



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

PROPUESTA PARA TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS

Juan Luis Arreaga Coloma

Asesorado por el Ing. Marco Roberto Segura Rodas

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO
INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN LUIS ARREAGA COLOMA

ASESORADO POR EL ING. MARCO ROBERTO SEGURA RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

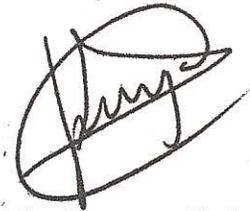
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha abril de 2010.



Juan Luis Arreaga Coloma

Guatemala 2 de octubre de 2012

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

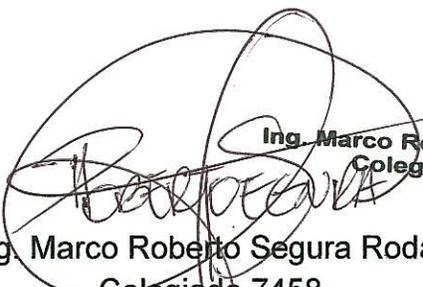
Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS”**, del señor Juan Luis Arreaga Coloma, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Ing. Marco Roberto Segura Rodas
Colegiado No. 7458
Ing. Marco Roberto Segura Rodas
Colegiado 7458
Asesor



Ref. EIME 56. 2012.

Guatemala, 13 de JULIO 2012.

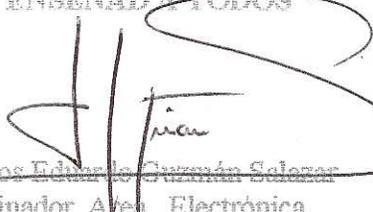
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"PROPUESTA DE TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO
INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS", del estudiante
Juan Luis Arreaga Coloma, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Edmundo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



CEGS/sto



REF. EIME 61. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JUAN LUIS ARREAGA COLOMA titulado: "PROPUESTA DE TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 30 DE OCTUBRE 2012.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA TELEMETRÍA DE NIVEL DE USO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE LA RED GPRS**, presentado por el estudiante universitario Juan Luis Arreaga Coloma, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	René Arreaga y Carolina Coloma, por su amor, sacrificio y apoyo en todo momento y orientarme en la vida para ser un profesional con valores.
Mi esposa	Beverly Camposeco, por su amor, comprensión y apoyo para ser mejor cada día.
Hermanos	Roberto, Claudia y Juan Carlos Arreaga, por ser los mejores compañeros de vida, por sus consejos, regaños y palabras de aliento.
Cuñados	Ángela Villeda, Nathy Guzmán y Carlos Trujillo, por su apoyo y cariño.
Mis abuelos	Por su cariño, consejos y apoyo incondicional.
Mis amigos	Marlon Pérez, Rubén Aaron Estrada, José Carlos Villatoro, José Julio Pineda, Javier Hernández, Gio Velásquez, Carlos Morales, Eva De León, Andrea Melgar, Héctor Galeros, Vicky Carrillo, Edgar Chaj, Eduardo Godínez, Marco Martínez, Andres Grajeda, Erick Chipix y muchos más por su apoyo y por compartir muchas experiencias en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser la fuente de fortaleza y amor incondicional.
Padres y hermanos	Por ser un ejemplo a seguir y por el apoyo en el transcurso de mi vida.
Mi esposa	Por ser la fuente de inspiración en mi vida.
Ing. Roberto Segura	Por compartir sus conocimientos y hacer posible este trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me permitió formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FUNDAMENTOS.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. La medición en la era primitiva	1
1.1.2. La medición en la era científica.....	2
1.1.3. La medición en la Revolución Industrial	2
1.2. Metrología	2
1.2.1. Concepto de metrología.....	3
1.2.2. Clasificación de la metrología	4
1.2.3. Relación de la metrología y la calidad.....	4
1.3. Guatemala y la metrología.....	5
1.4. Telemetría	7
1.4.1. Necesidad de la telemetría	7
1.4.2. Elementos básicos de un sistema de telemetría	8
1.4.2.1. Estación remota	11
1.4.2.2. Canal	12
1.4.2.3. Estación central de control	12
2. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE NIVEL	13
2.1. Terminología	13
2.1.1. Alarma	14

2.1.2.	Indicaciones	14
2.1.3.	Control.....	15
2.1.4.	Sistemas de control	15
2.2.	Principios de medición	17
2.2.1.	Métodos mecánicos.....	18
2.2.2.	Métodos electromecánicos	19
2.2.3.	Métodos electrónicos.....	19
2.3.	Métodos de medición y detección de nivel	20
2.3.1.	Detección de nivel	21
2.3.1.1.	Interruptor de flotador	21
2.3.1.2.	Método de paleta rotativa	22
2.3.1.3.	Detector tipo diafragma	24
2.3.1.4.	Método de horquillas vibrantes	25
2.3.1.5.	Método detección por conductividad.....	26
2.3.1.6.	Detector por quiebre de haz de microondas.....	28
2.3.1.7.	Detección radiométrica	29
2.3.2.	Medición de nivel.....	32
2.3.2.1.	Medidores manométricos y de presión diferencial	32
2.3.2.2.	Método por burbujeo.....	35
2.3.2.3.	Método por desplazamiento.....	36
2.3.2.4.	Medición por plomada	38
2.3.2.5.	Método por pesaje	40
2.3.2.6.	Método por capacidad	41
2.3.2.7.	Medición de nivel por ultrasonidos (tiempo de retorno de señal)	43
2.3.2.8.	Medición por microondas.....	45

	2.3.2.9.	Medición radiométrica	46
3.	SISTEMA GPRS.....		49
	3.1.	Concepto.....	49
	3.1.1.	Razón para comunicar equipos.....	49
	3.1.2.	Necesidades de la comunicación inalámbrica	50
	3.2.	Descripción básica GSM	51
	3.2.1.	Arquitectura de la red GSM.....	51
	3.3.	Sistema GPRS	53
	3.3.1.	Descripción general del sistema GPRS	53
	3.3.2.	Arquitectura de la red GPRS.....	55
	3.3.2.1.	Estación móvil GPRS.....	58
	3.3.2.2.	BSS en GPRS.....	59
	3.3.2.3.	Nodo de soporte del servicio GPRS (SGSN, <i>Serving GPRS Support Node</i>).....	60
	3.3.2.4.	Nodo del soporte del portal GPRS (GGSN, <i>Gateway GPRS Support Node</i>).....	61
	3.3.2.5.	Otros elementos de la red GPRS.....	61
	3.3.3.	La arquitectura del protocolo GPRS.....	62
	3.3.3.1.	La capa física.....	63
	3.3.3.2.	RLC (<i>Radio Link Control Layer</i>) / MAC (<i>Medium Access Control</i>)	65
	3.3.3.3.	EI LLC (<i>Logical Link Control</i>).....	66
	3.3.3.4.	SNDCP (<i>Sub-Network-Dependent Convergence Protocol</i>)	66
	3.3.3.5.	BSSGP (<i>Base Station Sub- System GPRS Protocol</i>).....	67
	3.3.3.6.	GTP (<i>GPRS Tunnelling Protocol</i>).....	67

3.3.4.	PDP (<i>Packet Data Protocol</i>)	68
3.3.5.	Codificación de canales	69
3.3.6.	Seguridad	69
3.4.	Internet sobre el sistema GPRS	70
3.4.1.	Protocolo TCP	71
3.4.2.	Protocolo UDP	72
3.4.3.	Protocolo IP	73
4.	SISTEMA DE TELEMETRÍA DE NIVEL	75
4.1.	Criterios del sistema de telemetría	76
4.1.1.	Requerimientos del producto	76
4.1.2.	Datos del producto	76
4.1.3.	Variables del producto	77
4.1.4.	Datos del proceso	77
4.1.5.	Modo de operación	77
4.2.	Elementos del sistema de telemetría de nivel	78
4.2.1.	Estación remota	80
4.2.1.1.	Sensor de nivel y acondicionador de señal	80
4.2.1.2.	CPU, ADC, comunicación serial y memoria	82
4.2.1.3.	Modem GPRS	84
4.2.2.	Estación de control	86
4.3.	Funcionamiento general del sistema de telemetría de nivel ..	86
5.	ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TELEMETRÍA DE NIVEL A TRAVÉS DE GPRS	89
5.1.	Caso práctico 1: telemetría de nivel para depósitos presurizados con gases licuados	89
5.1.1.	Descripción	89
5.1.2.	Propuesta del sistema de telemetría	90

5.1.2.1.	Criterios para elegir el método de medición de nivel y canal de comunicación.....	91
5.1.2.2.	Equipo empleado	96
5.1.2.3.	Diagrama de flujo de proceso	98
5.1.2.4.	Parámetros básicos del sistema de telemetría de nivel.....	102
5.1.3.	Relación costo/beneficio	104
5.1.4.	Ventajas y desventajas	108
5.2.	Caso práctico 2: telemetría de nivel para depósitos de sólidos en polvo.....	109
5.2.1.	Descripción	110
5.2.2.	Propuesta del sistema de telemetría.....	110
5.2.2.1.	Criterios para elegir el método de medición de nivel y el canal de comunicación.....	111
5.2.2.2.	Equipo empleado	115
5.2.2.3.	Diagrama de flujo de proceso	117
5.2.2.4.	Parámetros básicos del sistema de telemetría de nivel.....	121
5.2.3.	Relación costo/beneficio	123
5.2.4.	Ventajas y desventajas	127
CONCLUSIONES.....		129
RECOMENDACIONES.....		131
BIBLIOGRAFÍA.....		133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del Centro Nacional de Metrología	6
2.	Estructura general de un sistema de telemetría	9
3.	Partes principales de un sistema de telemetría	11
4.	Diagrama de un sistema de control en lazo cerrado.....	17
5.	Interruptor de flotador.....	22
6.	Interruptores de paleta rotativa.....	23
7.	Detector tipo diafragma	24
8.	Horquilla vibrante y la instalación en un depósito	25
9.	Detector de nivel por conductividad utilizando 2 sondas	27
10.	Detección por quiebre de haz de microondas	29
11.	Detección radiométrica	31
12.	Medición de presión hidrostática	33
13.	Medición de presión diferencial	34
14.	Medición por burbujeo.....	35
15.	Servodispositivo de nivel utilizado para el método por desplazamiento.....	37
16.	Ejemplo de <i>silopilots</i> como método de medición por plomada	40
17.	Método de medición por pesaje	41
18.	Instalación de sonda o sensor para el método de medición por capacidad	42
19.	Método de medición de nivel por ultrasonido	44
20.	Medición de nivel por microondas en líquidos	45
21.	Medición radiométrica	47

