan una carátula graduada o un *display* digital numérico donde se indica la lectura actual de la variable de instrumentación.

Instrumentos ciegos:

Son aquellos que no presentan un medio por el cual el usuario pueda obtener una lectura, estos dispositivos tienen como función emitir algún tipo de aviso cuando se ha alcanzado algún valor de variable previamente definido. Un ejemplo de instrumentos ciegos es una alarma de humo.

Instrumentos registradores:

Son instrumentos con la capacidad de registrar variaciones todo el tiempo que se encuentran activos, por ejemplo un sismógrafo que va registrando mediante una línea continua vibraciones en determinado punto.

Elementos primarios de medición:

Son aquellos instrumentos que se encuentran en contacto con la variable de instrumentación de tal manera que pueden absorber energía del mismo para modificar una lectura. Por ejemplo una báscula aprovecha el peso de un objeto para mover una aguja que indicará una lectura.

Trasmisores:

Son dispositivos muy convenientes en la mayoría de las aplicaciones de Instrumentación, ya que modifican una señal de salida preparándola para el medio de transmisión, la adecúan, amplifican y convierten en una señal estandarizada de tal manera que se puede simplificar el sistema de Instrumentación.

Receptores:

Reciben una señal que ha sido modificada para viajar adecuadamente por algún medio de transmisión convirtiéndola en una señal distinta que pueda ser interpretada por un nuevo elemento, por ejemplo convertirla en una señal digital estandarizada de tal modo que sea reconocida por un ordenador.

Controladores:

Son elementos programados o programables que actúan de cierta manera según la señal de entrada. La señal recibida por un controlador es procesada y con base a ciertos parámetros realiza alguna acción específica previamente definida.

Actuadores:

Son dispositivos altamente usados en control ya que mediante una determinada señal de entrada son capaces de realizar una acción que modificará un sistema, por ejemplo el abrir o cerrar una válvula modificando así un flujo, el aumentar o disminuir la velocidad de un motor o la potencia en una bomba.

Normatividad en la Instrumentación.

La Instrumentación es ampliamente usada en gran número de procesos, industrias y se implementa en un gran número de aplicaciones, por lo tanto existen también muchos desarrolladores y fabricantes de dispositivos y aplicaciones, generalmente un sistema de Instrumentación no está constituido por elementos del mismo fabricante por diversas razones, tales como ahorro en costos, conveniencia de diseño o que muchas veces los fabricantes se especializan en sensores de solo algunas variables. Es por lo anterior que buscando la homologación de los elementos presentes en un sistema de instrumentación surgen normas y estándares para la fabricación de los mismos y para la definición de nomenclatura empleada en el proceso de Instrumentación.

Por mencionar algunas Sociedades presentes en la normalización referente a Instrumentación, se tiene a la Sociedad de Instrumentos de América (ISA, por sus siglas en inglés) y la Sociedad Americana de Fabricantes de Aparatos Científicos (SAMA, por sus siglas en inglés).

Para ejemplificar se hace referencia a la norma ISA-S5.1-84 de ANSI/ISA del año 1984 y con rectificación en el año 1992, sobre Instrumentación de medición y control la cuál es una recomendación y no una norma de carácter obligatorio. En esta norma, entre otras cosas, se especifican códigos de letras y números con los cuáles se deben identificar dispositivos y donde se contenga de manera concreta información sobre la función del dispositivo y algunas de sus características.

Un concepto sumamente ligado a la Instrumentación y que presenta una gran serie de conceptos, tecnologías, estándares, entre otros, es telemetría y a continuación se analiza la teoría básica.

1.2 Teoría básica de Telemetría

Telemetría es el proceso por el cual una medición remota de variables de medición puede ser almacenada, mostrada o expuesta a un proceso de transmisión o algún tipo de procesamiento. La palabra *telemetría* procede de las palabras griegas *tele* ("lejos") y *metron* ("medida").

El envío de información hacia el operador en un sistema de Telemetría se realiza típicamente mediante comunicación inalámbrica, aunque también se puede realizar

por otros medios (par trenzado, redes de ordenadores, enlace de fibra óptica, etcétera).

La telemetría fue desarrollada por necesidades de guerra, teniendo sus inicios a mediados de la primera guerra mundial. El uso de los sistemas de telemetría tuvo gran aceptación durante inicios del siglo XX.

El uso de telemetría va muy ligado al empleo de la Radiofrecuencia, de ahora en adelante RF y más recientemente con la tecnología GSM/GPRS. Con el uso de RF o GSM/GPRS se transporta la información de un lugar a otro. Si se habla de sistemas de telemetría inalámbricos nos enfocamos en aplicaciones típicamente de milicia como el monitoreo y control de aviones y misiles, entre otros, además del control de satélites que como se puede inferir, de aquí surgen un gran número de aplicaciones. Refiriéndonos a sistemas de telemetría alámbricos, las aplicaciones típicas son plantas de procesos químicos, estaciones de generación de energía y procesos industriales, entre otros.

Componentes de un sistema básico de Telemetría:

Se parte de uno o varios sensores, entre los sensores más comunes se encuentran los que miden temperatura, presión, flujo, corriente, presencia, vibración, aceleración, entre otros. En seguida tendremos circuitos de conversión que harán compatible la señal de salida de los sensores con la señal necesaria a la entrada de un oscilador, si se tuvieran más de un sensor, será necesario emplear un multiplexor. Existen en el mercado dispositivos que realizan estas dos últimas tareas de manera conjunta, recibiendo las señales de salida de varios sensores y dando una sola señal multiplexada de salida que puede ser demultiplexada fácilmente mediante software. A la salida del oscilador se obtiene una señal cuya variación en frecuencia es proporcional a las variaciones en la magnitud de la variable de medición. En la Figura 1 se muestra el diagrama a bloques de un sistema básico de Telemetría.

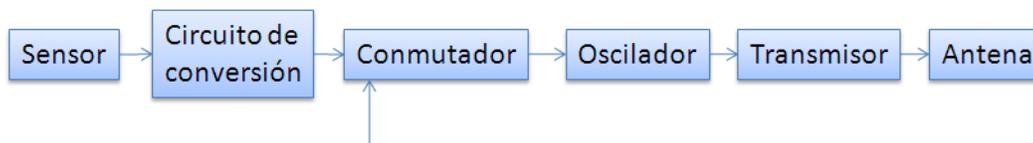


Figura 1. Diagrama a bloques de un sistema básico de telemetría.

La Figura 1 hace referencia a un sistema de telemetría inalámbrico, en el caso de un sistema alámbrico, se reemplazaría el último bloque por un cable por ejemplo.

Tipos básicos de códigos de modulación empleados en Telemetría.

A continuación se describe brevemente los tipos básicos de códigos generalmente empleados en sistemas de Telemetría.

PAM (Pulse Amplitude Modulation) donde la información se lleva en los cambios de amplitud de los pulsos.

PDM (Pulse Duration Modulation), en este caso la amplitud de los pulsos es constante, la información se lleva en la variación de la duración de los mismos.

PPM (Pulse Position Modulation), es similar a PDM excepto porque un pulso corto se usa en lugar de un pulso variando en el tiempo.

PDM forma de onda, diferenciado y diferenciado rectificado. Son muy similares a PDM pero emplean una potencia media menor aunque al ser más cortos en tiempo requiere mayor ancho de banda.

En la Figura 2 se muestran ejemplificados los códigos antes mencionados.

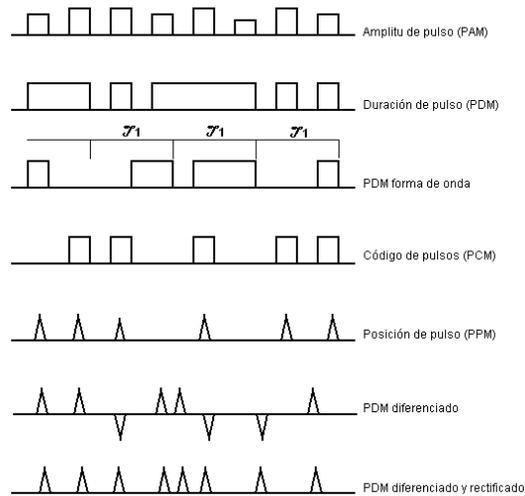


Figura 2. Códigos básicos de modulación empleados en telemetría.

A lo largo de los años se ha creado una gran variedad de instrumentos y dispositivos de telemetría, al igual que las técnicas de transmisión han evolucionado teniendo cada vez un mayor alcance y códigos más sofisticados.

La telemetría se utiliza en grandes sistemas, tales como las naves espaciales o las plantas químicas, debido a que facilita la monitorización automática y el registro de las mediciones, así como el envío de alertas, con el fin de que el funcionamiento sea seguro y eficiente. También es muy empleada en satélites, perforación de pozos petroleros, sistemas de diagnóstico del tiempo, autos de competición, entre muchos otros ejemplos.

1.3 Descripción del problema

Se tiene que instrumentar una planta desaladora instalada en el Edificio 8 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, dicha planta desaladora emplea el principio de osmosis inversa y es parte de un proyecto piloto que coordina el proyecto IMPULSA 4.

Se requiere conocer el comportamiento y la eficiencia de la planta ante distintas condiciones, según las características del agua a desalar y empleando distintos tipos de membranas. Por lo tanto es indispensable que dicha planta desaladora esté instrumentada y además se implemente un sistema de telemetría que muestre de manera remota y en tiempo real los procesos que se llevan a cabo y los datos que de esto se derivan. Dicho sistema de Telemetría deberá llevar la información del Edificio 8 al sexto piso de la Torre de Ingeniería, donde se encuentran las oficinas del Proyecto IMPULSA 4.

Cabe destacar que para este caso, se quiere tener sólo monitoreo de variables y no control de los procesos de la planta desaladora.

Durante el diseño del sistema de telemetría debe considerarse que en futuras aplicaciones la planta desaladora podría cambiar su ubicación y por lo tanto las condiciones del medio, por ejemplo, la distancia entre transmisor y receptor o la topografía del entorno. A lo largo de este documento y de la descripción del procedimiento de instrumentación e implementación del sistema de telemetría, se explicará a detalle las consideraciones que se han de tomar para un posible cambio de entorno.

Al llevar a cabo un proceso de instrumentación y telemetría el interesado se encontrará con que hay una gran cantidad de posibilidades y no hay reglas específicas para su implementación, es decir, se debe aplicar la teoría pero se debe adaptar a las condiciones y factores como son, tipo de variables a medir, número de sensores a emplear, presupuesto, futuro aumento del número de sensores, cantidad de información a transmitir y distancia que se quiere cubrir para acceso remoto, entre otros.

A continuación se describen los procedimientos de instrumentación y telemetría abordados y la resolución de los problemas encontrados.

1.4 Objetivo

Instrumentar una planta desaladora e implementar un sistema de Telemetría, entre el Edificio 8 y la Torre de Ingeniería, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, tal que se pueda monitorear en tiempo real, presión, temperatura y conductividad, visualizando la información mediante una interfaz gráfica de monitoreo.

CAPÍTULO II

INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DESALADORA

2.1 Elección de variables de instrumentación

El objetivo de una planta desaladora es la de desalar agua con cantidades considerables de sal para obtener como producto agua que se pueda utilizar para diversos fines, por ejemplo potable o para riego, como deshecho se obtiene salmuera o agua con mayor concentración de sales que a la entrada. Existen varios principios de funcionamiento para una planta desaladora, para este caso se debe instrumentar una desaladora por osmosis inversa, en este sistema la presión juega un papel importante pues se podrá comenzar a desalar agua según la presión que se inyecte al fluido para que ésta penetre por una membrana. De esta manera se vuelve clave el hecho de conocer las presiones a lo largo del recorrido del agua por los conductos de la planta desaladora.

Por otro lado se vuelve necesario el conocer la eficiencia de la Planta desaladora, para ello una opción es conocer la concentración de sales a la entrada y a la salida del proceso.

De manera similar, si se empleara el agua que se tiene a la entrada con una gran cantidad de residuos sólidos no perceptibles a simple vista o con algún compuesto químico como cloro, podrían dañarse las membranas, por ello es necesario tener un proceso de pre tratamiento en el que se filtre el agua o se añada alguna sustancia química que contrarreste los efectos de otras sustancias. En un proceso de esta índole, se vuelve relevante el medir, por ejemplo, presión en determinados puntos lo que nos dará idea de cómo van cambiando las condiciones en los filtros o de qué manera han cambiado las características del fluido. Por ejemplo, con el tiempo, pueden irse acumulando residuos en algún filtro, de tal manera que dificultará el paso de agua y la caída de presión de ese filtro aumentará, esta diferencia de presiones será entonces un indicador de que se debe reemplazar dicho filtro.

De lo anterior aunado a otras consideraciones, puede concluirse que las variables de instrumentación deben ser:

- Presión
- Concentración de sales disueltas en agua
- Temperatura

Cabe destacar que estas variables de instrumentación fueron elegidas para este caso en particular, se podría incrementar o disminuir el número de dichas variables según el tipo de análisis que se necesite.

2.2 Ubicación de sensores

Una vez que ya se ha respondido a la pregunta ¿Qué medir?, ahora debe responderse ¿en cuántos puntos y dónde medir? Para ello es importante conocer muy bien el sistema a instrumentar o reunirse con el grupo experto en dicho sistema, el responder estas preguntas va más enfocado al tipo de análisis que se pretende hacer, en este caso se ha definido junto con un grupo de ingenieros mecánicos expertos en desalación, qué información se necesitará extraer para realizar pruebas y cálculos.

En la Figura 3 se muestra un diagrama general de la planta desaladora, se indica con letras los elementos principales de la planta y con números los sensores necesarios para el monitoreo de la misma. Enseguida se hace una descripción de dichos puntos.



Figura 3. Diagrama general de la planta desaladora y ubicación de sensores.

Elementos de la planta desaladora:

- A. Depósito de alimentación: algunas veces aquí se deposita agua de mar, en otras ocasiones se simula empleando agua común, sal y algunos compuestos químicos.
- B. Bomba de baja presión: transporta el agua a desalar, desde la toma, hasta la entrada de la bomba de alta presión, dicha presión debe ser tal, que permita el flujo de agua a través de los filtros ocupados en el pre tratamiento.
- C. Filtro multimedia: está compuesto por varias capas de elementos y permite el filtrado de residuos sólidos.
- D. Filtros cartucho: permiten el filtrado de partículas pequeñas.

- E. Bomba de alta presión: suministra la presión necesaria para vencer la presión osmótica y lograr las caídas de presión en el sistema de osmosis inversa.
- F. Membranas: es el elemento que permite el filtrado de sales del agua que las contiene.
- G. Depósito de salmuera: este es el residuo que se obtiene de la desalación, es decir, agua con mayor concentración de sales que a la entrada.
- H. Depósito del producto: aquí se almacena el agua desalada.

Sensores:

1. Sensor de presión: este sensor mide la presión a la entrada del filtro multimedia.
2. Sensor de presión: mide la presión a la salida del filtro multimedia para conocer la caída de presión en dicho filtro al compararla con la lectura obtenida en el punto 1.
3. Sensor de temperatura: mide la temperatura del sistema en un punto estratégico, ya que la temperatura de entrada a las membranas es un factor importante para conocer la presión necesaria para romper la presión osmótica y la calidad del agua a la salida de las membranas.
4. Sensor de conductividad: es necesario conocer la cantidad de sales disueltas a la entrada para poder compararla con la salida y conocer así el rendimiento del proceso.
5. Sensor de presión: nos indica la presión a la que se está inyectando el agua al sistema.
6. Sensor de presión: muestra la presión a la que estamos trabajando para romper la presión osmótica.
7. Sensor de presión: mediante este sensor conocemos la presión a la salida del tubo de salmuera y de esta forma calculamos la caída de presión de las membranas.
8. Sensor de conductividad: ubicado a la salida del tubo de producto, nos ayuda a conocer la cantidad de sales disueltas y calidad del líquido.

En la Tabla 4 se muestran los rangos empleados en cada sensor.

Tabla 4. Rango de los sensores empleados.

Sensor	Variable	Rango
1	Presión	0 – 100 [psig]
2	Presión	0 – 100 [psig]
3	Temperatura	0 – 50 [°C]
4	Conductividad	0 – 200 [mS/cm]
5	Presión	0 – 100 [psig]
6	Presión	0 – 1000 [psig]
7	Presión	0 – 1000 [psig]
8	Conductividad	0 – 2000 [uS/cm]

En el Anexo A se muestra la hoja de especificaciones de los sensores de presión empleados en el sistema, en el Anexo B las especificaciones del sensor de temperatura.