22.	Componentes básicos de una red GSM	52
23.	Arquitectura básica de la red GPRS	56
24.	Transferencia de datos a través de GPRS.....	58
25.	Plano de transmisión	63
26.	Flujo de datos en la transmisión y recepción	68
27.	Encabezado TCP.....	71
28.	Encabezado UDP	73
29.	Encabezado del protocolo de internet (IP)	74
30.	Diagrama de bloques de una estación remota.....	80
31.	Sensor de presión diferencial.....	81
32.	Microcontrolador PIC 18F4550	84
33.	Modem GPRS	85
34.	Diagrama de bloques de una estación de control	86
35.	Diagrama del funcionamiento de un sistema de telemetría.....	88
36.	Instalación sugerida para sensor <i>Endress+Hauser</i> Delta S PMDA75	97
37.	Sistema de telemetría de nivel para depósitos presurizados con gases licuados.....	99
38.	Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación remota, caso 1	100
39.	Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación de control, caso 1	101
40.	Gráfico comparativo de costos, caso 1	107
41.	Diagrama de instalación sugerida para sensor <i>Endress+Hauser</i> <i>Solphant</i> M FTM51	116
42.	Sistema de telemetría de nivel para depósitos de sólidos en polvo.....	118
43.	Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación remota, caso 2	119

44.	Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación de control, caso 2.....	120
45.	Gráfica comparativa de costos, caso 2.....	126

TABLAS

I.	Selección de método de medición y selección para telemetría de nivel	79
II.	Resumen características microcontrolador PIC.....	83
III.	Resumen características Modem GPRS	85
IV.	Datos del producto del proceso, caso 1	91
V.	Selección de opciones de método de medición, caso 1	94
VI.	Selección por modo de operación, caso 1.....	95
VII.	Costo de operación anual actual, caso 1.....	105
VIII.	Costo de inversión inicial, caso práctico 1	105
IX.	Costo de operación anual con sistema de telemetría implementado, caso 1	106
X.	Datos del producto del proceso, caso 2	112
XI.	Selección por variables del producto, caso 2	113
XII.	Selección por modo de operación, caso 2.....	114
XIII.	Costo de operación anual actual, caso 2.....	124
XIV.	Costo de inversión inicial, caso 2	124
XV.	Costo de operación anual con sistema de telemetría implementado, caso 2	125

GLOSARIO

Actuadores	Dispositivo electromecánico que realiza algún movimiento debido a una señal eléctrica.
ADC	Convertidor Análogo Digital, por sus siglas en inglés. Es el encargado de convertir señales eléctricas en su representación binaria (1's y 0's) para que lo pueda almacenar e interpretar una computadora.
BG	<i>Border Gateway</i> o Portal de Frontera.
BSC	<i>Base Station Controller</i> o Controlador de la Estación Base.
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> o Subsistema de la Estación Base.
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> o Estación Base Transceptora.
CPU	Unidad central de proceso, por sus siglas en inglés. Es el cerebro en los dispositivos electrónicos, tiene a su cargo realizar todas las tareas asignadas.
Datos	Conjunto de símbolos o señales eléctricas, ópticas, sonoras, que asociados contienen información.

Dieléctrico	Material que no conduce electricidad, y puede ser utilizado como aislante.
Electromecánico	Dispositivo mecánico que se acciona por impulsos eléctricos.
Electrónico	Dispositivo que se acciona por impulsos eléctricos, no cuenta con partes mecánicas que puedan causar fricción.
Frecuencia	Es la magnitud que representa el número de repeticiones de algún evento en un segundo. Su unidad es Hertz (Hz).
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i> o Nodo de Soporte del Portal GPRS.
GMSK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i> o Modulación por Desplazamiento Mínimo Gausiano.
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> o Servicio General de Paquetes por Radio.
GSM	<i>Global System for Mobile</i> o Sistema Global para Móviles.
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i> o Identidad Internacional del Suscriptor a un Móvil.

Inalámbrico	Sistema de comunicación que utiliza el aire para transmitir información. No utiliza cables conductores.
Internet	Es una gran red internacional de ordenadores, que permite compartir recursos e información.
Inversión	Adquisición de bienes para obtener beneficios a lo largo del tiempo.
IP	<i>Internet Protocol</i> o Protocolo de Internet.
Itinerancia (<i>roaming</i>)	Es la capacidad del suscriptor de utilizar un dispositivo móvil fuera del servicio local, como por ejemplo otro país.
Mecánico	Dispositivo que se accionan por mecanismos en el que existe fricción de las partes que lo compone.
Medición	Es determinar la magnitud de una variable en relación con un patrón preestablecido.
Meteorología	Derivada de la raíz meteoron = alto en el cielo, y logos = conocimiento o tratado. Es la ciencia que estudia el estado del tiempo y todos los fenómenos atmosféricos.
Microonda	Frecuencia del espectro electromagnético entre el rango de 1 GHz y 300 GHz.

MSC	<i>Mobile Switching Centre</i> o Centro de Conmutación Móvil.
Nivel	Es una magnitud que indica la cantidad de material en relación a la altura dentro de algún depósito.
NSS	<i>Network Switching Subsystem</i> o Subsistema de Conmutación de la Red.
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i> o Red Pública Móvil Terrestre.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> o Red de Telefonía Pública Conmutada.
Sensor	Es un dispositivo capaz de convertir magnitudes físicas como temperatura, nivel, presión, entre otras, y transformarla en una señal eléctrica.
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i> o Nodo de Soporte del Servicio GPRS.
Silo	Es un depósito seco en forma de cilindros, subterráneos o en la superficie, donde se almacenan materiales.
SMS	<i>Short Message Service</i> o Servicio de Mensajes Cortos.

Radiación	Propagación o expulsión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas.
Radiometría	Ciencia que estudia la radiación electromagnética.
Rayo alfa	Es un rayo producido por una partícula subatómica de un elemento radiactivo en desintegración, incapaz de penetrar la mayoría de la materia.
Rayo beta	Es un rayo producido por una partícula subatómica de un elemento radiactivo en desintegración, capaz de penetrar pocos centímetros de la materia.
Rayo gamma	Es un rayo electromagnético producido por un elemento radiactivo en desintegración, capaz de penetrar y atravesar una gran variedad de materia.
Resonancia	Es el momento de máxima amplitud de oscilación de un elemento.
RS-232	Protocolo de comunicación serial para la transmisión de datos entre 2 equipos.
Suscriptor	Persona que paga por tener un servicio, como un usuario de telefonía celular.
TCP	<i>Transport Control Protocol</i> o Protocolo de Control de Transporte.

Telemetría

Derivada de la raíz tele = remoto, y metro = medida, es un sistema de medida de magnitudes físicas en lugares lejanos o de difícil acceso, para luego transmitirla hacia un observador lejano.

UDP

User Datagram Protocol o Protocolo de Datagrama de Usuario.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realiza una propuesta para la telemetría de nivel de uso industrial, utilizando como medio de comunicación la red celular GPRS.

El capítulo I, presenta cómo el ser humano compara con base a patrones de medición desde la era primitiva hasta la revolución industrial, desde la comparación de tamaños y formas entre un objeto y otro hasta la creación de patrones normalizados para que todo el mundo utilice la misma referencia de medición. La metrología es la ciencia que estudia los sistemas de medidas y peso así como la creación de dichos patrones de medición, juega un papel importante en las actividades comerciales e industriales. La telemetría no es más que la medición en lugares remotos, donde en algunas ocasiones el acceso es un problema de alto riesgo, inhabitable para el ser humano o lejano.

En el capítulo II, se presenta los principios de la medición de nivel, teniendo una variedad de técnicas como los métodos mecánicos, electromecánicos y electrónicos. Según los requerimientos de una aplicación se puede determinar el nivel utilizando un método de medición o un método de detección. Si se utiliza un método de medición se puede conocer en todo momento el nivel del producto deseado dentro de un depósito, si se utiliza un método de detección solamente, se conoce puntualmente si está vacío, lleno o a la mitad de producto en el depósito.

En el capítulo III, se comprende que la comunicación en una sociedad es muy importante, porque se está informado de acontecimientos de interés. Estar informados en todo momento y en cualquier lugar es ahora una necesidad, por lo que se crea la red celular GSM, con la cual se transferirá audio por medio de llamadas en cualquier lugar donde se encuentre. La necesidad de transferir información digital inalámbricamente, también crece por lo que se crea la red celular GPRS, que utiliza la infraestructura de la red GSM para transferir datos así como internet.

El capítulo IV, presenta una propuesta de un sistema de telemetría de nivel, este sistema utiliza criterios generales que permiten seleccionar el mejor método de medición o detección de nivel acorde al material a medir, esta información es extraída en una estación remota. El sistema también permite elegir el mejor medio de comunicación para trasladar la información hacia una estación de control. Este capítulo también presenta los componentes básicos que se encuentran en una estación remota y en una estación de control.

El capítulo V, presenta un análisis de dos casos de sistemas de telemetría de nivel, utilizando la red GPRS como medio de comunicación. Se analiza el criterio para seleccionar un método de medición o detección de nivel dependiendo del material y las características del sistema de telemetría deseado para cada caso. Se presenta un diagrama de flujo así como la relación costo/beneficio, ventajas y desventajas.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta de un sistema de telemetría para la medición de nivel en la industria a través de la red GPRS, según el producto y características del entorno que rodean dicho proceso industrial, como pueden ser materiales sólidos, líquidos o gaseosos de materias primas en depósitos que se encuentran muy distantes del lugar de producción o manipulación.

Específicos

1. Definir los principios básicos para la medición de nivel en depósitos sellados de gases refrigerados y sólidos.
2. Establecer los diferentes métodos de detección de nivel y medición de nivel en depósitos que definen el modo de operación de un sistema de telemetría.
3. Determinar la adecuada elección entre un método de medición de nivel y un método de detección de nivel según los requerimientos del proceso.
4. Establecer la relación costo/beneficio que se obtiene al momento de implementar un sistema de telemetría de nivel a través de GPRS.
5. Definir las ventajas y desventajas que tienen los sistemas de telemetría utilizando las redes móviles existentes como GPRS.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de medir en todo momento la cantidad de material que es utilizado en procesos industriales tiene un papel importante para controlar inventarios, mezcla de materiales, incrementar niveles de producción, etc., esta necesidad de medir ha permitido la extensa utilización de diferentes sensores para diferentes materiales como sólidos, líquidos o gaseosos.

Existen varios métodos para medir nivel dentro de los depósitos, que pueden estar definidos por sus dimensiones así como las características de los materiales contenidos, como sólidos, líquidos y gaseosos. Para seleccionar un medidor de nivel también lo limitan los requerimientos del proceso industrial, como presión y temperatura. Cuando el proceso industrial requiere activar alarmas de vaciado o llenado, se utilizan los métodos de detección de nivel. En cambio, cuando el proceso industrial requiere conocer en todo momento el nivel del material, se utilizan métodos de medición de nivel de forma continua.

Cuando la medición o detección de nivel se realiza a largas distancias, su acceso es ilimitado o peligroso para el personal operativo, se puede recurrir a la telemetría. La telemetría se deriva de la raíz griega tele = remoto, y metro = medida, esta es una tecnología que permite capturar información en lugares remotos y trasladarlos a una central de control para un análisis en tiempo real.

Parte de la telemetría consiste en la elección adecuada de un canal de comunicación, que debe proveer un medio confiable y continuo para transmitir información. Las redes GPRS proveen un canal para transmitir información a través de las redes celulares GSM, permitiendo aprovechar toda la infraestructura de esta extensa red inalámbrica instalada utilizada hoy en día.

1. FUNDAMENTOS

1.1. Antecedentes

El hombre ha tenido la necesidad de conocer la cantidad de las cosas, lo cual lo ha llevado a realizar mediciones, que su definición es la determinación de las dimensiones de cualquier cosa, la cual se ha desarrollado según las necesidades del ser humano, su crecimiento y evolución.

1.1.1. La medición en la era primitiva

Desde sus orígenes el hombre manifestó un instinto natural hacia realizar mediciones subjetivas, es decir, le resultaba fácil distinguir entre dos cantidades como poco y mucho. Este mismo instinto, desarrollado en menor grado es propio de los animales.

El ser humano mide en cada momento, por ejemplo: al comparar el mismo sabor de bebidas gaseosas de diferentes marcas, al comparar la calidad de tela de diferente ropa. Comparar no es otra cosa que realizar una medición, como lo menciona Protágoras: “El hombre es la medida de todas las cosas”¹.

El hombre se estableció en comunidades, sus mediciones pasaron de lo subjetivo a lo objetivo, ya que le fue indispensable realizar trueques, que a su vez, lo obligó a crear objetos de referencia e instrumentos de medición cada vez más universales como el calendario, las balanzas y muchos otros más.

1. Diógenes Laercio: Vidas, opiniones y sentencias de los filósofos más ilustres, IX, 50-56p

1.1.2. La medición en la era científica

No fue hasta Galileo que las mediciones dejaron de ser sólo subjetivas para serlo objetivas y científicas. En Francia, a fin de unificar criterios metroológicos se reúnen Borda, Laplace y Lagrange quienes proponen el metro como la diezmillonésima parte del meridiano terrestre, esto sirvió de base para un sistema decimal internacional de unidades. En 1796 se deposita en los archivos de París el primer metro patrón de platino. En 1837, se establece en Francia el Sistema Métrico Decimal como obligatorio. Posteriormente se crea el Buró Internacional de Pesas y Medidas.

1.1.3. La medición en la Revolución Industrial

Con la revolución industrial surge la necesidad de controlar los procesos de fabricación, lo que implica efectuar mediciones durante los mismos, ya que no se puede controlar ni mejorar lo que no se mide.

Por otra parte las investigaciones y el comercio requieren también soportar sus criterios en sistemas de medición, además de un vocabulario común para facilitar su desempeño. Como respuesta a todas estas necesidades, se desarrolla una metrología como hoy se conoce.

1.2. Metrología

Aunque no es muy conocida, está en contacto diario, desde actividades comunes y corrientes a las cuales no se les presta atención como el consumo de energía eléctrica, agua potable y combustible, hasta aquellas de gran importancia que pueden afectar la vida, la salud y el ambiente, por ejemplo, la medición de la presión arterial y la temperatura del cuerpo.

1.2.1. Concepto de metrología

La metrología deriva del griego metro que significa medida y logos que significa tratado, por lo que su interpretación es tratado de medidas. En términos generales es definida como la ciencia y técnica que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesos y medidas así como la determinación de las magnitudes físicas utilizadas para dicha medición, juega un papel fundamental en las actividades comerciales e industriales que el hombre desarrolla. Le permite tener un mejor conocimiento de su entorno para adecuarlo a sus necesidades. Se puede afirmar que en la medida que se mejore las mediciones, se mejorará el conocimiento de la realidad.

Históricamente esta disciplina ha pasado por varias etapas; inicialmente el objeto de su estudio fue el análisis de los sistemas de pesos y medidas antiguos, cuyo conocimiento se observa necesario para la correcta comprensión de los textos antiguos.

A mediados del siglo XVI el interés por la determinación de la medida del globo terrestre pusieron de manifiesto la necesidad de un sistema de pesos y medidas universal, proceso que se vio agudizado durante la revolución industrial culminando con la creación de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas y la construcción de patrones para el metro y el kilogramo en 1872.

Establecidos ya patrones de las unidades de medida fundamentales por la oficina mencionada, la metrología se ocupa hoy día, sin olvidar su vertiente histórica, del proceso de medición en sí, es decir, del estudio de los procesos de medición, incluyendo los instrumentos empleados, así como de su calibración periódica; todo ello con el propósito de servir a los fines tanto industriales como de investigación científica.

1.2.2. Clasificación de la metrología

La metrología según su campo de aplicación se divide en: metrología científica, metrología industrial y metrología legal. Cada una de estas ramas tiene una función especial de apoyo a los diferentes sectores de la sociedad.

- Metrología legal, es la rama de la metrología que se encarga de la normalización de las mediciones y de la coordinación de los sistemas metrológicos y sus lineamientos, a fin de respaldar los intercambios comerciales que la entidad necesite.
- Metrología científica, es la rama responsable del mantenimiento de los patrones primarios, del diseño y reproducción de los sistemas primarios, así como del respaldo en las investigaciones y desarrollos de la ciencia.
- Metrología industrial, es aquella que se relaciona con la industria y el comercio. Esta persigue promover la competitividad a través de la permanente mejora de las mediciones que inciden en la calidad del producto. Soporta las actividades de producción de la industria en general.

1.2.3. Relación de la metrología y la calidad

En la actualidad los sistemas de calidad en la industria son tema fundamental para la supervivencia de la misma. La globalización y la integración de economías por bloques, obliga a las empresas a ser más competitivas y a que sus productos cumplan con los estándares internacionales, los cuales son elaborados bajo un sistema de calidad como el ISO 9000.

Estas normativas ponen de manifiesto el controlar el equipo de medición controlar los equipos de inspección medición y prueba de tal forma que la incertidumbre de la medición sea conocida y consistente con la capacidad de medición.

1.3. Guatemala y la metrología

Tanto los consumidores como los empresarios necesitan tener certeza del contenido exacto del producto adquirido como del comercializado. La globalización de los mercados, hace necesario que las unidades de medida sean uniformes en todos los países, para que exista un solo lenguaje en lo que a mediciones se refiere, por ejemplo, si se adquiere un litro de cualquier producto, este debe contener la misma cantidad en Guatemala, Alemania, Japón o en cualquier otro país.

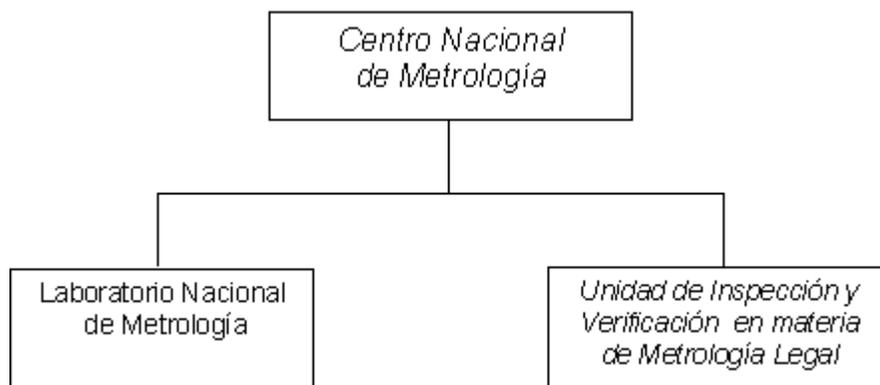
El Centro Nacional de Metrología fue establecido por el Acuerdo Gubernativo 57-2003 el 7 de marzo del 2003, que modifica el Artículo 11 del Acuerdo Gubernativo 182-2000 del 12 de mayo de 2000, como una unidad de la Dirección del Sistema Nacional de Calidad, conformado por el Laboratorio Nacional de Metrología y la Unidad de Inspección y Verificación en materia de metrología legal. El Centro Nacional de Metrología es miembro del SIM (Sistema Interamericano de Metrología), donde participan los Institutos Nacionales de Metrología de los países miembros de la Organización de Estados Americanos (OEA).

El Centro de Metrología es el encargado de dirigir y organizar el proceso de metrología en el país. El Laboratorio Nacional de Metrología actúa como organismo oficial responsable de conservar, controlar y supervisar los patrones nacionales de las unidades de medida legales.

La Unidad de Inspección y Verificación en materia de Metrología Legal, será la encargada de regular, en coordinación con la entidad oficial que corresponda, lo relacionado con los instrumentos de medición y métodos de medición que respalden la salud pública, el ambiente, la seguridad e higiene industrial.

El Laboratorio Nacional de Metrología se encuentra ubicado en el interior de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, 24 calle 21-12, zona 12. Inició la prestación de servicios el 16 de agosto del 2001 en las magnitudes masa gruesa, masa fina y termometría.

Figura 1. **Estructura del centro Nacional de Metrología**



Fuente: www.mineco.gob.gt. Consulta: agosto de 2011.

El Centro Nacional de Metrología por medio del Laboratorio Nacional de Metrología, debe participar constantemente en la intercomparación de patrones, por ejemplo el de masa y temperatura, con los centros de metrología de los países de la región.

1.4. Telemetría

Es un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se producen los fenómenos, más aun cuando existen limitaciones de acceso y es necesario trasladarlas a otro punto para su posterior proceso.

1.4.1. Necesidad de la telemetría

Una de las principales aplicaciones de la telemetría es la meteorología. Los equipos instalados en sondas y globos meteorológicos permiten obtener medidas de las capas altas de la atmósfera y realizar mapas que ayudan a predecir el clima.

En las ciencias de la salud, y la medicina en particular, la telemetría ha tomado mayor auge porque la medición o registro de procesos y eventos electrocardiográficos es a distancia. Estos registros se recogen en un ordenador central ubicado en el control de enfermería que refleja continuamente el ECG (electrocardiograma) de todos los pacientes conectados a él mediante unos radiotransmisores inalámbricos que funcionan con baterías recargables para tener una mayor movilidad.