2.3 Elección del protocolo de comunicación para los sensores

En la industria existen varios protocolos que indican el tipo de señal que se obtendrá a la salida del sensor, por ejemplo 4-20mA, 0-5V, 0-10V, etc.

Para el caso de este sistema se ha empleado el protocolo de 4-20mA el cual nos entrega a la salida una corriente que variará entre los 4 y 20mA según se den los cambios en la variable de medición, por ejemplo, para el caso del sensor de temperatura que mide de 0 a 50 °C, tendremos que para 0 °C el sensor nos dará una señal de aproximadamente 4mA, si estuviéramos registrando 50 °C tendremos una señal de aproximadamente 20mA, para una temperatura de 25 °C, obtendríamos una señal de aproximadamente 12mA.

CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA

3.1 Modo de acceso a la información

Es importante definir en este punto del proceso, el tipo de salida del sistema que se desea, ya que de esto se parte para el diseño del sistema completo facilitando la selección de los equipos.

Existen diversas opciones para tener acceso a la información, por ejemplo, se puede tener acceso de manera local y periódica, teniendo una salida del sistema de puerto serial, donde al llegar al lugar donde se haya instalado la desaladora, enchufar dicho cable a una computadora portátil y poder visualizar las variables de instrumentación en tiempo real. Por otro lado, se podría necesitar visualizar un panel remoto y además estar guardando la información las 24 horas del día, para ello se necesitaría que la información llegue de manera automatizada a un ordenador.

Para el caso del proyecto ya descrito, se ha solicitado que se tenga acceso a la información de manera remota, en tiempo real y la información deberá enviarse de un edificio a otro de manera inalámbrica. Por lo que, la información deberá aparecer desplegada en un monitor de ordenador, este hecho dará la pauta para seleccionar el resto de los elementos del sistema de instrumentación y telemetría.

3.2 Elección del dispositivo de adquisición de datos

Este dispositivo toma una o varias señales analógicas y las digitaliza de tal manera que la información pueda ser interpretada y procesada por un ordenador o microprocesador, según sea el caso. Otra función de estos dispositivos es la de conmutar varias señales, es decir, podemos conectar varios sensores a dicho dispositivo pero finalmente tener una salida única.

Existe una gran variedad de dispositivos de adquisición de datos en el mercado, para la elección de alguno, se deben considerar varios factores entre los que se pueden destacar los siguientes:

- a) Número de sensores a conectar: en el mercado se manejan distintas capacidades, por ejemplo 4, 8, 12 o incluso más sensores.
- b) Posibilidad de aumentar en el futuro la capacidad del dispositivo: por ejemplo si se emplearán 4 sensores pero existe la posibilidad de agregar otro en el futuro deberá elegirse un dispositivo con más de 4 entradas.

- c) Tipo de señal requerida a la entrada: existen dispositivos que pueden manejar más de una opción, por ejemplo 4-20 mA y 0-5 V.
- d) Tipo de señal deseada a la salida: según el dispositivo que se encargará de la transmisión de la señal o donde se visualizará la salida se debe seleccionar el tipo de salida, por ejemplo una señal basada en el protocolo RS-232.
- e) Tiempo de muestreo requerido de las señales analógicas: se debe analizar el máximo tiempo de muestreo que podría requerirse en el sistema para asegurarse que será soportado por el dispositivo.

Para el caso concreto del sistema de telemetría de la planta desaladora, se requiere un dispositivo de adquisición de datos que soporte ocho sensores, ya que son los que se necesitan para el sistema de instrumentación planeado.

Preferentemente, el dispositivo de adquisición de datos deberá tener la posibilidad de aumentar su capacidad, por ejemplo, si en un futuro se necesitara agregar uno o más sensores para el análisis, sería conveniente tener la flexibilidad de agregar algún aditamento en lugar de adquirir un nuevo dispositivo de adquisición de datos. Aunque en su momento, de ser necesario deberá analizarse el caso ya que los productos y precios en el mercado cambian constantemente, pudiendo así ser más viable comprar un nuevo dispositivo de mayor capacidad que los aditamentos necesarios para expandir el que ya se tiene.

Otro factor a decidir sobre el dispositivo de adquisición de datos, es el tipo de señal que se debe tener a la entrada, como ya se mencionó, se ha optado por sensores que entreguen a la salida una señal de 4-20mA, por lo tanto necesitaremos que nuestro dispositivo de adquisición de datos sea compatible con este tipo de señal.

Es muy importante definir el tipo de señal que se desea tener a la salida del sistema ya que de esto dependerá la elección del dispositivo de adquisición de datos y el tipo de salida que éste presente. Como ya se ha descrito anteriormente, al final la información deberá llegar a un ordenador, donde será procesada y mostrada en el monitor.

Considerando lo anterior y tomando en cuenta que se transmitirá una señal de solo algunos *bytes*, además de la conveniencia de algunos equipos, se ha optado por emplear una salida de puerto serial empleando el protocolo de comunicaciones RS-232, de esta manera aseguramos compatibilidad con el ordenador ya que es común tener dicho puerto de comunicaciones o en su defecto, bastará con un convertidor de serial a USB.

Como ya se ha descrito, este dispositivo hará una conversión de una señal analógica a una digital, por lo tanto es importante considerar cuantas veces por segundo o minuto hará un muestreo de cada sensor. Actualmente los dispositivos de adquisición de datos son capaces de hacer una gran cantidad de muestreos en un lapso de tiempo corto.

El tiempo de muestreo mínimo necesario, dependerá de la aplicación, por ejemplo, para el caso de la desaladora se requiere tener una lectura de cada sensor aproximadamente cada dos segundos.

Reuniendo los requerimientos antes mencionados y buscando distintas opciones de equipos, se llegó a la conclusión de que un equipo que cumple con dichas características es el MicroBrick U181, que es una tarjeta de adquisición de datos con ocho entradas analógicas y una salida en puerto serial que opera bajo el protocolo de comunicaciones RS-232. En la Figura 4 se muestra el dispositivo y en la Tabla 5 sus características técnicas principales.



Figura 4. MicroBrick U181 modelo 22-0033.

Tabla 5. Principales características del MicroBrick U181

Especificaciones	
Número de entradas	8
Protocolo de comunicación	RS-232 y RS-485
Tipo de entradas soportadas	4-20 mA 0-5Vdc +/-300mV
Resolución	16 bits
Capacidad de muestreo	2 muestras/s por punto
Alimentación	24 Vdc

Aunque este dispositivo de adquisición de datos puede soportar los ocho sensores necesarios para esta aplicación, es probable que en un futuro se requiera agregar uno o más sensores, para ello existe un aditamento el cual funciona como dispositivo maestro y al que se le pueden ir agregando dispositivos esclavos, de esta manera se puede aumentar la capacidad del dispositivo antes mencionado.

Este dispositivo cuenta ya con una interfaz gráfica de muestreo la cual se presenta en la Figura 5, sin embargo no cumple con los requerimientos pedidos en el proyecto, de tal manera que se programará una interfaz gráfica que se describirá más adelante.

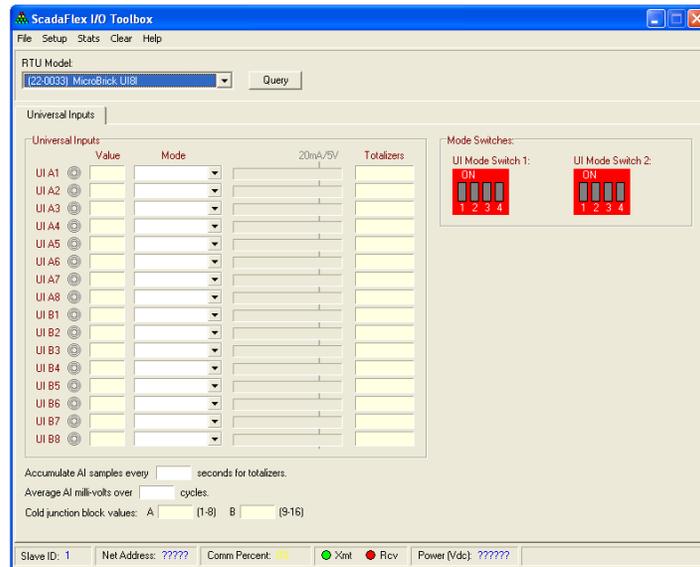


Figura 5. Interfaz gráfica de monitoreo incluida con el dispositivo de adquisición de datos.

3.3 Selección de la tecnología de transmisión de datos

Dado que para este proyecto se ha solicitado que se utilice un sistema de telemetría inalámbrico ya que se considera que en un futuro la planta desaladora podría cambiar su locación, se deberá plantear un sistema de comunicaciones que pueda adaptarse a condiciones distintas de distancia y topografía. A continuación se analizan varias opciones y se describe la que mejor se ha adaptado al caso de estudio.

3.3.1 Comunicación satelital (Globalstar)

Globalstar es un sistema de comunicaciones de voz y recientemente de datos que utiliza una constelación de satélites LEO para proporcionar una cobertura casi mundial.

La arquitectura actual del sistema Globalstar consta de 44 satélites ubicados aproximadamente a 1,410 Km de altura (propiedad de Globalstar Telecommunications) y 24 estaciones terrenas o Gateway (una de ellas propiedad de Globalstar México ubicada en San Martín Texmelucan, Puebla). Ver Figura 6.



Figura 6. Constelación con latitudes de 70° Norte a 70° Sur.

Opera utilizando un diseño “bent pipe”, esto quiere decir que cuando una señal es enviada de la tierra al satélite, éste la regresa a la estación terrena habiéndola procesado mínimamente, ya que no hay conexión inter-satelital.

Debido a que no hay Gateway para cubrir ciertos sitios remotos, como áreas oceánicas lejos de tierra firme, no se puede proveer el servicio, aun cuando los satélites se encuentren sobre dichas áreas, por lo que la cobertura es limitada, como se muestra en la Figura 7.

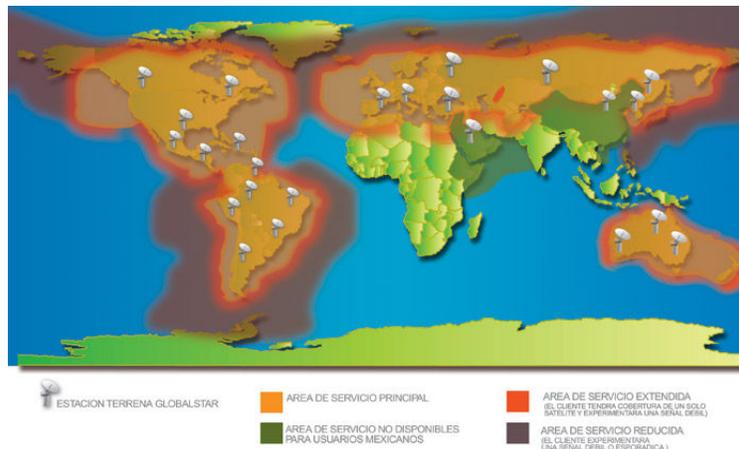


Figura 7. Cobertura del servicio de voz de Globalstar

Globalstar ofrece servicio de datos, mediante el uso de módems especiales, se puede tener una comunicación de datos de baja velocidad, ya sea Simplex o Duplex.

En la Figura 8 se muestra un diagrama de cómo podría quedar el sistema de instrumentación y telemetría empleando un enlace satelital.

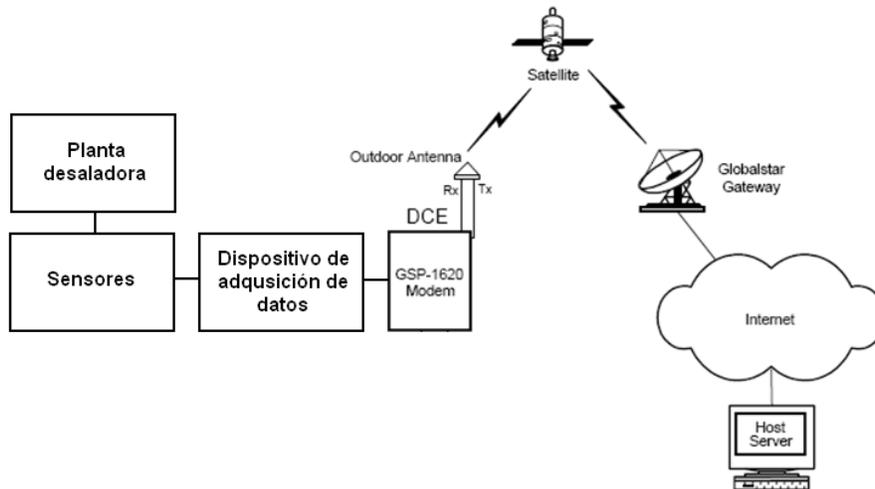


Figura 8. Sistema de instrumentación y telemetría empleando un enlace satelital.

Ventajas

- Al ser un servicio que es otorgado por una empresa, simplemente se tienen que dar las especificaciones de los tipos de parámetros que se pretenden monitorear, la ubicación y la cantidad de usuarios que pueden tener acceso a la información.
- Cuenta con cobertura en todo el país que es muy importante para este caso, ya que los sitios de las pruebas pueden ser muy diversos.
- La comunicación basada en satélites LEO es muy segura y solo tiene un retardo de aproximadamente 250 ms.

Desventajas

- La principal desventaja está en el hecho de tener que pagar renta tanto del equipo instalado como del servicio mensualmente.
- El tipo de aplicación mediante la cual es entregada la información puede no contar con todas las especificaciones necesarias, como gráficas o reportes históricos, por lo que se tendría que modificar la aplicación o crear una nueva.

3.3.2 GSM/GPRS

La red GPRS reutiliza los elementos de una red GSM existente, pero para construir una red móvil basada en paquetes, es necesario agregar nuevos elementos, tales como interfaces y protocolos que manejen el tráfico de paquetes de una manera adecuada.

Mediante las redes GSM/GPRS es posible el planteamiento de una solución prototipo para el sistema de monitoreo de la planta desaladora basado en esta tecnología. Las

características del uso de GSM/GPRS para telemetría, así como la descripción de la implementación se hacen a detalle en el Capítulo V de este documento.

La Figura 9 muestra un diagrama general a bloques del sistema de telemetría empleando tecnología GSM/GPRS.

Cabe mencionar que en México dos compañías dan el servicio de GSM/GPRS, América Móvil y Telefónica Móviles.

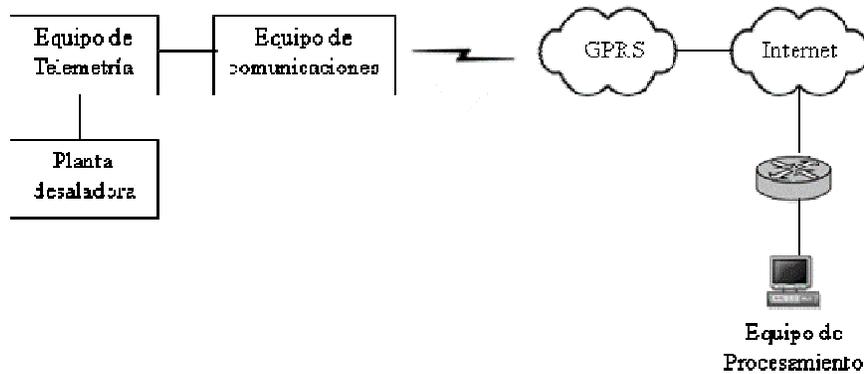


Figura 9. Diagrama a bloques del sistema prototipo para un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS.

En lo que se refiere al equipo de comunicaciones, debe de estar integrado por varios sub-módulos (ver Figura 10), ya que debe ser capaz de realizar las siguientes funciones:

- Recolectar e interpretar la información proveniente de los sensores.
- Enviar comandos de conexión al modem GPRS.
- Enviar información procesada al modem.
- Configurar paquetes en el protocolo TCP/IP.