Otras de las aplicaciones están en las industrias del petróleo y gas con la supervisión de gaseoductos y oleoductos, monitoreo y control remoto de transmisión de productos por redes de tuberías y también en los sistemas de distribución de agua las cuales pueden llegar a tener varios kilómetros de tubería.

La telemetría en la minería y manufactura es muy importante porque hay casos en los que se debe medir parámetros como nivel en sólidos y líquidos, la temperatura y presión en lugares inaccesibles para el operador, y estos son críticos para el proceso industrial.

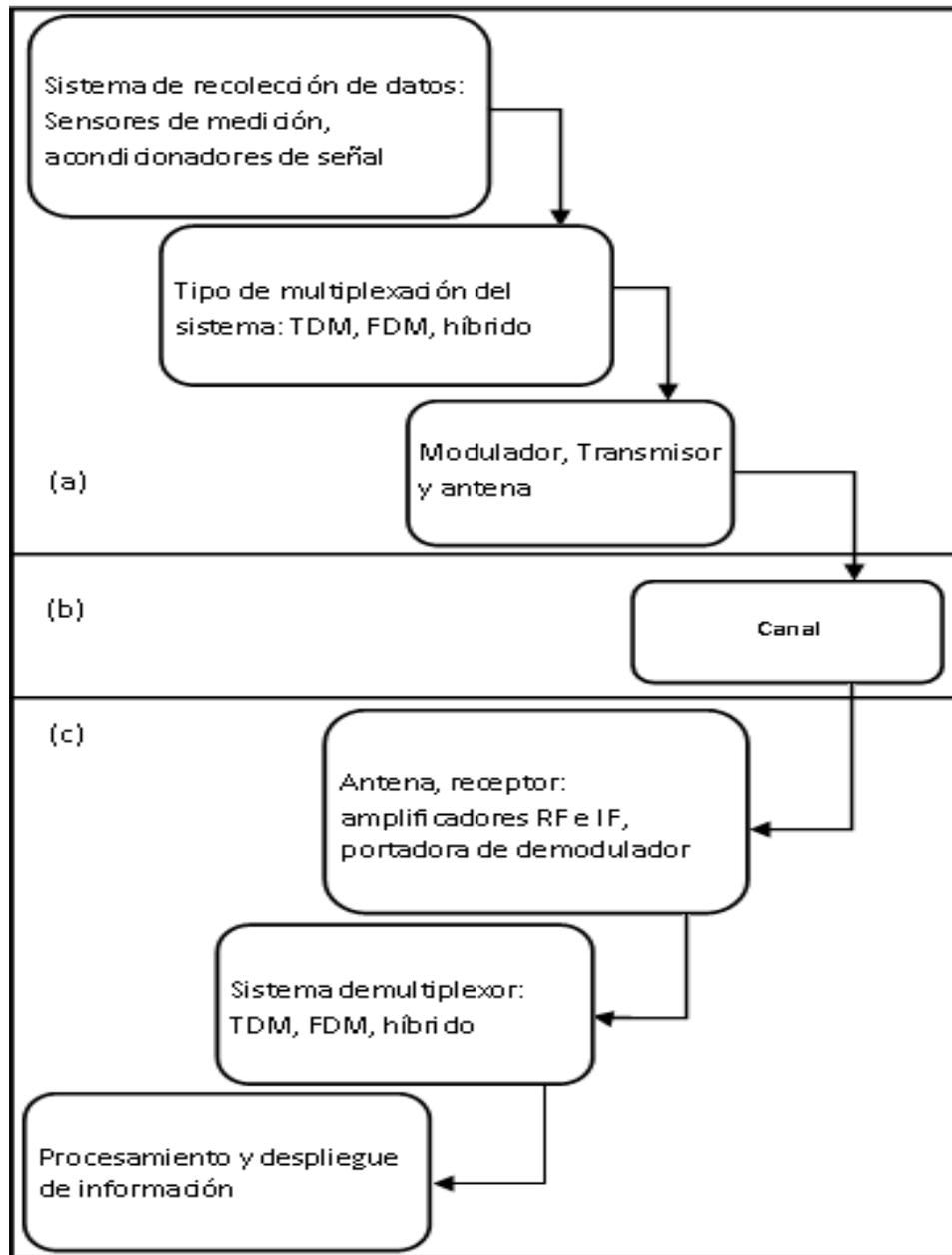
Es por esto que la telemetría ha comenzado a tener una auge ante la necesidad del hombre de conocer en todo momento y en cualquier lugar información de su interés, que a su vez es importante para el proceso de producción industrial, así como control automático ante situaciones críticas para proteger a su personal y para mantener a los equipos funcionando de manera continua.

Es importante recordar que el principal propósito de la telemetría es de recolectar información en lugares remotos o peligrosos para el ser humano y deben ser transmitidas a un lugar donde pueden ser evaluadas y almacenadas, pero muy importante es el análisis del sistema a implementar, dado que las condiciones y las necesidades cambian para diferentes procesos industriales.

1.4.2. Elementos básicos de un sistema de telemetría

La figura 2 muestra la estructura general de un sistema de telemetría, aunque existen algunas variantes al momento de diseñar un sistema de este tipo, no difieren más allá del método para capturar señales de los sensores, los diferentes métodos para transmitir la información, así como la forma de recibir y analizar la información.

Figura 2. Estructura general de un sistema de telemetría



Fuente: *Telemetry System Engineering*.

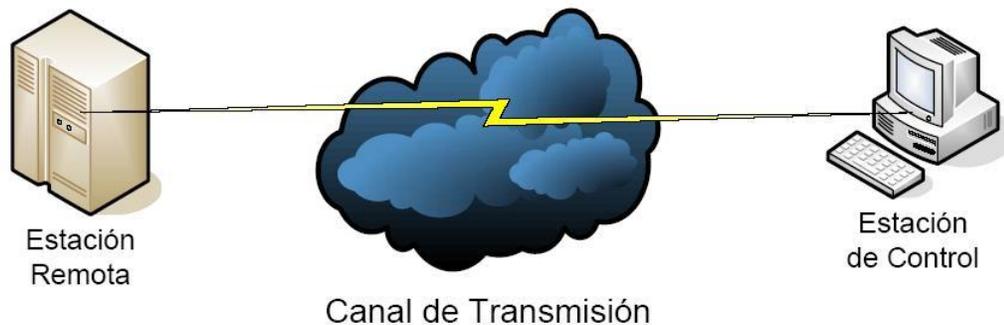
La figura 2 está compuesta por 3 bloques principales, el bloque (a) es donde se realiza la captura de la información, se empaqueta y transmite. En este bloque se analizan todas las señales que se necesitan monitorear, así como la forma en que se va a enviar los paquetes y la preparación de la información antes de ser transmitida por medio de un canal.

El bloque (b) de la figura 2, representa el canal seleccionado para transmitir la información. A pesar de ser el segundo bloque del sistema, este bloque define una parte principal de la estructura del sistema de telemetría, las condiciones y restricciones de todo el sistema, tales como velocidad de transmisión, distancia máxima de transmisión y el tiempo máximo de transmisión para canales saturados.

Y el bloque (c) de la figura 2 es donde se realiza la recepción de la información, así como el análisis del mismo. En este bloque se realizan todos los pasos en dirección opuesta al bloque (a), debido a que primero se debe recuperar la información, luego desglosar los paquetes recibidos para interpretar la información obtenida.

Los 3 bloques representados en la figura 2, puede ser representado gráficamente en la figura 3.

Figura 3. **Partes principales de un sistema de telemetría**



Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

1.4.2.1. Estación remota

La estación remota es un elemento muy importante en un sistema de telemetría, porque la precisión de su funcionamiento define en mayor parte la precisión de todo el sistema. Una buena estructura y control de fallos de funcionamiento permite el monitoreo continuo y comunicación constante.

La estación remota es la parte que contiene todos los elementos físicos para realizar mediciones (sensores) de magnitudes físicas, empaquetado de información (memoria interna), preparación de las señales (filtros y acondicionadores de señal) y los elementos de transmisión (Modem o transmisores de señal). Todo esto es orquestado por un procesador central (microcontroladores o procesadores).

1.4.2.2. Canal

El canal es una parte crítica en los sistemas de telemetría, puesto que la elección del canal define en mayor medida los elementos que se necesita para preparar las señales y los encargados de la transmisión de la información que se encuentran en la estación remota, así como también todos los elementos necesarios para recibir la señal en la estación central de control.

El canal que se elige delimita las características y costos de un sistema de telemetría. Es necesario analizar el ambiente y las condiciones que el sistema requiere para una óptima elección del canal.

1.4.2.3. Estación central de control

La estación central de control es también un componente principal en los sistemas de telemetría, debido a que este es el encargado de recibir adecuadamente toda la información enviada remotamente para realizar su respectivo análisis.

La estación central de control está compuesta por componentes físicos como los elementos de recepción de señal (Modem o receptores de señal), elementos de recuperación de señal (filtros y acondicionadores de señal) y todos los componentes necesarios para tener la capacidad de interpretar y analizar la información recibida (microcontroladores o computadoras personales).

2. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE NIVEL

2.1. Terminología

Las partes que forman la ingeniería de medición son ampliamente extensas, debido a que son muchos componentes, desde un simple sensor de presión hasta el microprocesador que interpreta estas señales. Definir una terminología específica que abarque toda la ingeniería de la medición es difícil, comparado con otras ingenierías como la ingeniería en construcción o ingeniería química que utilizan terminologías universales, más bien es común que para la ingeniería de la medición se utilice terminología asociada a una rama o proceso industrial. Debido que la medición está altamente implementada en procesos industriales, esta sección tiene un énfasis a estos procesos, y se toman de base para desarrollar el resto del capítulo.

La ingeniería de medición se puede definir como el empleo de instrumentos para la detección, el procesamiento de datos y la corrección de los datos procesados.

El concepto general medición de nivel se puede dividir en los siguientes términos:

- Alarma
- Indicaciones
- Control
- Sistema de control

2.1.1. Alarma

Una alarma no es más que una señal que notifica la detección de magnitudes de referencia, que pueden ser tanto magnitudes máximas como mínimas en un proceso. Haciendo referencia a un proceso industrial las alarmas indican valores de presión que han sobrepasado su valor máximo, un valor de rebalse en depósitos o valores que consideran los depósitos vacíos.

Para detectar una señal de alarma sencilla puede utilizarse un interruptor de nivel colocado en el punto máximo del depósito. Cuando la señal del interruptor sea desconectada o desactivada es que el nivel no ha alcanzado su valor máximo. Pero cuando la señal sea conectada o activada, le indica al sistema que el nivel máximo ha sido alcanzado y que por lo tanto debe realizar una acción.