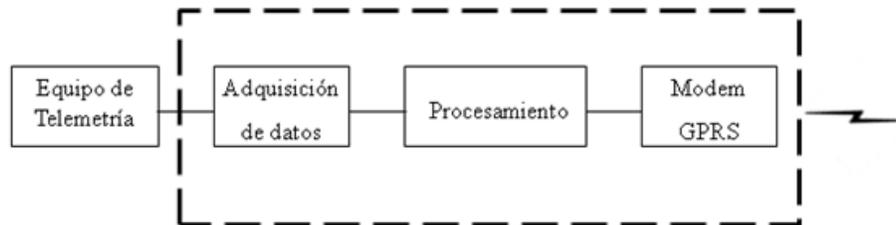


Figura 10. Equipo de comunicaciones.

En cuanto al resto de las funciones a desempeñar, existen en el mercado varias opciones de módems GSM/GPRS que cubren las necesidades. En el Capítulo V se analizarán una de estas opciones.

Ventajas

- La infraestructura ya está instalada como las radio bases, repetidoras etc.
- La robustez, ya que la conectividad GPRS está directamente relacionada con los esquemas de codificación, y éstos, dependiendo de las condiciones del medio puede variar la tasa de datos e incluso recuperar algunos paquetes que se pueden perder en la transmisión.
- Se puede variar el modo de transmisión para tener una mayor capacidad de bajada que de subida.
- La seguridad, el usuario es autenticado mediante el uso de una SIM Card, además se tiene un alto nivel de encriptación.

Desventajas

- Aunque tanto América Móvil como Telefónica Móviles cuentan con una red con cobertura casi nacional, aun existen lugares especialmente en las costas, donde no hay servicio por lo que existe una limitante en cuanto a zonas donde puede emplearse esta tecnología.
- La tarificación es por volumen de datos transferidos y de requerirse un sistema de monitoreo ininterrumpido con una frecuencia muy alta en la toma de las mediciones para la elaboración de graficas, se elevaría en gran medida el costo de operación.
- Capacidad limitada, ya que al ser recursos compartidos, en horas pico hay saturación de los canales de comunicación.

3.3.3 Radio Frecuencia

La aplicación inicial de las técnicas de espectro disperso (o SS por sus siglas en inglés Spread Spectrum), fue en el desarrollo de sistemas de comunicación militares. Para finales de la Segunda Guerra Mundial el concepto de espectro disperso resistente al Jamming (termino que se le da a la interferencia o ruido intencional producido por un intruso) era un término muy familiar para los operadores de radares, y durante los años subsecuentes, la investigación del SS fue motivada primordialmente por el deseo de lograr sistemas de comunicación altamente resistentes al Jamming. Y como resultado de esta investigación, emergieron diversas aplicaciones en áreas como reducción de la densidad de energía, supresión de la interferencia y múltiple acceso. El término Espectro Disperso se debe a que el ancho de banda empleado en la transmisión es mucho más grande que el mínimo requerido para transmitir la información. Un sistema que se defina como SS debe cumplir los siguientes requerimientos.

- Que la señal ocupe un ancho de banda mucho mayor que el mínimo necesario.

- El esparcimiento es realizado por medio de una señal esparcida, frecuentemente llamada código de esparcimiento, que es independiente de los datos.
- En el receptor, el des-esparcimiento (la recuperación de los datos originales) se lleva a cabo mediante la correlación de la señal esparcida recibida con una señal síncrona del código de esparcimiento usada para el envío de la información.

Arquitectura prototipo

En la Figura 11, se presenta un esquema de lo que sería una solución para el monitoreo de la planta desaladora basándose en alguna de las técnicas de espectro disperso.

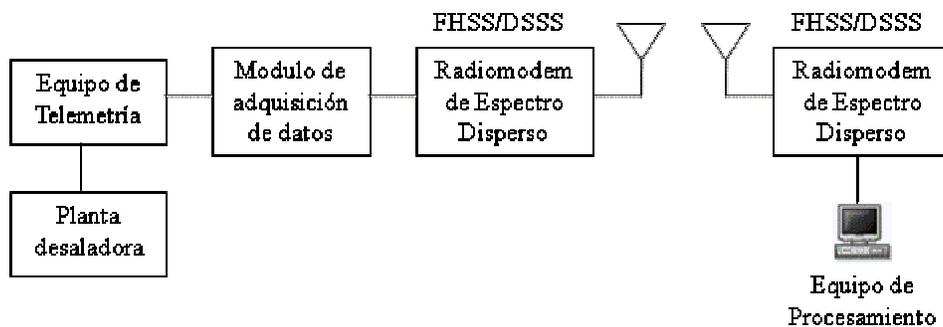


Figura 11. Diagrama a bloques del sistema prototipo con radio módems.

En relación con los radio módems de espectro disperso, existen diversos modelos que difieren en la técnica de esparcimiento y/o frecuencia de operación.

Por otro lado, el equipo de procesamiento igualmente tendrá que contar con una aplicación para la correcta manipulación de la información enviada, esta puede ser mediante algún lenguaje de programación como Visual Basic o Software especializado.

Ventajas

- Una vez procesados los datos mediante alguna aplicación estos pueden ser puestos en Internet para ser consultados por las personas interesadas.
- Es muy versátil en cuanto al alcance, ya que se pueden cambiar los tipos de antenas por unas de alta ganancia para distancias mayores.
- Si se trabaja en frecuencias libres se está completamente exento de cualquier tipo de renta o pago de derechos.
- Los radio módems presentan diversos niveles de encriptación por lo que la comunicación es lo suficientemente segura.

Desventajas

- El alcance está limitado por la potencia que presenten los radio módems, así como el tipo de antenas y condiciones del terreno.
- Si las condiciones topográficas del terreno lo requieren, sería necesario el uso de repetidoras, pero esto incrementaría el costo.
- Al trabajar en frecuencias libres, existe interferencia por equipos cercanos trabajando en la misma banda.
- Se requiere de alimentación de energía considerablemente alta, por lo que su instalación requiere estar cerca de tomas de corriente.

Con base al análisis anterior y dadas las características solicitadas por el proyecto, se ha optado por emplear radio módems como sistema de transmisión de datos, en el capítulo siguiente se profundiza en esta tecnología como base para sistemas de telemetría.

CAPÍTULO IV

SISTEMA DE TELEMETRÍA BASADO EN RADIO FRECUENCIA

4.1 Radio Frecuencia en los Sistemas de Telemetría

En la industria actual, muchos de los sistemas de telemetría emplean RF ya que presenta ciertas características muy convenientes en ciertas aplicaciones, a continuación se describe un caso real en el que se emplea RF y se describen las razones por las que se emplea dicha tecnología en lugar de otras.

El Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOPAS) tiene entre sus labores la de operar y conservar los sistemas de aprovechamiento y distribución de agua potable y alcantarillado de Morelia Michoacán; supervisar y vigilar su funcionamiento; autorizar y supervisar las conexiones del sistema de agua potable, así como la construcción y conservación de pozos y manantiales, ampliando y mejorando los sistemas de agua potable.

Sobre la administración del agua potable, cada predio en Morelia tiene un micro medidor que contabiliza el consumo de agua, anteriormente era necesario visitar cada predio para tomar la lectura, actualmente se emplea un sistema de telemetría de RF que consiste en el uso de equipos que operan bajo la tecnología ZigBee, de esta manera se emplean radios de corto alcance y baja capacidad de transmisión pero baratos y de bajo consumo de energía, teniendo las características anteriores se hace viable el uso de estos dispositivos en grandes cantidades y en aplicaciones donde no se requiere una alta capacidad de transferencia de información y el ahorro de energía es crucial, pues deben ser independientes de una toma de corriente eléctrica teniendo la opción de usar baterías de larga duración.

Las lecturas se envían desde cada dispositivo a otro que funciona como concentrador o ZigBee Router el cual tendrá mayor capacidad de soportar tráfico de datos y mayor alcance en su transmisión, finalmente desde cada concentrador se envía a un centro de control o ZigBee Coordinador. A continuación se describen las características principales de la tecnología ZigBee.

4.1.1 ZigBee

Se caracteriza por una transmisión de datos a corta distancia, una baja tasa de envío de datos, de electrónica relativamente simple, un bajo costo de fabricación y alto ahorro de energía lo que alarga considerablemente la vida de su batería.

ZigBee está basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN por sus siglas en inglés), la especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el

14 de diciembre de 2004. La revisión actual de 2006 se aprobó en diciembre de dicho año.

ZigBee utiliza la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), típicamente se emplea la banda de 2,4 GHz.

Para mayor familiarización del lector con esta tecnología, puede compararse con Bluetooth, pues pertenece a la misma familia y son similares en varios aspectos. A continuación se muestra una tabla comparativa.

Tabla 6. Comparativo entre ZigBee y Bluetooth.

	ZigBee	Bluetooth
Velocidad de Transmisión	250 Kbps	3 Mbps
Consumo en modo <i>idle</i>	3 μ A	0.2 mA
Consumo en modo de transmisión	30 mA	40 mA
Número máximo de subredes	255	8
Hardware	Un nodo completo ZigBee requiere el 10% de un nodo Bluetooth	
Código	El código de ZigBee es el 50% del de un nodo Bluetooth	
Usos	Telemetría, domótica, sensores médicos, automatización	Teléfonos móviles, intercambio de información entre <i>gadgets</i>

Según la función de un dispositivo ZigBee en la red, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Coordinador ZigBee (ZC):

Debe existir un Coordinador por red pues la controla y define los caminos en que deben conectarse los dispositivos, se trata de un dispositivo muy completo en cuanto a *hardware*.

Router ZigBee (ZR):

Interconecta dispositivos separados en la topología de red.

Dispositivo Final (ZED):

Posee los requerimientos mínimos de memoria y la mayoría del tiempo está en modo *idle* por lo que maximiza la vida de la batería. Sólo puede comunicarse con su nodo padre, es decir un dispositivo ZC o ZR.

Según las características de un dispositivo ZigBee en la red, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Dispositivo de Funcionalidad Completa o nodo activo (FFD):

Con nivel de procesamiento y memoria adicionales, puede ser usado como ZC o ZR.

Dispositivo de Funcionalidad Reducida o nodo pasivo (RFD):

Sus capacidades son limitadas con lo que se busca reducir costo y consumo de energía, son usados como dispositivos finales en las redes.

Para la banda de 2.4 GHz, ZigBee emplea 16 canales con un ancho de banda de 5 MHz por canal, el rango de transmisión varía de entre 10 y 75 metros y la potencia de salida empleada es de 1mW.

El acceso al canal se da por CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance) donde cada dispositivo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones, de tal manera que el resto de los dispositivos se esperarán un tiempo aleatorio corto antes de intentar transmitir.

En cuanto a la topología de red, ZigBee presenta un gran potencial empleando los dispositivos en Malla, adicionalmente puede usarse en Estrella y Árbol.

ZigBee representa una solución para telemetría y otras aplicaciones, según los requerimientos puede emplearse esta tecnología u otras dentro de los dispositivos de RF. Aunque para este proyecto, dados los requerimientos, se empleo una tecnología distinta a ZigBee, para ampliar las opciones del lector, a continuación se muestran algunos equipos basados en la tecnología ZigBee existentes en el mercado.

iKor Metering es una empresa española que vende dispositivos para crear redes ZigBee, su principal mercado es el sector hidráulico, pues fabrica radios ZigBee que pueden adaptarse fácilmente a micromedidores de flujo de agua, estos envían periódicamente una lectura hasta un Concentrador o Router ZigBee quienes a su vez envían toda la información recolectada hasta una estación base o ZigBee Coordinador, este último tiene la capacidad de retransmitir los datos hasta un servidor, vía GSM/GPRS.

El Dispositivo Final ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene un alcance con línea de vista de hasta 300 m y cuenta con una batería que la da una autonomía de hasta 10 años enviando una lectura diaria.



Figura 12. Radio ZigBee (ZED) adaptado en un micromedidor.

El Dispositivo Router ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene un alcance con línea de vista de hasta de 300 m y cuenta con una batería que la da una autonomía de hasta 10 años enviando una lectura diaria, puede gestionar hasta 50 Dispositivos finales ZigBee.



Figura 13. Router ZigBee (RC).

El Dispositivo Coordinador ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, cuenta con un módem GSM/GPRS lo que le permite el envío de la información empleando la red de telefonía celular existente, se alimenta mediante corriente directa y tiene opción para uso de panel solar y baterías, puede gestionar hasta 15 Router ZigBee.



Figura 14. Coordinador ZigBee (ZC).

4.2 Selección de los equipos

Para el diseño de un sistema de telemetría se deben considerar varios requerimientos, entre los cuales se mencionan los siguientes:

- a) Distancia entre sistema instrumentado y operador.

- b) Medio de transmisión, alámbrico o inalámbrico.
- c) Topografía del terreno.
- d) Tipo y cantidad de datos a transmitir.
- e) Modo de comunicación (punto a punto, multipunto a punto, etc).
- f) Tipo de antenas.
- g) Tipo de entrada y salida requeridas.
- h) Presupuesto.

La distancia a cubrir con el enlace juega un papel importante en la toma de decisión de los equipos a implementar, en telemetría típicamente se emplea Radio Frecuencia, se usan Radio módems comerciales por la conveniencia de que pueden cubrir grandes distancias y los precios son accesibles. En el caso de que sea un sistema alámbrico, se debe considerar el tipo de cable o fibra óptica más apropiado para el tipo de datos que se manejarán, por ejemplo en el caso de par trenzado, existen distintas categorías con distintas características.

Se debe definir si se tratará de un sistema alámbrico o inalámbrico, por ejemplo, en el caso de plantas industriales se emplea generalmente cable para transmitir la información ya que el centro de monitoreo o control se encuentra generalmente dentro de la misma planta o cerca del lugar, por otro lado, en el caso de estaciones meteorológicas donde por lo general se instalan torres instrumentadas a varios kilómetros de distancia del centro de monitoreo, se emplean radio módems.

Se debe considerar la topografía del terreno, la mayoría de los equipos indican una distancia de alcance tanto en exteriores como en interiores, generalmente se especifica una distancia máxima de alcance con línea de vista, pero al intentar cubrir grandes distancias difícilmente se consigue tenerla. Por ejemplo, se puede conseguir tener línea de vista empleando torres con las cuáles se puede dar una gran altura a los equipos, sin embargo esto incrementará el costo del sistema, por otro lado se pueden emplear repetidores para conseguir evadir algún obstáculo o para darle un mayor alcance al sistema, sin embargo se continúan incrementando los costos. Todos estos factores deben considerarse al planear un sistema de telemetría.

En lo que respecta a los datos a transmitir, debe considerarse el tipo de datos y la cantidad de estos, por ejemplo, no es lo mismo transmitir video, que requiere un ancho de banda considerable que transmitir sólo algunos valores numéricos de variables de medición. Actualmente en el mercado existe una gran variedad de equipos para transmisión de datos, tanto basados en Radio Frecuencia como en Microondas o incluso en Fibra Óptica. De esta manera, si por ejemplo, necesitamos transmitir video con audio, que está captando en tiempo real una cámara de video vigilancia, podremos entre otras opciones, optar por equipos inalámbricos, basados en microondas de tal manera que puedan soportar el envío de gran cantidad de información.

En cuanto al modo de comunicación, puede presentarse el caso en el que se necesite acceder desde varios puntos a uno mismo (multipunto a punto), desde un mismo punto a varios (punto a multipunto) o punto a punto, de esta manera se deberá definir

el tipo de acceso requerido para seleccionar el equipo necesario. Generalmente los dispositivos de Radio comunicaciones soportan varios modos, sólo se debe configurar adecuadamente la conexión entre éstos.

De lo anterior se deriva el tipo de antenas que necesitaremos, por ejemplo, en el caso de que se necesite un acceso punto a multipunto, será conveniente emplear antenas omnidireccionales que radian ondas electromagnéticas en todas direcciones sobre un plano, por otro lado, en caso de tener un acceso punto a punto podríamos emplear tanto antenas direccionales que concentran las ondas electromagnéticas en una misma dirección, como antenas omnidireccionales. En el caso de que además de querer enviar la información en una dirección definida, se necesite ampliar el rango de alcance, se pueden utilizar antenas direccionales ya que al concentrar la energía en una dirección se logra aumentar la intensidad con que se radia.

Es elemental tener el conocimiento previo del tipo de entrada que se manejará antes y después del sistema de transmisión de datos, es decir, si se necesitará una interfaz de puerto serial, del tipo Ethernet sobre un conector RJ-45, etc.

Como en todo proyecto de ingeniería, el presupuesto es un factor decisivo en la planeación e implementación, si bien es cierto que se debe buscar siempre minimizar costos, también se debe hallar un equilibrio entre el costo – beneficio, quizá la mejor opción no siempre es la más barata. En el mercado existe una gran cantidad de dispositivos también con una gran variedad de precios, se debe analizar a detalle los requerimientos mínimos que se necesitan y con base en eso cotizar varias opciones.

Para el caso de la planta desaladora, como ya se ha descrito antes, se debe implementar un sistema de telemetría entre el Edificio 8 del Instituto de Ingeniería y la Torre de Ingeniería. La desaladora se encuentra instalada y operando periódicamente en el Edificio 8, la información se pretende recibir en un ordenador ubicado en el sexto piso de la Torre de Ingeniería. Entre ambos puntos existe aproximadamente una distancia lineal de 100 metros, no existe línea de vista pero debido a que se trata de una distancia muy corta, la señal puede llegar fácilmente por medio de “rebotes”. Se ha solicitado que el enlace entre ambos puntos sea inalámbrico. Los datos a transmitir serán una serie de valores numéricos obtenidos de los 8 sensores, el dispositivo de adquisición de datos tomará una muestra cada 0.5 segundos y la enviará como una palabra de 16 bits por cada sensor. El acceso para este caso será punto a punto y las antenas en principio pueden ser tanto omnidireccionales como direccionales. El tipo de interfaz que necesitamos a la entrada y salida, como ya se ha definido con el resto del sistema, deberá ser puerto serial de 9 pines operando bajo el protocolo de comunicaciones RS-232 o RS-485.

Una vez analizados los requerimientos y consultado varias opciones en el mercado, se decidió emplear los Radio módems de la empresa MaxTream modelo 9XTend PKG, Figura 15.



Figura 15. Radio módem MaxTream, 9XTend PKG

Estos radio módems emplean la tecnología de espectro disperso tienen un alcance en exteriores teórico de hasta 64 Km con línea de vista, emplean una interfaz de puerto serial y usan el protocolo RS-232 para comunicaciones, disponen de antenas omnidireccionales pero tienen la opción de cambiarse por antenas direccionales. En la Tabla 7 se muestran las principales características de los radio módems empleados en el sistema de telemetría de la planta desaladora.

Tabla 7. Características de los Radio módems MaxTream, 9XTend PKG

Especificaciones	
Banda de frecuencia	ISM 902 - 928 MHz
Alcance	64 Km en exteriores con línea de vista 900 m en interiores
Potencia de salida	De 0.001 a 1 W
Sensibilidad del receptor	-110 dBm
Velocidad de proceso y transferencia de datos	9600 / 115200 bps
Encriptación	AES 256-bit
Tecnología de Transmisión por Espectro Amplio	FHSS (Espectro Amplio mediante Saltos en Frecuencia)
Modulación	FSK

4.3 Pruebas con los equipos

Es bien sabido que la información que ofrece un fabricante respecto a sus equipos es teórica, pues depende de gran cantidad de factores el rendimiento de dicho equipo. En el caso de los Radio módems y considerando que se cambie de locación la planta desaladora, se optó por llevar a cabo algunas pruebas para conocer el rendimiento de los radio módems ante distintas condiciones de distancia, alturas y ruido externo. A continuación se describe brevemente algunas de estas pruebas y los resultados obtenidos.

En la práctica nos enfrentamos con dificultades por ejemplo el hecho de que en la Ciudad de México debido a la gran población y al auge actual de las Telecomunicaciones, existe una gran cantidad de ruido electromagnético el cuál limita las posibilidades de alcance.

Las pruebas fueron diseñadas de tal manera que se probara el enlace ante las condiciones y dificultades antes mencionadas. Para dichas pruebas, se dejó fijo uno de los radio módems (Punto A) en la parte más alta de la Torre de Ingeniería o en la parte alta del Edificio 8, el otro radio módem (Punto B) se trasladó a distintos puntos a determinadas distancias y alturas.

Descripción de la prueba: El radio módem transmisor (A) emite una serie de paquetes de datos, el módem receptor (B) los recibe y los reenvía de regreso, el módem A mostrará como resultado el porcentaje de paquetes que se transmitieron y recibieron exitosamente y por lo tanto, el porcentaje de paquetes que se perdieron. Mediante el software de configuración X-CTU de la empresa MaxStream, se puede observar una gráfica con la cantidad de paquetes que se están enviando y perdiendo, además de la potencia captada por el Radio módem. En la Figura 16 se muestra dicha interfaz gráfica. En la barra del lado izquierdo se aprecia el porcentaje de paquetes recibidos, en la barra del lado derecho se muestra la potencia percibida por el Radio módem.

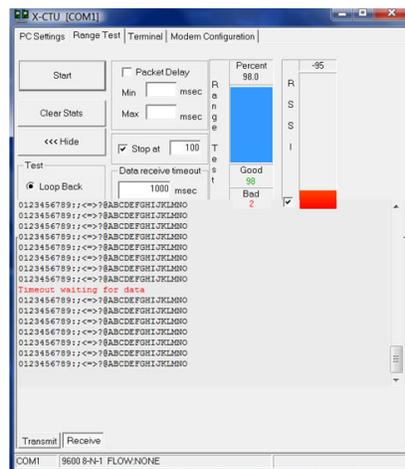


Figura 16. Interfaz gráfica del software de configuración.

Derivado de estas pruebas se obtuvo una serie de datos en donde de manera general se concluyó que a pesar de tratarse de una zona urbana con una gran densidad de edificios altos y gran cantidad de interferencia por parte de otras señales se logró tener comunicación de calidad aceptable entre los radio módems. En la Tabla 8 se hace un resumen de las características del enlace ante distintas condiciones.

Tabla 8. Resumen de algunos resultados obtenidos de pruebas realizadas con los Radio módems.

Distancia [Km]	Altura RM fijo [m]	Altura RM móvil [m]	Número de obstáculos	Calidad del enlace
0.3	8	15	Bajo	Muy buena
0.5	8	1	Alto	Nula
0.75	8	21	Alto	Muy baja
1	8	1	Alto	Nula
1.3	30	14	Mediano	Excelente
1.5	30	5	Alto	Nula
2.7	30	42	Nulo	Excelente
5	30	18	Mediano	Mala

De manera general, la respuesta de los Radio módems ha sido muy buena, se logró tener comunicación a pesar de encontrarse con una cantidad considerable de obstáculos entre antenas y no teniendo una buena elevación de las mismas.

Para el caso de la prueba con 5 Km entre antenas, a pesar de la distancia y la interferencia, logró tenerse comunicación de calidad mala, pero esto podría mejorarse empleando antenas direccionales o instalando las antenas a una mayor altura.

Cabe mencionar que estas pruebas fueron realizadas sólo para darnos una idea de los límites del equipo y no para presentar resultados concretos, pues aunque se ha estimado una altura de la antena para cada caso, debemos recordar que la Ciudad de México no se encuentra sobre un mismo plano horizontal y las distancias respecto al suelo son relativas.

Por otro lado, la selección de las distancias entre antenas no fue uniforme debido a la dificultad de encontrar un lugar en la ciudad que se encontrara a determinada distancia, a cierta altura y al que además se pudiera tener acceso.

CAPÍTULO V

SISTEMA DE TELEMETRÍA BASADO EN GSM/GPRS/SMS

5.1 GSM/GPRS/SMS en los Sistemas de Telemetría

Global System for Mobile Communications, o GSM, es un estándar de comunicación celular ampliamente usado en todo el mundo, se caracteriza por ser una tecnología digital en la que la información se comprime antes de ser enviada, optimizando el ancho de banda y adquiriendo todos los beneficios de las comunicaciones digitales. En la Tabla 9 se muestran las bandas de frecuencias empleadas para GSM.

Tabla 9. Bandas de frecuencia para GSM

Banda	Nombre	Canales	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
GSM 850	GSM 850	128-251	824-849	869-894
	P-GSM 900	1-124	890-915	935-960
GSM 900	E-GSM 900	975-1023	880-890	925-935
	R-GSM 900		876-880	921-925
GSM 1800	GSM 1800	512-885	1710-1785	1805-1880
GSM 1900	GSM 1900	512-810	1850-1910	1930-1990

En México los Operadores de telefonía celular basada en GSM emplean la banda GSM 1900.

GSM hace uso de varias técnicas para crear una comunicación adecuada y maximizar el ancho de banda disponible, de esta manera emplea SDMA (Space Division Multiple Access) dividiendo en celdas el área de cobertura y reutilizando los canales de frecuencias en celdas no contiguas. Emplea TDMA (Time Division Multiple Access) con lo que conmuta varias llamadas que emplean simultáneamente una misma banda de frecuencias. FDMA (Frequency Division Multiple Access) con lo que emplea diversos canales de frecuencias con usuarios dentro de una misma celda. FHMA (Frequency Hopping Multiple Access) con lo que se asignan frecuencias a los usuarios de una manera aleatoria.

El estándar GSM por sí sólo no es óptimo para el envío de datos pues sus características son más adecuadas para voz, por lo que surge una extensión denominada GPRS (General Packet Radio Service), el primer estándar de GPRS se debe al European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

GPRS permite velocidades de transferencia de 56 a 144 kbps y el envío de información se basa en paquetes, para mejor comprensión del lector, puede hacerse una analogía con el protocolo TCP/IP en el que las peticiones de la red y el envío de información se hace por medio de direccionamiento IP, en este caso se emplea un APN (Access Point Name) dando así a cada dispositivo un identificador, para el caso de GSM se hace por

medio de la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) que es una tarjeta capaz de almacenar la información suficiente del usuario para que se pueda desmontar de un equipo celular e insertar en otro teniendo las mismas prestaciones de la red.

Con GPRS se puede tener en un equipo celular, servicios tales como WAP (Wireless Application Protocol), MMS (Multimedia Messaging Service), WWW (World Wide Web) y SMS (Short Messaging Service) entre otros.

Cuando se establece una llamada sobre GSM, se requiere un ancho de banda fijo y dos canales simultáneos, uno de subida y otro de bajada, aunque ninguno de los dos usuarios esté empleando el canal de comunicaciones, mientras la llamada esté activa, ningún otro usuario podrá emplearlo, por otro lado, si se tiene una llamada sobre GPRS, el usuario sólo usa el canal cuando está enviando o recibiendo un paquete, mientras esto no suceda, el canal se encuentra libre para otros usuarios.

GPRS emplea TDMA (Time Division Multiple Access) para que varios usuarios compartan un canal de frecuencias, si el usuario envía información será un canal de subida, si recibe información se tratará de un canal de bajada. La longitud de los paquetes corresponde a la ranura de tiempo de GSM.

Sobre SMS en telemetría, tiene un gran potencial pues es sumamente empleado como alarmas, esto es, se define un umbral para ciertas variables de instrumentación y se programa el dispositivo en cargado de adquirir los datos y de controlar un módem GSM/GPRS para que al rebasar cierto nivel envíe una alarma SMS a cualquier teléfono celular de algún Ingeniero en campo.

Otro uso de SMS dentro de la telemetría es para Telecomando, esto se refiere a la configuración remota de los equipos, de esta manera se puede enviar un SMS al dispositivo que adquiere los datos, previamente programado, para solicitarle algún cambio en la configuración o quizá hacerle una petición de envío de determinada información.

Cabe mencionar que a diferencia de GSM, GPRS se cobra por volumen de datos y no por tiempo de llamada, pues como ya se ha descrito cuando se están enviando paquetes el ancho de banda es compartido, mientras no se esté enviando o recibiendo, el canal de comunicación se encuentra libre para otros usuarios.

A continuación se describe un caso real en el que se solicitó la implementación de un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS.

La Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (JUMAPA) es el organismo operador de dichas áreas en Celaya Guanajuato, para tener un control sobre los flujos de agua potable en diversos puntos y conocer el abastecimiento, es necesaria la instalación de sensores en 31 pozos, desde los cuales se requiere enviar la información recolectada hasta un punto donde se concentrará y administrará dicha información. En cada uno de los 31 puntos se estará tomando una muestra por sensor cada 15 minutos que se estarán enviando al centro de monitoreo, donde deberán desplegarse en una

interfaz gráfica. Se requiere gran fiabilidad en la transmisión de la información y el envío de alarmas a Ingenieros en campo.

Dados los requerimientos, se ha llegado a la conclusión de que lo más adecuado sería la implementación de un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS pues el volumen de datos es muy bajo, la zona de pozos se encuentra totalmente dentro de la cobertura de telefonía celular, la fiabilidad de envío de los datos es grande y se cuenta con la opción de envío de alarmas SMS a Ingenieros en campo.

Para lo anterior, se instalarían tarjetas de adquisición de datos con entradas hasta para 6 sensores, pues son los que se han solicitado por cada punto a monitorear, se empleará una salida RS-232 mediante puerto serial, conector DB-9 y se contarán a módems GSM/GPRS, se configurará una conexión multipunto a punto, en la que se instalarán 31 módems, uno por cada punto y todos los envíos de lecturas se canalizarán al módem conectado a un servidor que será el centro de monitoreo.

Sobre el volumen de datos a contratar, los operadores ofrecen varios planes con una cantidad definida de Mbytes, para elegir la más adecuada, debe hacerse una planeación del volumen de datos mínimo requerido y dejar un margen de volumen de datos. Para este caso se tienen 6 sensores por punto, 31 puntos, se enviará una lectura cada 15 minutos y cada lectura emplea un volumen de 42 bytes, el formato de cada dato a enviar será:

“22/01/2010,11:36:30,2.71947442719959,5”

Donde se indica “fecha/hora/valor de la variable/número de canal”, por lo tanto se necesitará un mínimo de 22.3 Mbytes de capacidad para transferencias mensuales y 32 tarjetas SIM.

Cabe mencionar que se debe solicitar al operador un APN pues las tarjetas SIM de cada módem deberán estar configuradas como si fuera una red privada y enviar datos vía GPRS. También debe contemplarse el consumo de alarmas SMS, para ello deberá hacerse un estudio donde se defina el número probable de alarmas SMS mensual.

5.2 Selección de los equipos

Para mejor comprensión del lector sobre los sistemas de telemetría basados en GSM/GPRS/SMS se describirá a continuación el proceso de implementación de un sistema punto a punto incluyendo el diseño de un Datalogger y la mención de algunos equipos existentes en el mercado.

En la Figura 17 se muestra los elementos básicos de un sistema de telemetría.



Figura 17. Elementos básicos de un sistema de telemetría GSM/GPRS.

Objetivo:

Se implementará un sistema de telemetría el cual consistirá de un Datalogger basado en el microprocesador Rabbit RCM4200, capaz de registrar datos desde uno o varios sensores, un módem GSM/GPRS Transmisor conectado directamente al Datalogger, un módem GSM/GPRS Receptor conectado a una Computadora y un programa de monitoreo instalado en el ordenador donde se recibirán e interpretarán los datos.

Cabe mencionar que el Datalogger será la combinación del microprocesador Rabbit RCM4200 con una tableta de desarrollo con diversas conexiones de entradas y salidas.

Se define como un sistema punto a punto, pues en principio la comunicación se dará sólo entre dos terminales, la Terminal de salida compuesta por Datalogger más Módem Transmisor y la Terminal de entrada formada por el Módem Receptor más la Computadora.

En la Tabla 10 se especifican las funciones de cada elemento que integrará el sistema de Telemetría completo.

Tabla 10. Descripción de los elementos que componen el sistema de Telemetría.

Elemento	Descripción
Datalogger	Basado en el microprocesador Rabbit RCM4200, se tiene un Datalogger capaz de recibir hasta 25 canales digitales y 8 analógicos, este dispositivo debe programarse en lenguaje C, básicamente se indicarían todas las posibilidades de solicitud y respuesta, además de programar el lenguaje de comunicación con el Módem GSM/GPRS.
Módem GSM/GPRS Transmisor	Controlado por el Datalogger, su función será la de transmitir los datos recibidos desde los sensores, además de recibir peticiones desde el Módem GSM/GPRS Receptor y teléfonos celulares, ejemplos de estas peticiones son el solicitar datos en determinado momento o modificar la configuración del Datalogger.
Módem GSM/GPRS Receptor	Este dispositivo estará conectado a una Computadora y su función principal será la de recibir la información enviada por el Módem Transmisor, adicionalmente podrá solicitarse peticiones de envío de información determinada, el reenvío de información y cambios de configuración, entre otras funciones.
Ordenador	Se requiere de una Computadora cuyas características deben ser Windows XP o superior, memoria RAM 1 GB o superior, Disco Duro de 160 GB o superior y tener disponibles un puerto Serial y USB.
Software	Mediante el lenguaje de programación LabView de National Instruments, se programará una interfaz gráfica de monitoreo, la cual podrá visualizarse en el monitor de la Computadora, esta interfaz se puede diseñar según los requerimientos y puede incluir gráficas, tablas, históricos, señalización de alarmas, visualización de datos en tiempo real y permite la programación de envío de reportes por correo electrónico.