2.1.2. Indicaciones

Una indicación es la determinación exacta del valor de una cantidad medida en cualquier momento del proceso. Evidentemente, sólo se pueden obtener mediciones dentro del rango del instrumento. Existen dos sistemas de indicación los cuales son:

- Sistemas de indicación directa: funcionan por medios mecánicos como podría ser un interruptor, un resorte, una compuerta de paso, etc.

- Sistemas de indicación indirecta: funcionamiento controlado por medio un dispositivo que interpreta entradas analógicas de 0-20 o 4-20 miliamperios. Por lo general el rango de operación del instrumento genera una salida de este tipo. Pero de la misma manera, otro instrumento con otros rangos de operación genera la misma salida de 0-20 o 4-20 miliamperios, aunque se interprete diferente.

2.1.3. Control

Un dispositivo de control simple puede describirse como una alarma con una diferencia entre el punto de activación y desactivación. Esto significa que a partir de la medición de un cierto valor empieza un proceso y termina cuando se mide un segundo valor. Existen instrumentos que se han diseñado específicamente para que tengan una diferencia de activación y desactivación ajustable y de magnitudes bastante distantes, permitiendo tener mayor estabilidad del proceso. En caso contrario de algunos instrumentos que tienen las magnitudes de activación y desactivación que están demasiado próximos, que producen una forma de control sensible.

2.1.4. Sistemas de control

El objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta de un sistema, sin que el operador intervenga directamente. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes de referencia y el sistema de control se encarga de gobernar dichas salidas a través de accionamientos. El sistema de control opera, en general, con magnitudes de baja potencia, gobernando unos accionamientos que son los que realmente modulan la potencia entregada al sistema.

Un ejemplo ilustrativo de un sistema de control se puede explicar con alguna actividad diaria que toda persona realiza, como tomar una ducha. El sistema de control es nuestro cuerpo, en nuestra cabeza está el cerebro que controla nuestros brazos y piernas, además tiene almacenada la magnitud de referencia que es la temperatura del agua. Los sensores de temperatura se tiene en nuestra piel y las salidas de control es a través de accionamientos de nuestros brazos.

Si el conjunto del sistema de control y accionamientos se limitaría a ser un convertidor amplificador de potencia que ejecuta las órdenes dadas por el operador, se denominan sistemas de lazo abierto, por el hecho de que no recibe ningún tipo de información del comportamiento del sistema, sino que actúa sobre órdenes o magnitudes de referencia establecidas.

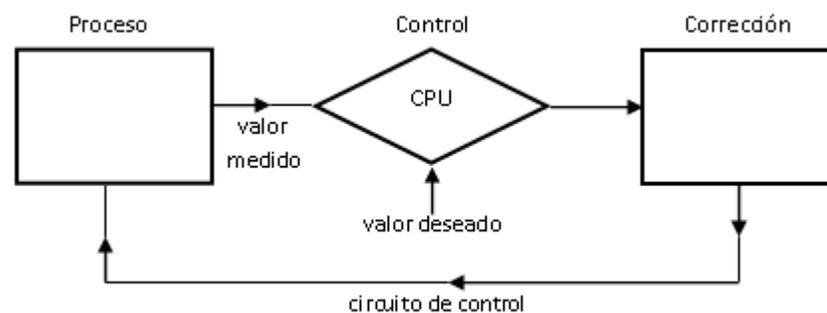
Utilizando el ejemplo de tomar la ducha para explicar los sistemas de control de lazo abierto, aplica el caso cuando se abre el grifo del agua antes de entrar a la ducha, de forma automática sólo se sabe que se gira 1 o 2 vueltas el grifo pero no se tiene idea si el agua se encuentra a la temperatura que realmente se desea.

Lo que se espera, es que el sistema de control sea el que se encargue de la toma de ciertas decisiones, ante determinados comportamientos del sistema, información que recibe constantemente por medio de unos sensores que detectan su comportamiento, utilizando unas interfaces para adaptar las señales de los sensores a las entradas del sistema de control. Estos sistemas se les llama sistemas automáticos de control, también comúnmente denominados sistemas de lazo cerrado.

Utilizando el ejemplo de tomar la ducha para explicar los sistemas de control de lazo cerrado, aplica el caso cuando ya se está dentro de la ducha, nuestra piel detecta la temperatura y le informa a nuestro cerebro, que la compara con la temperatura deseada o de referencia, si esta es mayor o menor, nuestro cerebro le ordena a los brazos realizar los movimientos necesarios para enfriar o calentar el agua.

Los sistemas de lazo cerrado utilizan el siguiente diagrama, que muestra claramente una estructura con una cadena directa y un retorno o retroalimentación, formando el circuito de control.

Figura 4. **Diagrama de un sistema de control en lazo cerrado**



Fuente: introducción al Control Industrial con Autómatas Programables PLC.

2.2. Principios de medición

Se dispone de una amplia gama de técnicas de medición y, por ello, no siempre resulta fácil para el usuario seleccionar el método de obtención de lecturas de nivel que se adapte mejor a sus requerimientos específicos. Las primeras formas de medir nivel fueron completamente mecánicas y/o neumáticas, debido a que esa era la técnica en apogeo.

Mientras la tecnología se desarrollaba surgieron equipos que eran híbridos, entre mecánicos y eléctricos, que permitieron mejorar las técnicas de medición de nivel. En la actualidad se utilizan técnicas basadas en semiconductores, las cuales son totalmente electrónicas, y definitivamente han mejorado la calidad de medir niveles pero al mismo tiempo los costos son elevados, por lo que continúan existiendo técnicas híbridas entre mecánicas y electrónicas para reducir costos.

2.2.1. Métodos mecánicos

Estas mediciones de nivel utilizan métodos sencillos que se basan en el contacto directo y el movimiento de elementos mecánicos. Su única ventaja es que el costo es relativamente barato en comparación con las otras técnicas disponibles, tiene más inconvenientes que situaciones favorables al momento de operar en un proceso de medición, especialmente si se requiere de una autonomía y con baja intervención de operarios. Son tan simples que resultan inapropiados para la mayoría de las aplicaciones, como recipientes sellados, una alta adherencia de materiales es sus partes mecánicas, y por no tener ningún elemento eléctrico, no permite la captura digital de información para ser procesada por un sistema de control.

Entre los métodos de medición mecánicos se puede mencionar: método de mirilla de nivel, método flotador-cuerda, entre otros.

2.2.2. Métodos electromecánicos

Las mediciones de nivel de métodos electromecánicos son métodos híbridos entre mecánica y eléctricos, por lo general la medición es mecánica con actuadores eléctricos. Una de las principales ventajas es su costo relativamente barato y con una medición confiable. Por utilizar métodos mecánicos, también tiene inconvenientes de adherencias, y también es inconveniente para la mayoría de procesos de medición de nivel. Posee elementos eléctricos que permiten accionar elementos, pero no dispone de salidas eléctricas para ser utilizado por un sistema de lazo cerrado.

Entre los métodos de medición electromecánicos se puede mencionar: método de interruptor flotador, detector por diafragma, entre otros.

2.2.3. Métodos electrónicos

Las mediciones de nivel por métodos electrónicos son del tipo más confiable que las anteriores debido a que la mayoría de los casos no hay contacto directo con el producto, por lo que es muy favorable para la mayoría de los procesos de medición de nivel, incluso en depósitos sellados o materiales con alta adherencia. Debido a que tienen salidas electrónicas, permite la transmisión de información y puede trabajar en sistemas de control de lazo cerrado.

Una salida electrónica no es más que una representación eléctrica de una señal física externa. Pero debido a la diversidad de métodos electrónicos que se pueden utilizar, es más difícil elegir el método apropiado para la aplicación. Todos los métodos electrónicos utilizan sensores para realizar las mediciones, estos sensores son dispositivos creados específicamente para la medición de nivel en procesos industriales porque son confiables y precisos.

Entre los métodos de medición electrónicos se puede mencionar: medidores de nivel por presión hidrostática, medición de nivel por ultrasonidos, medición de nivel por microondas, entre otros.

2.3. Métodos de medición y detección de nivel

Dependiendo de las características y los requerimientos de las aplicaciones, se diferencian dos formas para determinar el nivel dentro de los depósitos, la medición de nivel y la detección de nivel.

Existen aplicaciones que necesitan conocer al menos dos señales de nivel dentro de un depósito, un nivel alto y un nivel bajo, que indica un depósito lleno o un depósito vacío respectivamente. Se llama detección de nivel cuando el método indica únicamente niveles puntuales.

Otras aplicaciones requieren conocer de manera continua el nivel sobre todo el rango del depósito, capaces de determinar su nivel con un valor porcentual cuando se conoce el nivel máximo del depósito. Se llama medición de nivel cuando el método permite conocer de forma continua el nivel.

2.3.1. Detección de nivel

La detección de nivel se basa en detectar puntos específicos de los depósitos, los puntos más comunes son el nivel superior o lleno, y el nivel inferior o vacío. Al momento en que el detector de nivel superior envía una señal este indica que el depósito tiene el nivel máximo o se encuentra lleno y se debe detener el ingreso de más producto para evitar que se rebalse, pero al momento que el detector de nivel inferior envía una señal indica que el depósito tiene el nivel mínimo o se encuentra vacío.

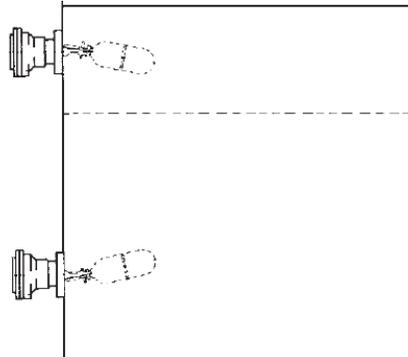
Se pueden mencionar los siguientes métodos de detección de nivel:

2.3.1.1. Interruptor de flotador

Es el método más simple y conocido, este consiste en un cuerpo flotante sobre un brazo móvil acoplado mecánicamente a un interruptor externo al proceso. Al momento en que el flotador sube debido al movimiento ascendente del producto, acciona el interruptor indicando que ha detectado el nivel superior en el depósito. La figura 5 muestra dos interruptores de flotador colocados en la parte superior y en la parte inferior.

El interruptor de flotador, es utilizado en depósitos que contienen líquidos, un ejemplo de este método es el depósito de agua de un inodoro, utiliza componentes mecánicos y un flotador para evitar que este se rebalse.

Figura 5. **Interruptor de flotador**



Fuente: www.mobrey.com. Consulta: septiembre de 2011.