Por si el lector no está familiarizado con el término Datalogger, éste es un dispositivo capaz de recibir varias señales de sensores y retransmitirlas con determinadas características, por ejemplo, las digitaliza, amplifica y concentra para ser enviadas nuevamente.

Para la implementación del sistema de telemetría se definieron varias etapas, las cuáles se describen a continuación, para cada caso se comentará sobre los equipos empleados.

Etapas 1. Seleccionar los módems GSM/GPRS, definir funciones a emplear y enlistar comandos útiles.

Existen en el mercado varias opciones de módems GSM/GPRS, algunos muy completos en cuanto a opciones de configuración y funciones y otros que se enfocan en determinados propósitos, para el caso de un prototipo es recomendable tener equipos multipropósito aunque generalmente sean más caros, pues se busca explorar todas las opciones que nos ofrecen, experimentar y finalmente definir cuáles de esas funciones se ajustan más a las necesidades de cada proyecto.

Para la implementación de este sistema, se han comprado los módems modelo Spider GSM1308, del fabricante ENFORA. Figura 18.



Figura 18. Modem GSM/GPRS Spider GSM1308.

Este equipo presenta características muy completas y se le puede dar varias funciones, esta etapa inicial consistió en definir cuáles de estas funciones y configuraciones son de utilidad para el propósito de un sistema de telemetría punto a punto, para ello se definieron los comandos AT necesarios.

Los comandos AT, son una serie de instrucciones que forman un lenguaje de comunicación estandarizado y el cuál se emplea típicamente en equipos GSM y de Radio Frecuencia, al tratarse de un lenguaje estandarizado, los comandos que utilizaremos son universales, sin embargo existen algunos que aplican a determinados modelos de módems que dependerá de las funciones que soporten.

Aunque existen varias listas de comandos AT, se recomienda emplear el manual de comandos proporcionado por el fabricante del equipo, pues de esta manera aseguramos la compatibilidad de todos ellos con el módem que se haya adquirido.

La razón de que ésta haya sido la etapa inicial, es que se deben conocer las capacidades del módem y los comandos AT necesarios para su configuración y operación, una vez que se tenga esta información se puede proceder a la creación del algoritmo de programación que se implementará en el Datalogger.

Etapa 2. Programación del Microprocesador RCM4200.

Esta etapa comprendió la estructuración del programa que manipulará el sistema de telemetría y la implementación del mismo mediante Lenguaje de programación C. Dicha estructuración integra instrucciones, comandos de control de los módems, una primera interpretación de los datos de entrada al Datalogger, acciones de respuesta a determinadas entradas y la consideración de casos especiales y manejo de errores que puedan presentarse en el sistema.

Se habla de una “primera interpretación” pues posteriormente el Software programado realizará una nueva interpretación de la información ya que deberá separarla y procesarla realizando y mostrando gráficas, tablas o incluso los datos en tiempo real. En cambio el microprocesador debe definir si se trata de una señal analógica o digital, definir el canal del que se recibe y con esto, su destino.

A continuación se describe el algoritmo a seguir para la programación del microprocesador que integrará el Datalogger, el código dependerá del dispositivo, sólo se especifican los comandos AT necesarios para realizar las funciones requeridas por un sistema de telemetría punto a punto.

Algoritmo de programación:

- a) Indicar librerías y funciones para el uso de puerto serial.
- b) Indicar librerías para lectura de entradas analógicas o digitales, en el caso del microprocesador RCM4200 de Rabbit Semiconductor, existen librerías y funciones específicas para activar una o varias de sus 8 entradas analógicas y 25 entradas digitales.
- c) Comprobar comunicación con el MODEM mediante comando “AT”:
La prueba inicial es enviar los caracteres “AT” desde uno de los puertos del microprocesador al Módem GSM, el programa compilado en el módulo Rabbit deberá esperar los caracteres “OK”, una vez recibidos se puede decir que existe una correcta comunicación entre el módulo Rabbit y el módem.

Cabe mencionar que cada vez que se introduzca un comando se debe enviar al final un “ENTER” o el equivalente a la tecla ENTER del teclado.

- d) El siguiente paso será preparar el módem para hacer una llamada de datos y establecer comunicación transparente, se emplearán los siguientes comandos:

AT&F <este comando da un reset a la configuración actual del módem>

AT+CBST=7,0,0 <prepara al módem para una velocidad de operación, una comunicación asíncrona y transparente>

AT+ICF=3,0 <prepara al módem para operar con un formato de 8 bits, 1 bit de parada y sin paridad>

AT+IFC=0,0 <con este comando indicamos que no se requiere control de flujo para esta aplicación>

ATSO=1 <configuramos al módem para contestar automáticamente a una llamada transparente al primer "ring">

AT&W <guardamos la configuración en memoria>

Nota: si en alguna aplicación se requiriera cambiar la velocidad de transmisión, se puede emplear el comando:

AT+IPR=115200 <prepara al módem para operar a una velocidad de 115200 baud>

e) Después de la configuración del módem, antes descrita, es necesario esperar los caracteres "CONNECT" del módem, en señal de que se ha creado una comunicación transparente.

Es importante comprender que a partir de este momento, todo lo que sea enviado a través del puerto serial, será transmitido desde un módem hasta el otro, será en este momento cuando debemos enviar los datos de interés, es decir, las muestras recolectadas de cada sensor.

f) Una vez que ha terminado el proceso de envío de datos, es necesario terminar la llamada para regresar el estado de "comandos" para poder ingresar comandos AT, esto se logra mediante el comando:

ATH <terminar la llamada>

g) Verificar si se han recibido mensajes.

Recordemos que una de las características de un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS es la de recepción y envío mensajes de texto basado en el protocolo SMS (Short Messaging Service), que entre otras aplicaciones tiene la de:

i) Envío de alarmas

ii) Envío de telecomandos

El envío de alarmas puede hacerse a otro módem GSM conectado a una computadora o a cualquier dispositivo móvil que soporte el SMS (teléfonos celulares).

El envío de telecomandos se refiere a modificar la configuración de un sistema o hacer la solicitud de envío de determinada información de manera remota, para este caso, se hace por medio de mensajes de texto.

Una vez que se ha finalizado la llamada desde el módulo Rabbit, es necesario verificar si se han recibido mensajes mientras el módem se encontraba en la llamada de datos, pues de haber recibido alguno en este lapso de tiempo, no se habrá generado ninguna alerta. El comando será:

```
AT+CMGL="REC UNREAD"
```

Si no existen mensajes nuevos, el módem responderá únicamente con un "OK", en caso de existir mensajes nuevos, estos se enlistarán con el siguiente formato:

```
+CMGL:X, "REC UNREAD", "+525512680009", "10/03/29,11:18:30-24"  
ESTE ES EL MENSAJE DE TEXTO
```

Donde el "X" es el número de registro en el que se ha almacenado el mensaje, "+525512680009" es el número del que se ha enviado el mensaje de texto y "10/03/29,11:18:30-24" es la fecha y hora de envío.

Dicho formato se enlistará por cada mensaje no leído que se tenga, el trabajo del Módulo Rabbit será detectar de esta línea de texto el mensaje de texto y actuar con base en dicha solicitud. Por ejemplo, se podría programar previamente al microprocesador para enviar determinada información cada que reciba la palabra "LEER CANAL 3", de esta manera al detectar en el mensaje de texto estos caracteres, deberá enviar al número del remitente la información solicitada.

Por otro lado, como ya se ha mencionado, el Sistema de Telemetría basado en GSM/GPRS deberá tener entre sus funciones el envío de alarmas SMS, de esta manera ante determinada situación definida por la programación se enviara cierto mensaje a determinado número, para ello se debe enviar al módem GSM/GPRS el siguiente comando:

```
AT+CMGS="+0445512680009"
```

Después de dar un "ENTER" aparecerá el siguiente carácter:

```
>
```

Enseguida se deberá escribir el mensaje de no más de 160 caracteres pues el protocolo SMS nos indica que ésta deberá ser la extensión de los mensajes, una vez rebasada esta cantidad estaríamos enviando 2 o más mensajes de texto.

Finalmente tendríamos lo siguiente:

```
AT+CMGS="+0445512680009"
```

```
>MENSAJE
```

```
+CMGS: 10
```

Donde "+CMGS: 10" será el comando que nos regrese el módem como confirmación de envío.

Otros comandos de interés para esta sección pueden ser consultar mensajes ubicados en algún slot de memoria o borrar mensajes de un slot determinado, a continuación se describen estos comandos:

AT+CMGR=X

Este comando sirve para borrar un mensaje determinado, donde "X" es el número de registro que se desea borrar.

AT+CMGL="ALL"

Comando para leer todos los mensajes en registro, se hayan leído o no, de esta manera podemos comprobar si se ha saturado la memoria de la tarjeta SIM y borrarlos.

AT+CMSS=X

Reenvía un mensaje grabado en la memoria, "X" es el número de registro del mensaje que queremos reenviar.

Cabe aclarar que mientras estamos realizando una llamada de datos, todo lo que entre al módem GSM/GPRS transmisor, se enviará como información y por ejemplo, si durante una transmisión de datos se requiere enviar alguna alarma urgente por SMS, al intentar introducir los comandos propios para el envío de un SMS estos no serán reconocidos como comandos sino como parte de la información, siendo así necesitamos diferenciar entre "modo envío" y "modo comandos", al haber enlazado una llamada de datos estamos en modo envío, mientras que el resto del tiempo que no se tiene una llamada será modo comandos. Para el caso de la alarma urgente mientras se está realizando una llamada, se puede pasar a modo comandos al mismo tiempo que la información se transmite, a continuación se describen los comandos necesarios:

Mientras estamos realizando la llamada, el único comando que se reconocerá y que nos hará salir de la llamada (sin colgar) será:

+++ <regresar a modo comandos>

Una vez enviado estos caracteres al módem GSM/GPRS y recibido un "OK", cualquier carácter que se ingrese, será reconocido como comando, una vez que se haya terminado de emplear el modo comandos y se requiera regresar a la llamada, se debe introducir el comando:

ATO <regresar a modo envío>

Estando dentro de la llamada, si se desea colgar, los comandos a introducir serán:

+++ <cambiar de modo envío a modo comandos>

ATH <colgar llamada activa>

Para verificar que se ha colgado correctamente, se debe recibir del módem el comando "NO CARRIER"

Para mejor comprensión del lector, en la Figura 19 se muestra un diagrama de flujo del programa a implementar en el microprocesador.

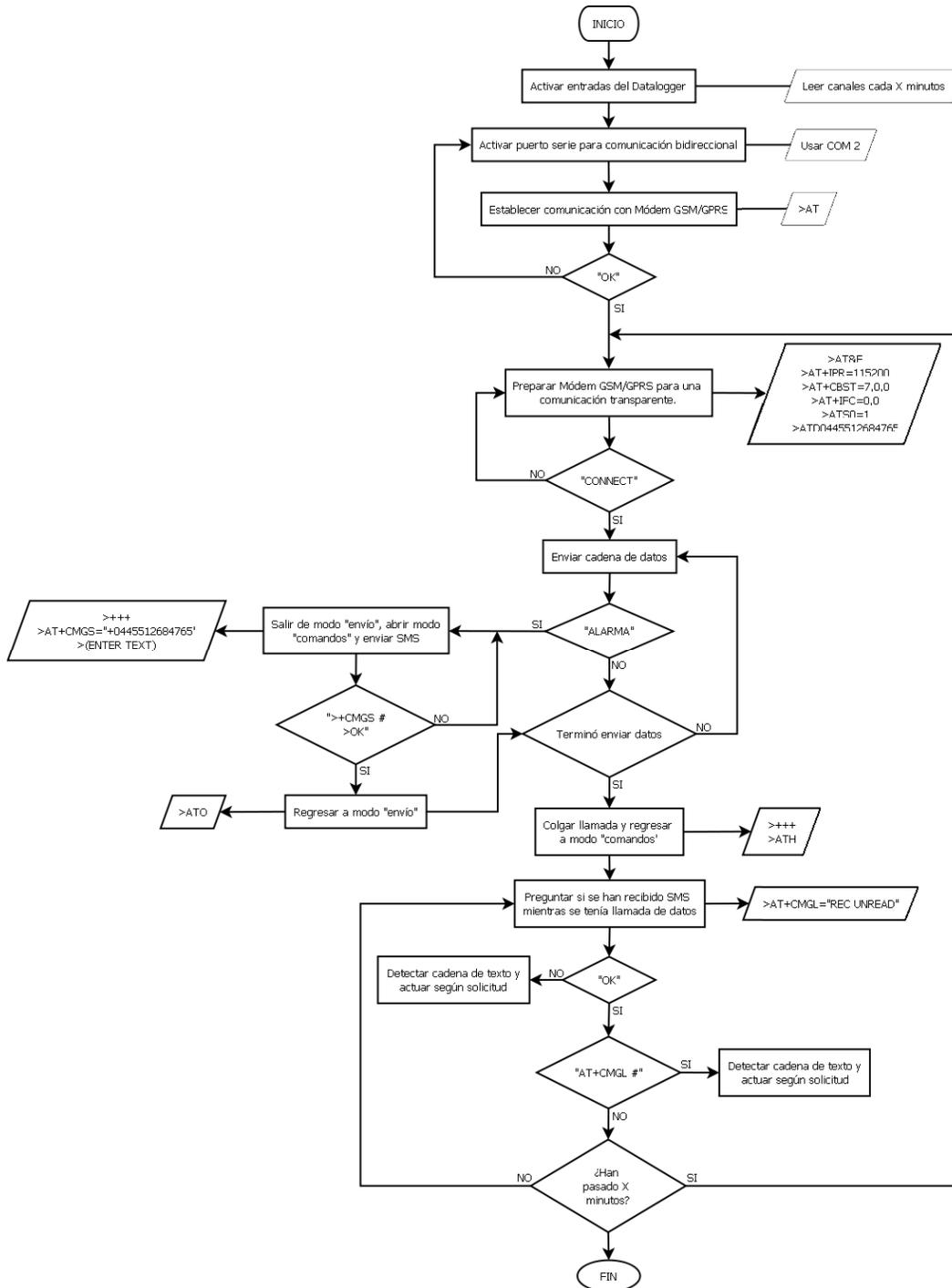


Figura 19. Diagrama de flujo del programa a implementar.

Etapa 3. Integración del Datalogger con el Módem GSM/GPRS Transmisor.

Una vez que el Datalogger ha sido programado bajo las características solicitadas, se debe confirmar que es capaz de recibir e interpretar la información desde sus diversas entradas, de controlar las acciones efectuadas por el Módem en cuanto a envío de dicha información y de actuar adecuadamente ante peticiones hechas por el módem.

Los comandos definidos en el algoritmos de programación fueron inicialmente probados conectando los módems a computadoras y empleando la HyperTerminal del Sistema Operativo, desde donde puede crearse una comunicación con dispositivos vía puerto serial y realizar las funciones descritas, tales como la creación de una llamada transparente de datos y el envío y recepción de mensajes SMS.

Etapa 4. Implementación de una interfaz gráfica de monitoreo.

Para desarrollar esta etapa, es necesario conocer el número de canales a monitorear, el protocolo de comunicación que se manejará en el Módem Receptor y definir los requerimientos del usuario final, es decir, la estructura en que se visualizará la información, si se requieren ventanas o pestañas, gráficas, tablas, envío de reportes, etc.

Para ellos existen lenguajes como Visual Basic donde se puede programar una interfaz gráfica o incluso software especializado como LabView de la empresa National Instruments que mediante programación por bloques, simplifica en gran medida la creación de una interfaz de monitoreo.

En la Figura 20 se muestra el diagrama general de los componentes del sistema de telemetría basado en GSM/GPRS.



Figura 20. Diagrama general de un sistema de telemetría basado en GSM/GPRS.

5.3 Pruebas con los equipos

A continuación se describe el proceso de implementación del sistema de telemetría basado en GSM/GPRS, se mostrarán algunos resultados en HyperTerminal y se propone una serie de pruebas para comprobar la fiabilidad del sistema de telemetría.