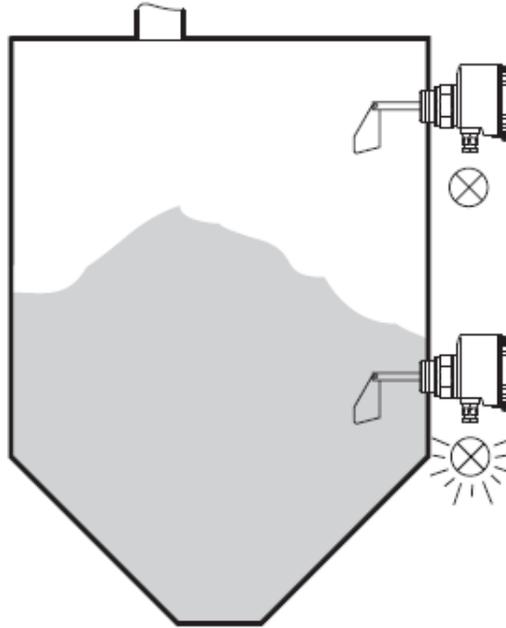
- **Ventajas:**
 - Relativamente sencillo
 - Adecuado para muchos productos y de bajo costo

- **Desventajas:**
 - Requiere un cierto montaje en el depósito
 - Mal funcionamiento en caso de adherencias

2.3.1.2. Método de paleta rotativa

Este tipo de detección de nivel consiste en un pequeño motor que hace girar una pequeña paleta lentamente por medio de engranajes reductores. Cuando el producto ofrece resistencia al movimiento de la paleta, el sistema de transmisión se mueve y activa un interruptor que emite una señal de nivel. Este método es adecuado para sólidos granulares de diversos tamaños y con cierta adherencia. La figura 6 muestra 2 interruptores de paleta rotativa colocados en 2 puntos diferentes del depósito, se aprecia que la detección de nivel obtiene en el nivel bajo y el nivel alto.

Figura 6. **Interruptores de paleta rotativa**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El interruptor de paleta rotativa es utilizado en materiales sólidos granulares dentro de industrias cementeras, industrias que manejan materiales para la construcción como pedrín, arena y cal en la mezcla de morteros y alimentos como cereales, granos de café, entre otros.

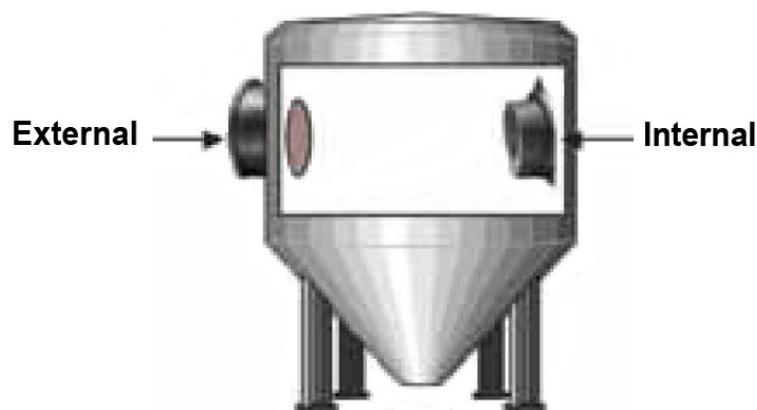
- **Ventajas:**
 - Para procesos sencillos y donde se prevean adherencias de producto
 - Bajo costo
 - No requiere ajustes

- **Desventajas:**
 - Sujeto a desgastes
 - No es adecuado para productos demasiado ligeros o demasiado densos

2.3.1.3. Detector tipo diafragma

Los detectores tipo diafragma se utiliza comúnmente en materiales sólidos granulares. La fuerza ejercida por el producto en el diafragma es captada por el dispositivo como si fuera un interruptor, el cual envía una señal de nivel. Es comúnmente montado externamente sobre una pared delgada, sobre la pared en el interior del depósito, o suspendido en el interior de este, en el lugar donde se quiere detectar el nivel. La figura 7 muestra un detector tipo diafragma instalado en el interior como en el exterior.

Figura 7. Detector tipo diafragma



Fuente: www.binmaster.com. Consulta: septiembre de 2011.

El detector tipo diafragma es utilizado para materiales granulados de tamaño medio y pequeño como polvos, no es apto para material granulado grande debido a que no ejercen una efectiva presión sobre la membrana, evitando así la correcta detección de nivel.

- Ventajas:
 - Efectivo ante adherencias

- Desventajas:
 - Requiere ajustes según el peso y densidad del producto

2.3.1.4. Método de horquillas vibrantes

Este método consiste en una horquilla oscilante preparada para que oscile en el aire a su frecuencia de resonancia. Si la horquilla se recubre de producto, la frecuencia de resonancia se reduce o se amortigua completamente. Esta variación de frecuencia se detecta y se transmite por una señal de salida.

El tipo de horquilla empleada y su frecuencia de resonancia dependerá del producto que quiera medir, aplica para líquidos y algunos sólidos granulares. La figura 8 muestra una horquilla oscilante y la forma en la que puede ser instalada en un depósito.

Figura 8. Horquilla vibrante y la instalación en un depósito



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

Es muy útil en líquidos muy viscosos y a diferentes temperaturas, sólidos granulados pequeños como polvos de diferentes densidades, no es utilizado en sólidos granulados grandes porque pueden quedar atrapados entre las horquillas. Esto aplica para industrias alimentarias, cementeras, farmacéuticas, etc.

- Ventajas:
 - No requiere ajustes
 - Montaje sencillo
 - Funcionamiento seguro
 - Relativamente barato

- Desventaja:
 - No adecuado para granos o partículas mayores de 10 milímetros, puesto que puede quedar atrapados entre las horquillas
 - Limitación de presión y temperatura

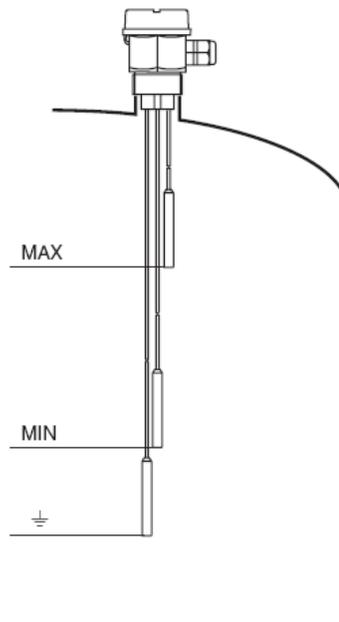
2.3.1.5. Método detección por conductividad

Este método se utiliza únicamente para líquidos conductivos, y su principio se basa en la presencia del producto causando un cambio en la resistencia entre dos conductores.

Se obtiene fácilmente una señal de nivel de productos conductores de electricidad en un tanque metálico o en otro tipo de contenedor mediante una o varias sondas aisladas del recipiente. Si el líquido no está en contacto con la sonda, no existe conducción eléctrica entre la sonda y el tanque. Cuando el líquido entra en contacto con la sonda, existe una conducción eléctrica entre el tanque y la sonda por medio del líquido y se obtiene una señal de nivel.

Por lo general la pared de los depósitos es metálica y funciona como segundo electrodo, pero si no aplica el caso, se debe introducir otro electrodo en el tanque. En la figura 9 se muestra un instalación de 2 sondas en un depósito metálico para detectar el nivel alto y el nivel bajo.

Figura 9. **Detector de nivel por conductividad utilizando 2 sondas**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

Es utilizado únicamente en líquidos con características eléctricas aptas para conducir electricidad, así al momento de entrar en contacto con el líquido se detecta una señal de nivel en el punto deseado. Puede ser utilizado en las industrias de cerveza aunque también se debe considerar la espuma que genera el líquido, porque puede generar falsas señales de nivel.

- Ventaja:
 - Sencillo y de bajo costo
 - Adecuado para detectar dos puntos (vacío y lleno)

- Desventaja:
 - Se debe evitar que la sonda se ensucie de grasa u otros materiales que eviten la correcta conducción
 - Está restringido a productos de conductividad variable

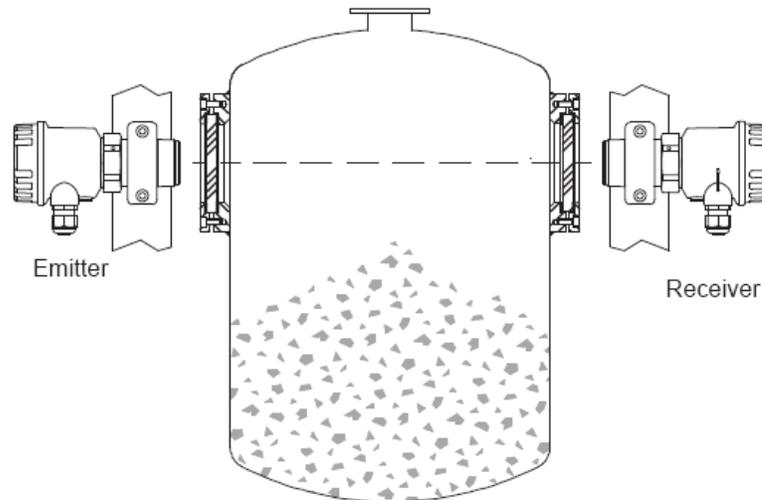
2.3.1.6. Detector por quiebre de haz de microondas

El detector por quiebre de haz de microondas constan de una fuente de microondas situada a un costado del depósito, el cual emite un haz de microondas que se refleja y transmite sobre el producto y es captado por un receptor ubicado al lado opuesto del tanque.

Cuando el nivel del depósito está por debajo del sensor, la onda captada por el receptor es la misma que la transmitida por la fuente. Pero cuando el nivel del depósito está a la altura del sensor, parte de la onda es reflejada, otra es absorbida por el material y otra es transmitida al receptor. Cuando esto pasa se detecta el quiebre del haz de microondas y envía una señal eléctrica de nivel. La figura 10 muestra el momento cuando ocurre el quiebre del haz de microondas.

Es muy utilizado en la detección de sólidos cuando se requiere hacer mediciones no invasivas y así evitar contaminación del producto. Es necesario abrir una ventana u orificio en depósitos metálicos para que el haz de microonda lo atraviese y llegue al receptor cuando no se encuentra ningún obstáculo, pero para algunos depósitos no metálicos, como plástico, no es necesario realizar este orificio, lo que lo hace fácil de instalar para este caso.

Figura 10. **Detección por quiebre de haz de microondas**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

- Ventajas:
 - Muy confiable
 - Puede ser utilizado con diferentes materiales
- Desventajas:
 - Alto costo de equipo e instalación en depósitos metálicos

2.3.1.7. Detección radiométrica

La radiometría es la ciencia que estudia la medida de la radiación electromagnética, la detección radiométrica utiliza este principio haciendo uso de la radiación nuclear de ciertos elementos radioactivos como cobalto-60 y cesio-137 para generar un haz de rayos gamma que atraviesan un depósito con producto, este rayo se atenúa con el paso entre el producto y el detector genera una señal eléctrica que indica la detección de nivel.

Existen varias fuentes de radiación nuclear: los rayos alpha, beta y gamma. El haz de rayos alpha puede ser obstaculizado por una hoja de papel o incluso la piel humana sin penetrar el cuerpo y no es utilizado en la detección radiométrica.

El haz de rayos beta tiene mayor capacidad de penetración en comparación con los rayos alpha, puede atravesar el cuerpo humano pero es incapaz de atravesar metales con unos cuantos centímetros de espesor, tampoco es utilizado en la detección radiométrica debido a esta limitación.

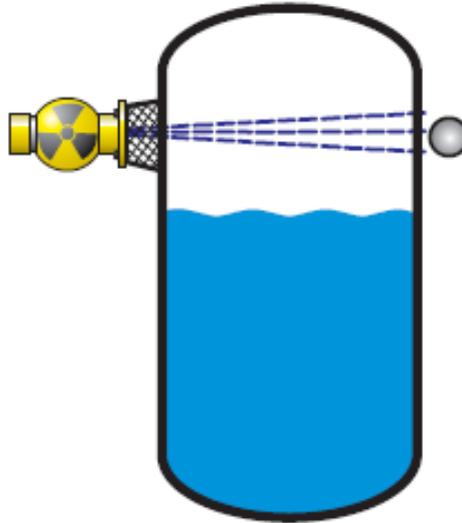
El haz de rayos gamma tiene mayor capacidad de penetración en muchos elementos, como el cuerpo humano, metales y rocas, y es la fuente de radiación nuclear apropiada para la detección radiométrica.

Para la detección de nivel, el haz de rayos gamma se emite con un ángulo de salida no mayor a los 5 grados, y constantemente se transmite directo al receptor de rayos gamma cuando no hay producto que lo atenúe, pero cuando el nivel de producto sube y atenúa el haz, el detector de rayos gamma manda una señal eléctrica de nivel como lo muestra la figura 11.

Utilizar el método de detección radiométrica representa riesgo para la salud humana si no se respetan las normas de seguridad de protección radiológica debido a la utilización de elementos radioactivos. Para proteger a las personas de la radiación nuclear es necesario:

- Aislar la fuente de radiación con algunos centímetros de espesor de plomo, hormigón u otros elementos pesados.
- Evitar estar muy cerca de la fuente radiactiva.
- Evitar excesiva y constante exposición con la fuente radiactiva.

Figura 11. **Detección radiométrica**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

La detección radiométrica es un método totalmente no invasivo que puede ser utilizado tanto para sólidos como líquidos, en la cual no se tiene contacto directo con el producto dentro del depósito, es muy utilizado cuando el producto es corrosivo, o se encuentra a altas presiones y altas temperaturas.

- **Ventajas:**
 - Adecuado para todos los productos y su montaje no causa ningún tipo de obstrucción
 - Los sistemas de medición de nivel por rayos gamma ni siquiera requieren modificaciones en el tanque
 - No hay contacto con el producto
 - Adecuado para altas presiones y altas temperaturas

- **Desventajas:**
 - Se requieren medidas especiales de seguridad
 - Alto costo

2.3.2. Medición de nivel

La medición de nivel consiste en obtener una señal proporcional al nivel del depósito, esta señal es continua desde el punto más alto hasta el punto más bajo del depósito. Al utilizar la medición de nivel se obtiene información desde que el depósito está vacío hasta que se encuentra lleno, representando el 0 y el 100 por ciento respectivamente. Se puede mencionar los siguientes métodos:

2.3.2.1. Medidores manométricos y de presión diferencial

Este método se basa en la medición de la presión hidrostática correspondiente a una columna de líquido a una altura determinada. La presión se calcula con la fórmula $P = h \cdot \rho \cdot g$.

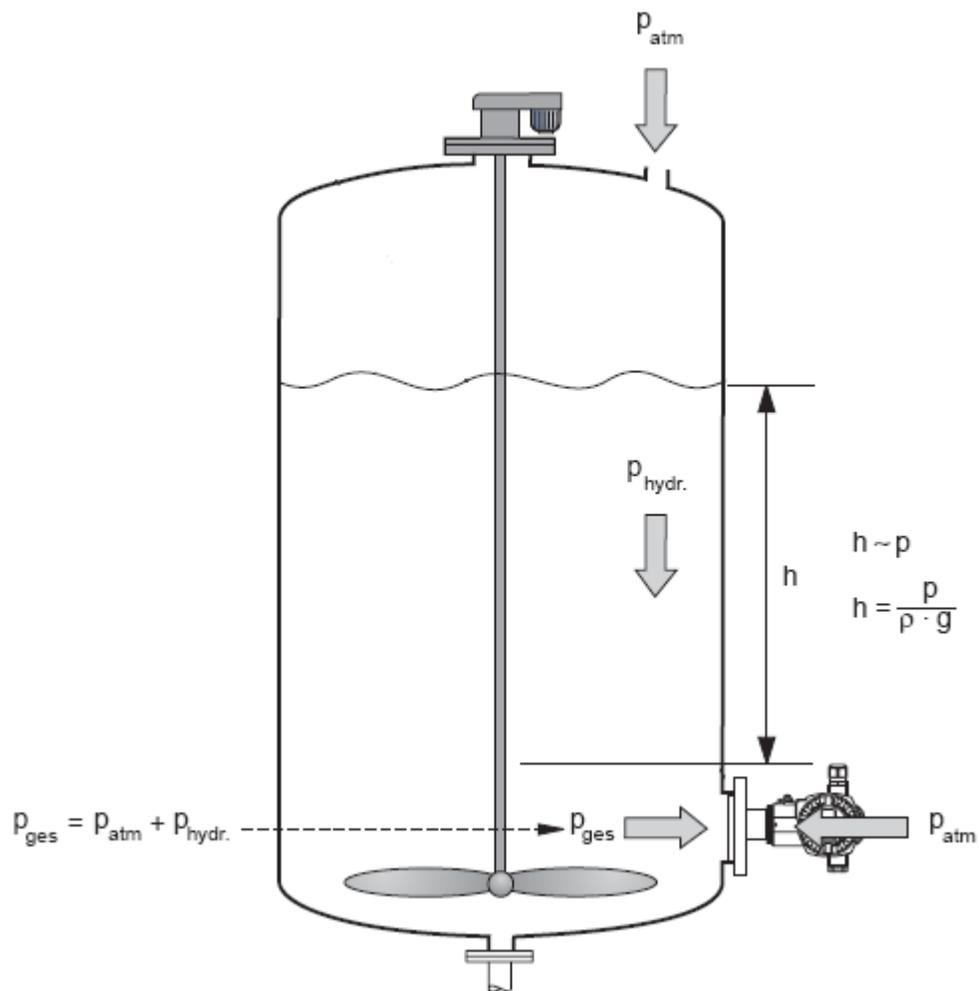
Donde: P = presión
 h = altura
 ρ = densidad relativa
 g = aceleración de gravedad

En la fórmula se observa que si la densidad relativa del medio es constante, la única variable es h , y la presión P es directamente proporcional a la altura h , y por ende al nivel del líquido en el depósito.

La presión hidrostática de la columna de líquido se mide por medio de sensores de presión, medidores manométricos o sensores de presión diferencial. Cuando se refiere a medición de presión hidrostática se refiere a los depósitos abiertos, y a la medición de presión diferencial se refiere a los tanques cerrados o presurizados.

Los depósitos abiertos se calculan sumando la presión ejercida por la columna del líquido más la presión atmosférica, como se aprecia en la figura 12, debido a esto el sensor automáticamente anula la presión atmosférica y el resultado es la presión del líquido.

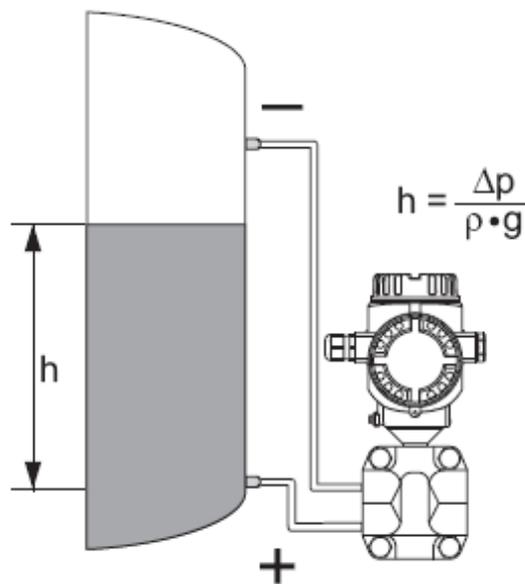
Figura 12. **Medición de presión hidrostática**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

Los depósitos cerrados utilizan 2 sensores de presión o 1 sensor de presión diferencial, la operación es similar, únicamente que se restan las presiones de ambos sensores si se utilizan 2 sensores de presión o un sensor de presión diferencial que automáticamente realiza este cálculo, como se aprecia en la figura 13.

Figura 13. **Medición de presión diferencial**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

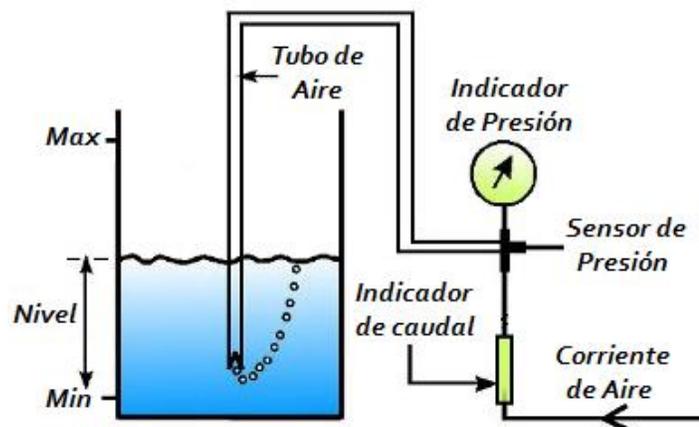
Los medidores manométricos y de presión diferencial son muy utilizados por una variedad de líquidos, a diferentes temperaturas de operación y viscosidades. El oxígeno en los depósitos de almacenamiento para uso hospitalario se encuentra a baja temperatura, a esta temperatura el oxígeno se encuentra en estado líquido y se puede conocer el nivel de oxígeno midiendo la presión diferencial dentro del depósito presurizado. Las industrias alimentarias, que manejan líquidos con viscosidad variable, pueden hacer uso de medidores manométricos para conocer el nivel dentro del depósito.