Los comandos AT enlistados en el algoritmo de programación son universales y funcionan en la gran mayoría de los módems GSM/GPRS, en la Figura 21 se muestra una captura de pantalla de HyperTerminal donde se han introducido algunos de estos comandos AT mostrando la respuesta del módem, más adelante se describe el significado de cada renglón.

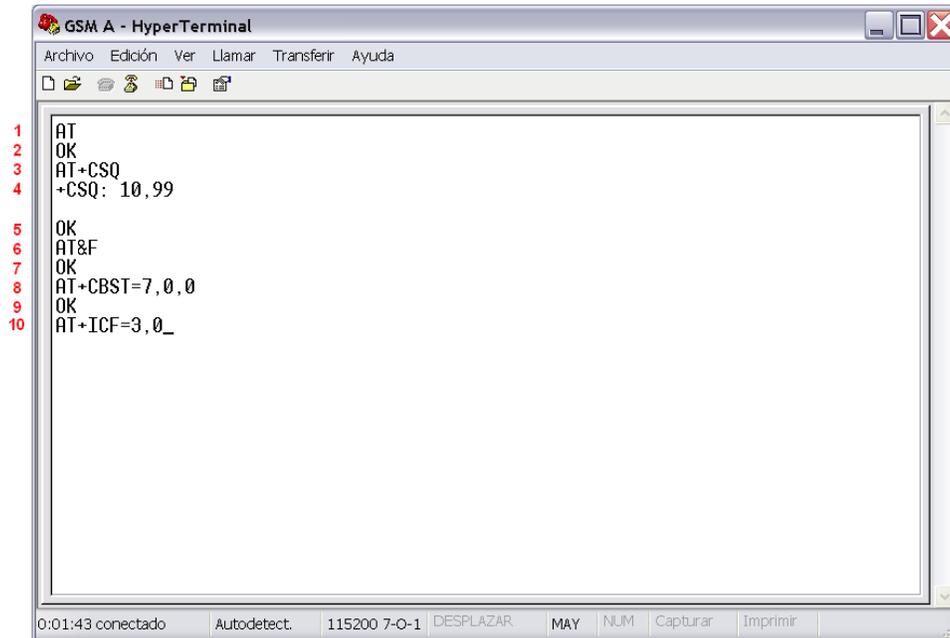


Figura 21. Introducción de comandos AT en HyperTerminal.

- 1) Se introduce comando “AT” que se ha definido como prueba inicial con la cual se conoce si existe comunicación entre el módem y el dispositivo que lo manejará.
- 2) El módem responde “OK” lo que indica que existe comunicación entre dispositivos.
- 3) “AT+CSQ” es un comando que interroga al módem sobre el nivel de potencia que está captando la antena.
- 4) El módem responde con un “+CSQ:” y el nivel de potencia actual o RSSI (Receive Signal Strength Indication), la interpretación del valor dependerá del módem, para el caso de este equipo, la siguiente tabla muestra el rango equivalente de potencia para los valores numéricos del módem.

Tabla 11. Equivalente RSSI

Valor	Potencia [dBm]
0	-113 o menos
1	-111
2-30	-109 a -53
31	-51 o mayor
99	No detectable

- 5) Ha concluido el comando anterior.
- 6) Se borra la configuración actual del módem.
- 7) Se ha borrado la última configuración del módem exitosamente.

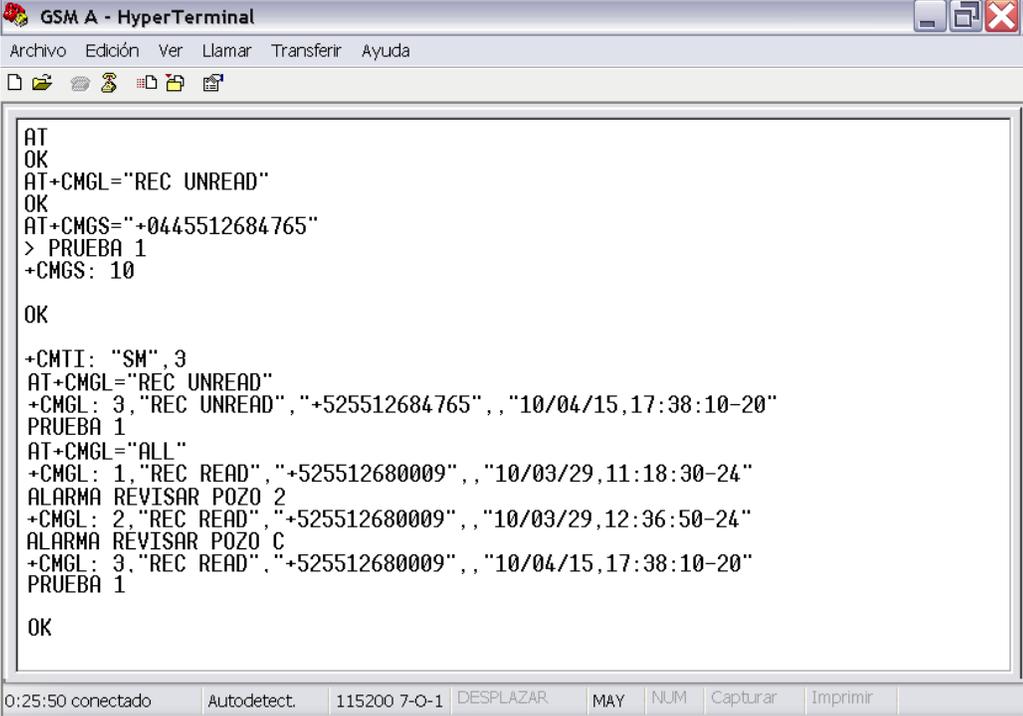
8) Prepara al módem para operar a una velocidad de 9600 bps, una comunicación asíncrona y transparente.

9) La configuración ha sido grabada con éxito.

10) se prepara al módem para operar con un formato de 8 bits, 1 bit de parada y sin paridad.

La vista anterior corresponde a solo algunos comandos descritos en la sección 5.2, etapa 2 de este capítulo, es de esta manera como se verían en HyperTerminal y son los comandos que se deben enviar al módem por medio del Datalogger.

En la Figura 22 se muestra una ventana más de HyperTerminal donde se aplican al módem algunos comandos propios de SMS y se visualiza la respuesta dada por el módem.



```
1 AT
2 OK
3 AT+CMGL="REC UNREAD"
4 OK
5 AT+CMGS="+0445512684765"
6 > PRUEBA 1
7 +CMGS: 10
8 OK
9 +CMTI: "SM",3
10 AT+CMGL="REC UNREAD"
11 +CMGL: 3,"REC UNREAD","+525512684765",,"10/04/15,17:38:10-20"
12 PRUEBA 1
13 AT+CMGL="ALL"
14 +CMGL: 1,"REC READ","+525512680009",,"10/03/29,11:18:30-24"
15 ALARMA REVISAR POZO 2
16 +CMGL: 2,"REC READ","+525512680009",,"10/03/29,12:36:50-24"
17 ALARMA REVISAR POZO C
18 +CMGL: 3,"REC READ","+525512680009",,"10/04/15,17:38:10-20"
19 PRUEBA 1
20 OK
```

0:25:50 conectado Autodetect. 115200 7-O-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

Figura 22. Introducción de comandos AT en HyperTerminal.

1) Introducción del comando AT como prueba inicial de comunicación entre módem y la HyperTerminal del Sistema Operativo.

2) "OK" que indica que se tiene una correcta comunicación.

3) Introducción del comando AT+CMGL referido a visualización de mensajes, para este caso se ha empleado con "UNREAD" que nos mostrará los mensajes de texto que no han sido leídos.

- 4) "OK" que nos indica que no existen mensajes sin leer en la memoria de la tarjeta SIM.
- 5) Se hace uso del comando AT+CMGS que nos permite enviar un mensaje SMS a determinado número, en esta prueba el mensaje se envió al mismo módem Transmisor, por lo tanto deberá recibirse y visualizarse en la misma pantalla de HyperTerminal.
- 6) Se escribe el mensaje a enviar, en este caso "PRUEBA 1"
- 7) Se obtiene una confirmación del módem que indica que se ha enviado el mensaje correctamente.
- 8) "OK" que se obtiene como confirmación de haber ejecutado un comando correctamente.
- 9) Después de transcurridos algunos segundos, el módem envía los caracteres +CMTI: "SM", 3 que indican que se ha recibido un nuevo mensaje y que se ha almacenado en el slot de memoria número 3 de la tarjeta SIM.
- 10) Introducción del comando AT+CMGL="REC UNREAD" que nos mostrará los mensajes no leídos.
- 11) A diferencia del punto 3), el módem despliega dos líneas de caracteres pues en esta segunda prueba si existe un SMS sin leer, de tal manera que se despliega la ubicación en memoria del mensaje, el número telefónico del remitente, la fecha y hora en que fue enviado.
- 12) Se muestra el texto recibido, "PRUEBA 1".
- 13) Nuevamente se hace uso del comando AT+CMGL, pero esta vez con la terminación "ALL", lo cual nos desplegará todos los mensajes almacenados en la memoria de la tarjeta SIM.
- 14) Se muestra el slot de memoria 1, número del remitente, fecha y hora de envío del mensaje SMS.
- 15) Se muestra el texto recibido y almacenado en el slot 1.
- 16) Muestra la información referente al slot de memoria 2.
- 17) Se muestra el texto recibido y almacenado en el slot de memoria 2.
- 18) Se muestra la información referente al slot de memoria 3.
- 19) Se muestra el texto recibido y almacenado en el slot de memoria 3.

20) "OK" que indica que se ha terminado de desplegar la lista de mensajes almacenados en la memoria de la tarjeta SIM.

Ya se ha mostrado una propuesta de algoritmo de programación y se han enlistado los comandos necesarios para crear una comunicación de datos entre dos módems GSM/GPRS mediante comandos AT, queda al lector definir el código de programación el cuál se adaptará al microprocesador empleado y el lenguaje de programación solicitado.

Es importante mencionar que un sistema de telemetría debe ser robusto, esto es que debe ser tolerante ante fallas y errores tanto internas como externas al sistema pues lo que buscamos es automatizar un proceso y evitar lo más posible un contacto directo de los operadores con los equipos para optimizar tiempos y costos de operación.

Para lograr un sistema confiable se requiere pasar por un proceso de pruebas en el que el diseñador piense en todas las situaciones ante las que podría enfrentarse su sistema, simularlas y analizar el comportamiento obtenido para de esta manera resolver previamente los problemas que pudieran observarse. Lo que se busca es provocar precisamente errores y alertas para anticipar una solución.

A continuación se enlistan algunas pruebas básicas que podrían aplicarse al sistema de telemetría, dejando al lector el idear otras.

a) Deberá conectarse el Datalogger al mayor número posible de sensores y visualizarse dicha información en la Computadora conectada al Módem Receptor, deberán probarse todos los canales disponibles en el Datalogger, si no se tienen el mismo número de sensores que de canales, se pueden rotar los sensores hasta haber cubierto todas las entradas.

b) Se deberán hacer peticiones al módem Transmisor desde el módem Receptor, solicitando el envío de información en determinado instante de tiempo, distinto del que se ha configurado previamente con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de esta opción. Siempre y cuando se haya programado dicha función.

c) Se deberán hacer peticiones al módem Transmisor desde cualquier teléfono celular de cualquier operador telefónico y desde el módem Receptor, solicitando el envío de información en determinado instante de tiempo, distinto del que se ha configurado previamente. Siempre y cuando se haya programado dicha función.

d) Deberá simularse una situación, en la que el Datalogger envíe una alarma por medio de un mensaje corto de texto a cualquier equipo celular previamente definido.

e) Deberá enviarse un mensaje corto de texto desde cualquier teléfono celular o desde el módem Receptor al módem Transmisor, para cambiar la configuración del Datalogger, por ejemplo cambiar el tiempo de envío de información entre muestra y muestra.

f) Una vez operando el sistema de Telemetría, simular pérdida de la información para conocer su respuesta, por ejemplo se puede cortar la energía en el Módem Transmisor, al restaurarla observar si comienza a operar nuevamente por sí mismo o si requiere de reconfiguración, por otro lado puede crearse una jaula de Faraday, la cual ocultará alguno de los Módems simulando pérdida de información o atenuación de la señal, igualmente se observará la respuesta del sistema ante esta situación.

g) Dejar el sistema de Telemetría operando durante 24 horas, durante este lapso de tiempo la información se estará almacenando en la Computadora y al final se generará un reporte el cuál se enviará por correo electrónico a varias cuentas. Esta prueba ayudará a definir la fiabilidad del sistema, en caso de haber habido alguna interrupción, analizar la razón y resolver el problema que lo causó, si ha funcionado adecuadamente para 24 horas repetir la prueba para un mayor periodo de tiempo.

h) Deberá interactuarse con la interfaz gráfica haciendo uso de todas sus funciones, visualizando información en tiempo real, consultando gráficas, tablas históricas y configurando el envío de reportes vía correo electrónico, entre otras funciones con el objeto de comprobar que no hay errores en la programación de la interfaz.

CAPÍTULO VI

INTERFAZ GRÁFICA DE MONITOREO

6.1 Implementación de una interfaz gráfica de monitoreo

Como se mencionó anteriormente, se tienen ciertas especificaciones para la interfaz gráfica de monitoreo, por ello se ha recurrido a software especializado que permita la programación de este tipo de ambientes gráficos.

Se ha empleado el software LabView de National Instruments, con el cual se facilita el procesamiento de datos en un ordenador y se permite programar el ambiente gráfico con gran libertad.

Los requerimientos para la interfaz gráfica, que de ahora en adelante denominaremos panel remoto, se describen a continuación:

- a) Debe mostrar una imagen de la planta desaladora indicando cada punto donde se tenga instalado un sensor y mostrar en una ventana el valor de la variable en tiempo real.
- b) Debe generar en otra pantalla, gráficas de cada variable en tiempo real, teniendo la opción de consultar gráficas históricas por periodos definidos.
- c) Debe de generar reportes en tablas diarias o por periodo.
- d) Debe enviar reportes vía correo electrónico.

6.2 Vistas de la interfaz de monitoreo

Una vez definidas las especificaciones, se ha diseñado una propuesta de panel remoto la cuál fue programada por un ingeniero con conocimientos sólidos en LabView.

En las Figura 14, 15 y 16 se muestran varias pantallas del panel remoto programado para el monitoreo de la planta desaladora.



Figura 14. Panel remoto, ventana principal.

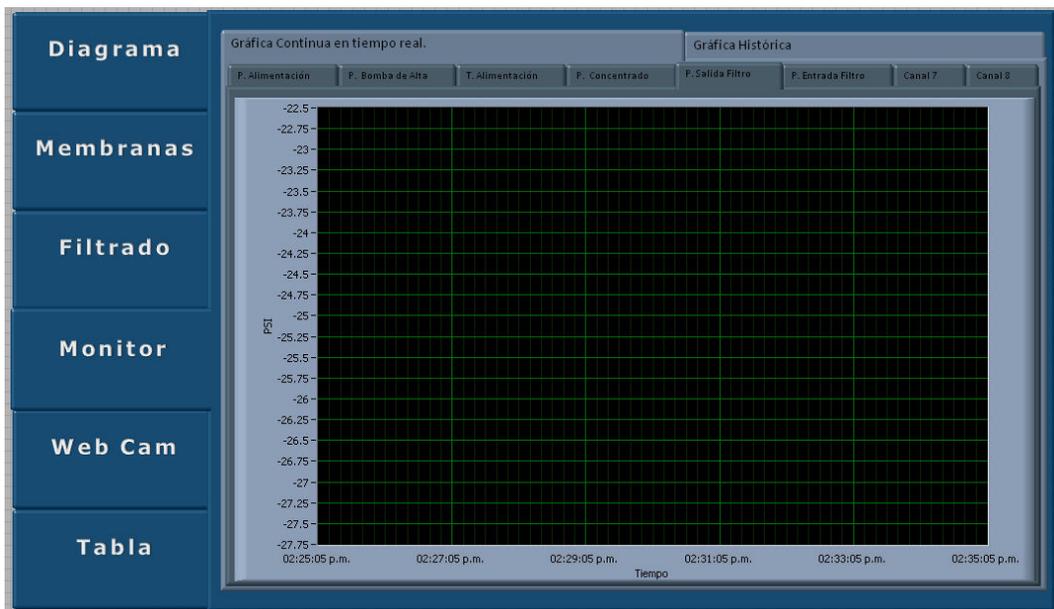


Figura 15. Panel remoto, ventana de gráficas.

CAPÍTULO VII RESULTADOS Y ADAPTACIONES AL SISTEMA PARA UN POSIBLE CAMBIO DE LOCACIÓN

7.1 Sistema de Instrumentación y Telemetría resultante

Los resultados de este proyecto se han ido desarrollando a lo largo de este documento, especificando los pasos de diseño, consideraciones para selección de equipos y tecnologías y describiendo los equipos adquiridos para el sistema de instrumentación y telemetría.

En las Figuras 23 y 24 se muestran diagrama general del sistema de instrumentación y telemetría.

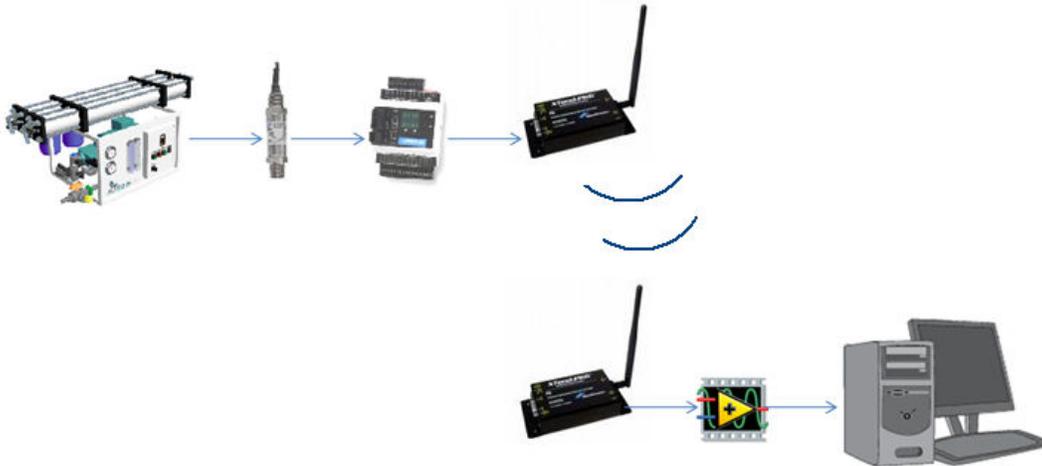


Figura 23. Diagrama general del sistema de instrumentación y telemetría.

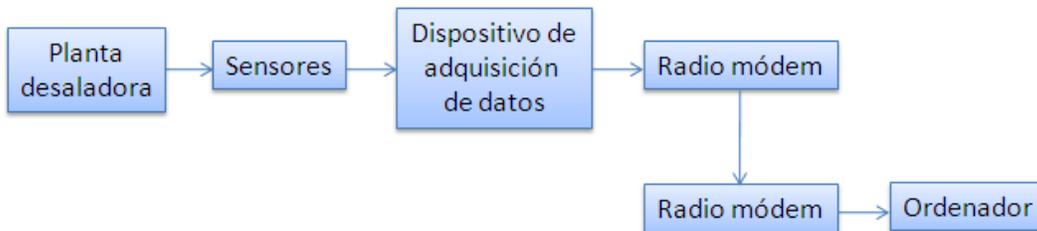


Figura 24. Diagrama a bloques del sistema de instrumentación y telemetría.

El sistema ya sea instalado en su totalidad, se ha comprobado su correcto funcionamiento. Cuando la planta desaladora se encuentra en operación, basta con encender el dispositivo de adquisición de datos y los Radio módems, uno se encuentra instalado en la planta desaladora y el otro en el ordenador ubicado en la Torre de Ingeniería, se debe ejecutar Labview y habilitar un puerto en el ordenador por donde

se recibirán los datos que empleará LabView para mostrarlos procesados en la pantalla del monitor.

7.2 Adaptaciones para un posible cambio de locación

Como ya se ha descrito, en un futuro podría necesitarse un cambio de entorno de la planta desaladora, donde se tendrían condiciones distintas a las cuáles deberá adaptarse el sistema de telemetría, a continuación se presentan posibles variaciones de entorno y se propone una solución para enfrentar dicha variación.

- a) Mayor distancia entre antenas.

Como se mencionó anteriormente, los Radio módems empleados pueden cubrir una distancia hasta de 64 Km siempre y cuando se empleen antenas direccionales, de esta manera podemos cubrir una mayor distancia a la solicitada entre el Edificio 8 y la Torre de Ingeniería sin ningún problema, si la distancia entre antenas superara el alcance de los Radio módems podría emplearse un equipo repetidor compatible con los Radio módems empleados, como el que se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Repetidor modelo 9XTend

- b) Presentación de obstáculos que no permitan tener línea de vista entre antenas.

Las necesidades del entorno podrían forzar a instalar la planta desaladora y el centro de monitoreo en ubicaciones entre las cuáles no exista línea de vista, para ello sería conveniente emplear un repetidor de tal manera que se pueda dar flexibilidad a la ruta de transmisión. En la Figura 18 se ejemplifica lo anteriormente descrito.



Figura 18. Ejemplo del uso de un repetidor.

c) Entorno donde no se permita instalar un ordenador para recepción de datos.

Podría darse el caso de que no sea viable dejar un ordenador por cuestiones de seguridad o permisos, dada esta situación deberá pensarse en una nueva solución en la que no sea necesario tener un ordenador en el Radio módem receptor.

Una solución podría ser el uso de un dispositivo convertidor de puerto serial a puerto RJ-45 y de protocolo RS-232 a protocolo de comunicaciones Ethernet, este tipo de dispositivos existe actualmente en el mercado y además de realizar la conversión, posee también una IP a la cuál podemos tener acceso de manera remota y desde Internet. De esta manera podremos tener este dispositivo después del Radio módem receptor y conectar dicho dispositivo a un nodo de Red disponible, para tener acceso a la información recibida en el Radio módem, bastará con consultar por Internet al dispositivo convertidor mediante su IP, el ordenador desde el que se haga la consulta deberá tener instalado LabView para poder interpretar adecuadamente los datos transmitidos.

CONCLUSIONES

En lo que refiere a la instrumentación de la planta desaladora, fue necesario estudiar el caso desde los conceptos básicos para tomar la mejor decisión respecto a qué variables medir y en qué puntos del proceso colocar dicho sensor, como ya se mencionó en este documento, es muy distinto instrumentar un determinado sistema a otro ya que cambiará el tipo de sensores, la cantidad de estos, el modo de acceso a ellos, etc.

Es conveniente siempre tratar de apegarse a estándares tanto en diseño como en el empleo de señales o protocolos de comunicación ya que esto facilita considerablemente el diseño, la planeación y el posible escalamiento del sistema.

En cuanto a la selección de sensores, se han empleado con un transmisor integrado a cada sensor, esto para tener una salida estandarizada de todos los sensores y tener una señal ya adecuada para viajar por algún medio de transmisión, en este caso por par trenzado hasta el dispositivo de adquisición de datos. Entre las ventajas del uso de transmisores en los sensores, se pueden mencionar las siguientes:

- a) Costo de cable tres veces menor: si se hubiera empleado la señal del sensor tal y como está se recibe, hubiéramos necesitado de cable de pocas pérdidas para que esta señal llegara en condiciones adecuadas para su correcta interpretación, en el caso del uso de transmisores podemos emplear cable común ya que la señal antes de viajar es amplificada.
- b) Protección de la señal ante el ruido externo: en un ambiente de gran interferencia, los cables pueden comportarse como antenas generando ruido a la señal deseada, el hecho de que se usen transmisores, implica que la señal es adecuada para el medio y más inmune a la interferencia.
- c) Ahorro en Hardware: el hecho de emplear transmisores en cada sensor, implica que tendremos a la salida una señal estandarizada en nuestros sensores, lo cual supone un ahorro en equipos adicionales para la interpretación de distintas señales provenientes de cada sensor.
- d) Facilita futuras actualizaciones: Al tener un sistema donde se manejan señales estandarizadas, se simplifica el proceso de actualización de hardware o de cambio de dispositivos, ya que bastará con adquirir un equipo diferente pero que se comunique según el mismo estándar.
- e) Mejora la precisión: si se estuviera empleando la señal de cada sensor sin un transmisor previo, se tendría que interpretar mediante software cada rango de valores, además de considerar posibles cambios en la señal debidas a pérdidas o interferencias, al emplear transmisores, estamos considerando siempre la interpretación de una señal entre 4 y 20 mA.

Respecto a la implementación del sistema de telemetría para el monitoreo de la planta desaladora, es muy importante planear un sistema que pueda adaptarse a distintas condiciones de entorno, como se analizó en este caso, la probabilidad de un cambio de

ubicación de la planta desaladora es grande, por lo tanto fue necesario pensar en posibles modificaciones para proponer posibles soluciones al sistema.

Otro factor importante es la toma de decisión respecto a la tecnología que se empleará para la transmisión de datos y analizar cuál es la más conveniente para el sistema, respecto a la evaluación a grandes rasgos de las diferentes tecnologías presentadas en este documento, así como los bosquejos o prototipos de sistemas de monitoreo, se presentan las siguientes aseveraciones:

- Un sistema de monitoreo satelital es idóneo cuando se tiene planeado un prototipo al 100%, esto es, conocer exactamente todo lo que se desea monitorear, la ubicación y cuantos usuarios tendrán acceso a la información, ya que una vez establecido todo esto, solo se contrata el servicio y tanto la instalación como el mantenimiento corren a cargo de la empresa prestadora del servicio, sin embargo este no es el caso, ya que los parámetros a monitorear o la ubicación, pueden cambiar en un futuro.
- Por otro lado los modelos basados en tecnología GSM/GPRS son ideales para el uso urbano, ya que dos principales empresas tienen instaladas redes casi en la totalidad de las ciudades del país, que para los principios del proyecto es suficiente, pero como ya se ha mencionado, uno de los objetivos del proyecto es llevar a campo la planta desaladora y muy seguramente cerca de las costas, por lo que ahí se encuentra la principal desventaja, ya que de no haber cobertura en esa área, no sería útil el empleo de esta tecnología.
- Finalmente los radio módems de espectro disperso tienen su principal desventaja en el hecho de que aun con antenas de alta ganancia, podrían no alcanzar a cubrir las distancias necesarias para su uso fuera de la ciudad, sin embargo no es necesario establecer un enlace directamente del Instituto de Ingeniería hacia la planta en algún lugar remoto, sino que de Internet, se puede cubrir prácticamente todo el territorio nacional. Esto mediante una estación intermedia, que se puede localizar en la población más cercana al lugar de pruebas, ahí recibir los datos y vía Internet hacerlos llegar hasta cualquier lugar; otro punto a favor es la versatilidad para modificar las potencias y poder trabajar en distancias cortas como se tiene pensado en un principio.

Por todo lo anterior la solución más viable se encontró en algún método del espectro disperso.

Respecto a las pruebas aplicadas a los radio módems, éstas indican una buena operación de los equipos, que a pesar de haber sido probados en zonas de obstáculos o desde interiores tuvieron buena respuesta, de tal manera que teniendo una buena ubicación de las antenas podremos tener un enlace exitoso aún en una zona de obstáculos.

El alcance de una antena es totalmente relativo, depende más del medio y la zona de operación. Como se esperaba, a mayor potencia de señal, tenemos menos errores, los

Radio módems cuentan con un rango de potencia de operación de 0.1 W hasta 1 W y se pueden variar en cinco divisiones, de esta manera podemos aumentar o disminuir la potencia de transmisión según convenga.

De manera general se han cubierto los objetivos del proyecto ya que se ha implementado un sistema de instrumentación y telemetría para el monitoreo de la planta desaladora cumpliendo con los requerimientos para cada parte del sistema.

En el caso de telemetría mediante GSM/GPRS dadas sus características, se espera un gran crecimiento en aplicaciones y usuarios, actualmente el término M2M (Machine to Machine) ha logrado gran popularidad despertando el interés de grandes compañías y Operadoras de telefonía móvil como un nicho de negocio importante y que se caracteriza por un bajo tráfico de datos por usuario pero ventas en grandes volúmenes. Para los próximos 5 años se espera tener de 6 a 50 billones de máquinas conectadas con gran diversidad de aplicaciones no solo en ingeniería sino en términos comerciales, banca móvil y publicidad móvil por mencionar algunas.

Actualmente la tendencia de las comunicaciones móviles se inclina hacia los datos por lo que en un futuro quizá muy próximo podrían tener más usuarios intercambiando datos por las redes que haciendo uso de voz para comunicarse, claramente la telemetría jugará un papel importante.

REFERENCIAS

- Howard, A. (2003), *Data Acquisition Techniques Using PCs*, 2da ed, Academic Press, Amsterdam, 416 pp.
- Pallás Areny, R. (2001), *Sensores y acondicionadores de señal*, 3a ed, Alfaomega, México, 480 pp.
- Sklar, B, (2001), *Digital communications: Fundamentals and applications*, 2a ed, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1079 pp.
- LeRoy Foster, *Telemetry Systems*, varios capítulos.
- <http://www.satellitaltracking.net/archives/telemetria/index.html>
- http://www.sapiensman.com/control_automatico/control_automatico7.htm
- Adams, Jon; Bob Heile (2005-10). «Busy as a ZigBee». [IEEE].
- IDC, Ovum, Strategy Analytics

Anexo A

PRESSURE
VERIS INDUSTRIES

RUGGED STAINLESS STEEL CONSTRUCTION

PG/PV

17-4PH stainless steel housing, IP66, 20G peak vibration, EMI/RFI protection

PGE/PVE

Cold-rolled steel housing, IP65, 10G peak vibration

Gauge Pressure Sensors

The durable PG Series pressure transducers are ideal for a wide variety of HVAC/R and industrial applications, such as refrigeration measurement, pneumatic pressure measurement, gas pressure measurement, pump inlet, and outlet fluid pressure. They are even compatible with extreme applications, such as aerospace and motor sports equipment.

Features

- High accuracy
- Rugged stainless steel construction (PG and PV)
- No silicon oil, no internal O-rings, no welds... fewer parts to fail
- Sturdy construction...suitable for high shock and vibration applications
- A wide operating temperature range of -40° to 85°C (-40° to 185°F) for operation versatility

APPLICATIONS

- Pump inlet/outlet and compressors
- Hydraulic/pneumatic systems
- Energy & water management
- Refrigeration equipment, fluids
- Gas pressure measurement

SPECIFICATIONS

Electrical:

Supply Voltage	10-28VDC
Output	Deluxe Models: 0-5/0-10VDC (3-wire) or 4-20mA (2-wire) Economy Models: 1-5VDC (3 wire) or 4-20mA (2-wire)
Load Impedance	>100kΩ
Standard Connection	Cable gland 24" (600mm) length
Pressure Port	1/4"NPT Male

Performance at 25°C (77°F):

Accuracy*	±0.25% BFSL**
Media Compatibility (PG/PV)	Fluids & gases compatible with 17-4 stainless steel
Pressure Cycles	>100 million cycles
Over Pressure	2x F.S. without change in calibration
Burst Pressure	5x rated pressure or 20,000 PSI

Environmental:

Operating Temp. Range	-40° to 85°C (-40° to 185°F)
Compensated Temp. Range	0° to 55°C (32° to 130°F)
Total Error Band Over Temp.	<±1% of FS
Humidity	0-95% RH, non-condensing

* Accuracy includes Nonlinearity and hysteresis.
** BFSL = Best fit straight line

142

800.354.8556

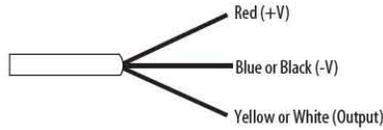
503.598.4564

www.veris.com
©2008 Veris Industries

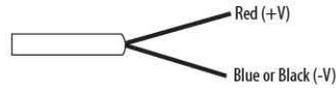


WIRE COLOR CODING

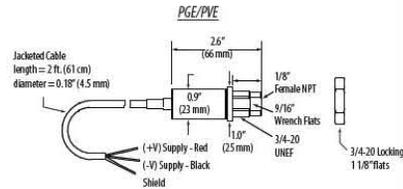
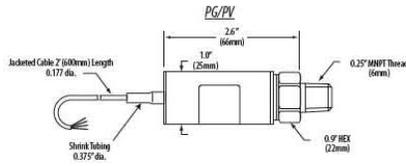
3-wire, 0-5VDC/0-10VDC



2-wire, 4-20mA



DIMENSIONAL DRAWINGS



ORDERING INFORMATION



Type	Range	Wetted Material	Output	Type	Range	Wetted Material	Output
PG		A		PV		A	
Blank = Deluxe E = Economy	03 = 0 to 15 psig 04 = 0 to 25 psig 05 = 0 to 50 psig 06 = 0 to 75 psig 07 = 0 to 100 psig 08 = 0 to 250 psig 09 = 0 to 500 psig 10 = 0 to 1000 psig 11 = 0 to 5000 psig 12 = 0 to 10000 psig	= 17-4 stainless steel	B = 1-5VDC (economy only) M = 4-20mA V = 0-10VDC (deluxe only) J = 0-5VDC (deluxe only)	Blank = Deluxe E = Economy	03 = -14.7 to 15 psig 04 = -14.7 to 25 psig 05 = -14.7 to 50 psig 06 = -14.7 to 75 psig 07 = -14.7 to 100 psig 08 = -14.7 to 250 psig 09 = -14.7 to 500 psig 10 = -14.7 to 1000 psig 11 = -14.7 to 5000 psig 12 = -14.7 to 10000 psig	= 17-4 stainless steel	B = 1-5VDC (economy only) M = 4-20mA V = 0-10VDC (deluxe only) J = 0-5VDC (deluxe only)
<p>Example:</p> <p>PG [] [07] [A] [V]</p>				<p>Example:</p> <p>PV [E] [07] [A] [M]</p>			

Call factory for ranges not shown.

TEMPERATURE



CORROSION RESISTANT
STAINLESS STEEL PROBE



Box housing protects wires and connection



Service entry body for conduit connection



Available in five different probe lengths and with thermowells

Immersion Temperature Sensors

These immersion probe type temperature sensors are both highly accurate and cost effective. Installation could not be easier. The sensor is encased in a corrosion-resistant stainless steel probe for durability, with a choice of service entry body, indoor junction box, or threaded enclosures. A variety of RTD or thermistor sensor options and probe lengths are available for maximum application versatility.

- Cost-effective high accuracy thermistors/RTDs
- Corrosion resistant stainless steel probe design
- 1/2" NPT threads standard
- Variety of enclosures include duct mount, service entry body and threaded
- Thermowells available

APPLICATIONS

- Tanks
- Pipes
- Chillers

Class	Pt RTD			THERMISTOR							
	100 Ohm	1000 Ohm	3k	10k Type 2	10k Type 3	10k Dale	10k 3A221	10k 1G US	20k	100k	TAC 1.8k
Type	100 Ohm	1000 Ohm	3k	10k Type 2	10k Type 3	10k Dale	10k 3A221	10k 1G US	20k	100k	TAC 1.8k
Accuracy	±0.2°C	±0.3°C	±0.2°C	±1.0°C	±0.2°C	±0.2°C	±1.1°C	±0.2°C	Consult	Consult	Proprietary
Temp. Response*	0.0385 curve	0.0385 curve	0.70°C	-50/150°C	0.50°C	-20/70°C	0.70°C	0.70°C	Factory	Factory	
	PTC	PTC	NTC	NTC	NTC	NTC	NTC	NTC	NTC	NTC	NTC

*PTC: Positive Temperature Coefficient
*NTC: Negative Temperature Coefficient

STANDARD RTD AND THERMISTOR VALUES (Ohms)

°C	T	100 Ohm	1000 Ohm	3k	10k Type 2	10k Type 3	10k Dale	10k 3A221	10k 1G US	20k	100k	TAC 1.8k
-50	-58	80.306	803.06	205.800	692.700	454.910	672.300	-	441.200	1,267,600	-	63,880
-40	-40	84.271	842.71	102,690	344,700	245,089	337,200	333,562	239,700	643,800	3,366,000	35,680
-30	-22	88.222	882.22	51,730	180,100	137,307	177,200	176,081	135,300	342,000	1,770,000	20,720
-20	-4	92.160	921.60	29,346	98,320	79,729	97,130	96,807	78,910	189,000	971,200	12,460
-10	14	96.086	960.86	16,674	55,790	47,843	55,340	55,252	47,540	108,380	553,400	7,733
0	32	100.000	1000.00	9,822	32,770	29,588	32,660	32,639	29,490	64,160	326,600	4,940
10	50	103.903	1039.03	5,976	19,930	18,813	19,900	19,901	18,780	39,440	199,000	3,240
20	68	107.794	1077.94	3,750	12,500	12,272	12,490	12,493	12,260	24,920	124,900	2,177
25	77	109.735	1097.35	3,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	20,000	100,000	1,900
30	86	111.673	1116.73	2,417	8,055	8,195	8,056	8,055	8,194	16,144	80,580	1,496
40	104	115.541	1155.41	1,598	5,323	5,593	5,326	5,324	5,592	10,696	53,260	1,049
50	122	119.397	1193.97	1,081	3,599	3,894	3,602	3,600	3,893	7,234	36,020	750
60	140	123.242	1232.42	747	2,486	2,763	2,489	2,486	2,760	4,992	24,880	545
70	158	127.075	1270.75	527	1,753	1,994	1,753	1,751	1,990	3,512	17,510	403
80	176	130.897	1308.97	378	1,258	1,462	1,258	1,255	1,460	2,516	12,560	302
90	194	134.707	1347.07	-	919	1,088	917	915	1,084	1,833	9,160	230
100	212	138.506	1385.06	-	682	821	679	678	816.8	1,356	6,792	177
110	230	142.293	1422.93	-	513	628	511	509	623.6	1,016	5,108	139
120	248	146.068	1460.68	-	392	486	389	388	481.8	770	3,894	109
130	266	149.832	1498.32	-	303	380	301	299	376.4	591	3,006	87

To compute Limit Temperature: 2-Wire version (1µA/°C)
µA reading - 273.15 = Temperature in °C
3-Wire version (10mV/°C)
mV reading/10 - 273.15 = Temperature in °C

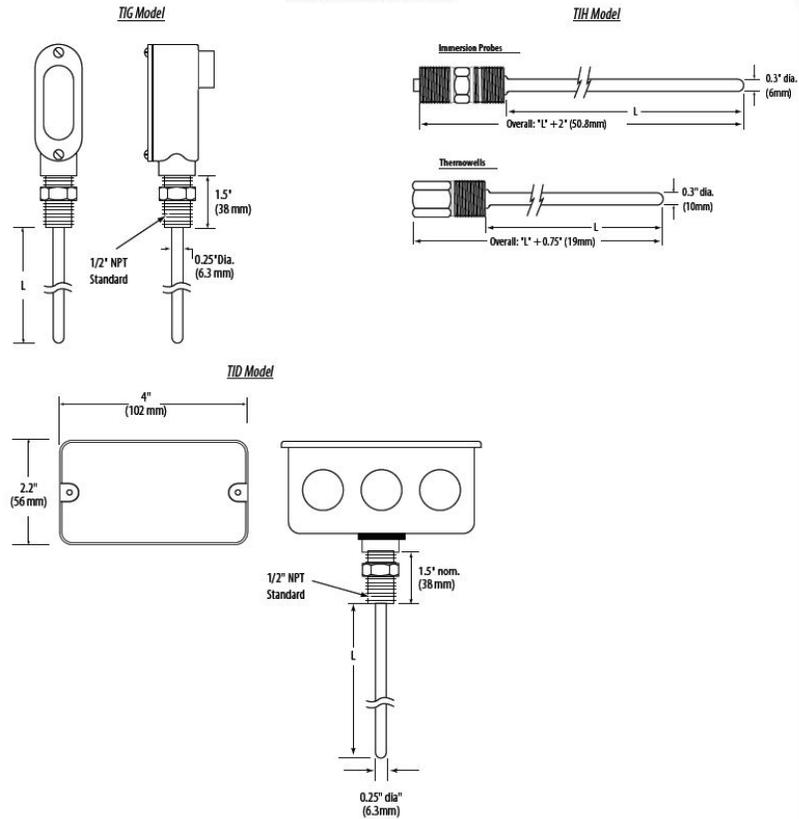
SPECIFICATIONS

Wiring	22AWG; 2-wire RTD Thermistor, 4-20mA; 3-wire: Voltage output models
Probe	Stainless Steel
Test Pressure	200psi
Limitemp:	
Input Power	5 to 30VDC
Output	1µA/°C or 10mV/°C
Operating Temperature	-25° to 105°C (-13° to 221°F)
Accuracy	Calibration Error: 1.5°C (35°F) typical; 2.5°C (37°F) max. at 25°C (77°F)*
Error over Temperature:	1.8°C typical (35°F); 3.0°C (34°F) max. over 0° to 70°C (32° to 158°F) range 2.0°C (35°F) typical, 3.5°C (38°F) max. over -25° to 105°C (-13° to 221°F) range

*Room temperature error documented on each unit.



DIMENSIONAL DRAWINGS



ORDERING INFORMATION

TI <input type="checkbox"/> D = Duct G = Service Entry Body H = Threaded NPT Only	Immersion Probe Length "L" <input type="checkbox"/> A = 2 1/2" (64mm) <input type="checkbox"/> B = 4" (102mm) <input type="checkbox"/> C = 6" (152mm) <input type="checkbox"/> D = 8" (203mm) <input type="checkbox"/> E = 12" (305mm)	Thermowell <input type="checkbox"/> 0 = None <input type="checkbox"/> 1 = Add Thermowell	Sensor Type <input type="checkbox"/> B = 100R Platinum, RTD <input type="checkbox"/> C = 1k Platinum, RTD <input type="checkbox"/> D = 10K T2, Thermistor <input type="checkbox"/> E = 2.2k, Thermistor <input type="checkbox"/> F = 3k, Thermistor <input type="checkbox"/> G = 10k CPC, Thermistor <input type="checkbox"/> H = 10k, T3, Thermistor <input type="checkbox"/> J = 10k Dale, Thermistor <input type="checkbox"/> K = 10k w/1k shunt, Thermistor <input type="checkbox"/> M = 20k NTC, Thermistor <input type="checkbox"/> N = 1800 ohm, Thermistor <input type="checkbox"/> P = 10mV/°C, Linitemp <input type="checkbox"/> R = 10k US, Thermistor <input type="checkbox"/> S = 10K 3A221, Thermistor <input type="checkbox"/> T = 100k, Thermistor	OPTIONS Cal Certificate <input type="checkbox"/> 0 = None <input type="checkbox"/> 1 = 1 point Cal validation <input type="checkbox"/> 2 = 2 point Cal validation		Threads <input type="checkbox"/> Blank = NPT <input type="checkbox"/> A = BSPT <input type="checkbox"/> B = DIN 2999											
	Thermowell Sizing <table border="1"> <thead> <tr> <th>Probe Length</th> <th>Thermowell Length</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A (2 1/2") (64mm)</td> <td>1 1/2" (38mm)</td> </tr> <tr> <td>B (4") (102mm)</td> <td>3" (76mm)</td> </tr> <tr> <td>C (6") (152mm)</td> <td>5" (127mm)</td> </tr> <tr> <td>D (8") (203mm)</td> <td>7" (178mm)</td> </tr> <tr> <td>E (12") (305mm)</td> <td>11" (279mm)</td> </tr> </tbody> </table>		Probe Length	Thermowell Length	A (2 1/2") (64mm)	1 1/2" (38mm)	B (4") (102mm)	3" (76mm)	C (6") (152mm)	5" (127mm)	D (8") (203mm)	7" (178mm)	E (12") (305mm)	11" (279mm)	Example: TI <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> A		
Probe Length	Thermowell Length																
A (2 1/2") (64mm)	1 1/2" (38mm)																
B (4") (102mm)	3" (76mm)																
C (6") (152mm)	5" (127mm)																
D (8") (203mm)	7" (178mm)																
E (12") (305mm)	11" (279mm)																

NOTE:
For 4-20mA transmitter output, order any TI with the 100k platinum RTD and accessory AA10cx.

Anexo C

	BANDA CUÁDRUPLE SA-G+	BANDA CUÁDRUPLE SA-EL																																												
NÚMERO DE MODELO	GSM1308	EDG1228																																												
CARACTERÍSTICAS Dimensions (L x W x H) Weight Housing Antenna	63.5 x 63.5 x 23.9 mm 80 g Plastic SMA connector	63.5 x 63.5 x 23.9 mm 128.5 g Seamless aluminum extrusion SMA connector																																												
DESEMPEÑO DE RADIO Frequency (MHz) Sensitivity Transmit power	850/900/1800/1900 -106 dBm (typical) Class 4 (2W@850/900 MHz); Class 1 (1W@1800/1900 MHz)																																													
PAQUETE DE DATOS Mode Protocol Coding schemes Packet channel	Class B, Multislot 10 GSM/GPRS Release 97, AMR Release 99 CS1-CS4 FBCCH/PCCH	Class B, Multislot 10 GSM/GPRS/EDGE/AMR Release 99 CS1-CS4; MCS1-MCS9 FBCCH/PCCH																																												
FUNCIONALIDAD GSM Voice CS data GSM SMS	FR, EFR, HR & AMR Asynchronous; Transparent and Non-Transparent up to 14.4 kb Text, PDU, MO/MT, Cell Broadcast																																													
INTERFAZ Host Protocols Internal Protocols API Control/Status Physical Interface Peripheral Interface	AT commands, UDP API, CMUX, PPP PPP, UDP API, TCP API, UDP PAD, TCP PAD AT commands, UDP API, TCP API, AT commands over SMS RS-232C 8-pin I/O: Mic in, headset out, audio return, ground, input power, 2 user-defined I/O, and 1 dedicate output	AT commands, CMUX, PPP PPP AT Commands USB 2.5 mm headset jack																																												
ACCESO SIM	1.8/3V with locking mechanism																																													
ENTORNO Operating Compliant Storage Humidity	-30°C to +70°C -20°C to +60°C -40°C to +85°C Up to 95% non-condensing																																													
ENERGÍA DC voltage GSM operating power (typical)	6-40 V SA-G+ @ 9 V <table border="1"> <thead> <tr> <th>Band</th> <th>Mode</th> <th>Avg (mA)</th> <th>Peak (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">GSM 850/900</td> <td>1 TX/1RX</td> <td>200</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>Idle</td> <td>60 DRX5</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">GSM 1800/1900</td> <td>1TX/1RX</td> <td>160</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td>Idle</td> <td>60 DRX5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sleep</td> <td>20</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Band	Mode	Avg (mA)	Peak (A)	GSM 850/900	1 TX/1RX	200	1.30	Idle	60 DRX5		GSM 1800/1900	1TX/1RX	160	0.92	Idle	60 DRX5			Sleep	20		5 V (powered by USB) SA-EL @ 5 V <table border="1"> <thead> <tr> <th>Band</th> <th>Mode</th> <th>Avg (mA)</th> <th>Peak (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">GSM 850/900</td> <td>1 TX/1RX</td> <td>340</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Idle</td> <td>50</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">GSM 1800/1900</td> <td>1TX/1RX</td> <td>300</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Idle</td> <td>40</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sleep</td> <td>20</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Band	Mode	Avg (mA)	Peak (A)	GSM 850/900	1 TX/1RX	340	0.9	Idle	50		GSM 1800/1900	1TX/1RX	300	0.8	Idle	40			Sleep	20	
Band	Mode	Avg (mA)	Peak (A)																																											
GSM 850/900	1 TX/1RX	200	1.30																																											
	Idle	60 DRX5																																												
GSM 1800/1900	1TX/1RX	160	0.92																																											
	Idle	60 DRX5																																												
	Sleep	20																																												
Band	Mode	Avg (mA)	Peak (A)																																											
GSM 850/900	1 TX/1RX	340	0.9																																											
	Idle	50																																												
GSM 1800/1900	1TX/1RX	300	0.8																																											
	Idle	40																																												
	Sleep	20																																												
CERTIFICACIONES FCC GCF PTCRB Industry Canada CE Mark RoHS Compliant	Parts 15, 22 & 24 Version 3.27.0 Version 3.12.0 Yes Yes Yes	Parts 15, 22 & 24 Version 3.24.0 Version 3.10.1 Yes Yes Yes																																												
NÚMERO DE PARTES	GSM1308-50	EDG1228																																												



Las especificaciones están sujetas a cambios.
Enfora, Spider y Enable Information Anywhere son marcas o marcas registradas de Enfora, Inc.