- Ventajas:
 - Montaje sencillo
 - Fácil de ajustar y con precisión razonable
- Desventajas:
 - Es dependiente de la densidad relativa
 - Relativamente costoso para mediciones de presión diferencial

2.3.2.2. Método por burbujeo

Con el método por burbujeo, se mide de igual manera la presión hidrostática de un depósito, en este se inserta un tubo delgado hasta el fondo del líquido y se aplica aire comprimido empujando la columna de agua hasta que salen burbujas de aire en el líquido. La presión de aire necesaria para lograr sacar burbujas es igual a la columna de líquido, por lo que esta presión se puede medir con un sensor de presión. En la figura 14 se puede apreciar una instalación básica de este método de medición por burbujeo.

Figura 14. Medición por burbujeo



Fuente: www.apcs.net.au. Consulta: septiembre de 2011.

El método de burbujeo es utilizado únicamente en líquidos dentro de depósitos no presurizados para que el gas utilizado se libere. Debe evitarse la instalación en depósitos con producto que pueda obstaculizar la salida de aire por el tubo.

- Ventajas:
 - Montaje sencillo
 - Adecuado para sustancias corrosivas

- Desventajas:
 - Requiere instalación de compresor de aire
 - Peligro de acumulación del medio en el tubo
 - No es adecuado para recipientes presurizados

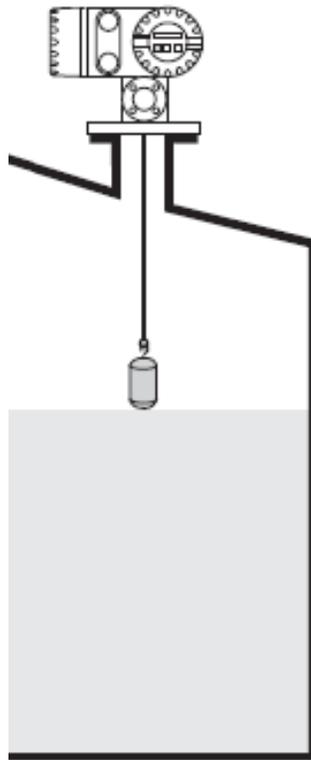
2.3.2.3. Método por desplazamiento

El método por desplazamiento consiste principalmente en la diferencia del peso de un cuerpo y la fuerza de flotación hacia arriba de un líquido, según la Ley de Arquímedes. La fuerza de flotación hacia arriba depende del volumen del cuerpo de desplazamiento, la densidad relativa y el nivel del medio. Debe cumplirse la condición de que para que el cuerpo se desplace, debe ser más pesado que el medio (densidad específica mayor que el medio). La fuerza diferencial se transmite frecuentemente a un transductor de medición por un sistema de barra de torsión de manera que el equipo se mantenga sellado.

El transductor empleado en el método por desplazamiento es un transductor de desplazamiento eléctrico o transductor de fuerza.

Un ejemplo de este tipo de instrumento son los servodispositivos de nivel. Este instrumento mide el peso aparente del desplazador que se encuentra flotando sobre el líquido. Si el peso aparentemente del desplazador es muy alto, el desplazador está muy arriba en el producto, y cuando el nivel baja, la fuerza ascendente que ejerce el producto sobre el desplazador es menos intensa. Si el desplazador pesa poco, se hunde mucho en el producto, y cuando el nivel sube, el producto ejerce sobre el desplazador una fuerza ascendente más intensa. El servomotor se basa en las diferencia de nivel y en la fuerza de flotación y se controla de modo que siempre haya una situación de equilibrio.

Figura 15. **Servodispositivo de nivel utilizado para el método por desplazamiento**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

En la figura 15 se muestra un servodispositivo de nivel. Se puede apreciar que el hilo se enrolla en un tambor y va acoplado a un codificador mediante el cual se puede medir la posición del tambor, y por lo tanto indica el nivel del producto.

El método por desplazamiento es utilizado específicamente en líquidos, pueden ser viscosos, pegajosos y corrosivos, siempre y cuando el desplazador flote sobre el líquido y el cable se mueva libremente dentro del tanque. Es necesario utilizar un desplazador diferente para cada tipo de producto. Debido a que el sistema es mecánico, puede utilizarse con una variedad de productos en ciertas industrias alimentarias.

- Ventajas:
 - Precisión
 - Adecuado para tanques subterráneos

- Desventajas:
 - Depende de la densidad relativa del medio
 - Requiere una cantidad importante de equipo mecánico

2.3.2.4. Medición por plomada

Estos sistemas de medición sondean desde la parte superior de los depósitos la superficie del producto y se compara con la altura del depósito, la diferencia es el nivel del producto. Este tipo de indicadores se utilizan mayormente en silos de gran altura, y son conocidos como *silopilots*.

Un *silopilot* consiste en un peso sensor que cuelga en el interior del silo de un cable o eje enrollado a un tambor impulsado por un motor. Cuando el motor se arranca, ya sea manualmente o automáticamente, un contador se pone a cero, que representa la altura total del silo en centímetro o decímetros. A medida que el motor hace descender el peso sensor, la rueda envía un impulso a través del eje de medición por cada centímetro o decímetro bajado y este se resta de la lectura del contador.

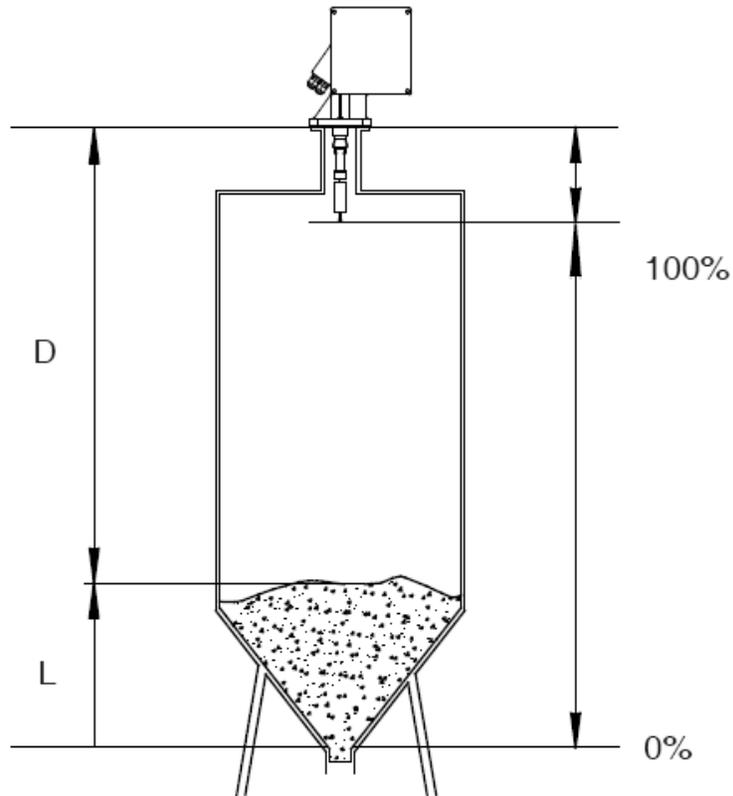
Cuando el peso toca la superficie del producto, el eje se tensa, lo cual es detectado y el motor pasa a girar en sentido contrario, los impulsos dejan de enviarse y el eje vuelve a enrollar el cable en el tambor. Luego, el peso se queda en la parte superior y el contador con la última altura medida. La figura 16 muestra el método por medición de plomada, se puede apreciar como el sensor de peso baja a lo alto desde la superficie más alta del depósito o silo.

La medición por plomada es utilizado para medir nivel en sólidos, y al momento de hacer contacto con el producto este se detiene. Dependiendo del tipo de plomada utilizada se pueden medir el nivel en productos como harina, carbón en polvo, piedras minerales y rocas.

- Ventajas:
 - Adecuado para silos muy altos, de más de 30 metros
 - Precisión razonable
 - Adecuado para diversos productos, como materiales de grano grueso (cal, piedra, grava, carbón mineral, etc.)

- Desventajas:
 - Entrega mediciones discretas
 - Requiere mantenimiento

Figura 16. **Ejemplo de *silopilots* como método de medición por plomada**



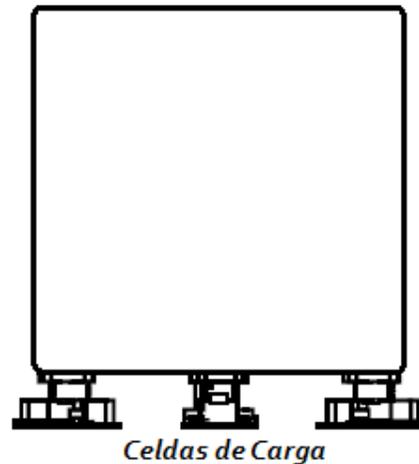
Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

2.3.2.5. Método por pesaje

Este método mide de forma indirecta el nivel dentro de los depósitos. Es adecuado para líquidos y sólidos, y consiste en montar el tanque o depósito en unos transductores de peso llamados celdas de carga.

En este caso no se mide nivel, sino el peso, basado en el peso del material se determina la altura. Por razones de seguridad se debe colocar un interruptor de nivel alto de manera independiente. En la figura 17 se puede apreciar un diagrama esquemático de este método.

Figura 17. **Método de medición por pesaje**



Fuente: www.mt.com. Consulta: septiembre de 2011.

- Ventajas:
 - Puede proporcionar una medición de nivel muy precisa para productos con densidad relativa constante

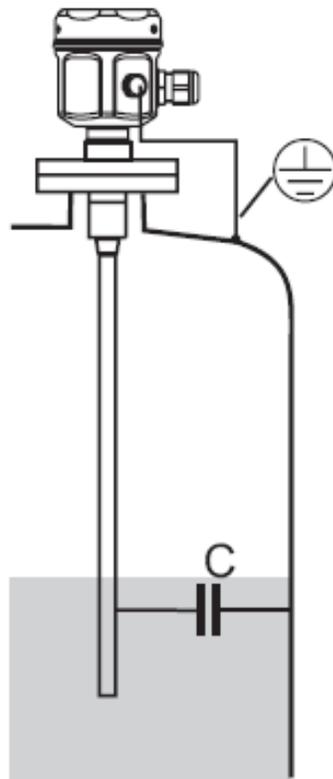
- Desventajas:
 - Requiere una gran cantidad de equipo mecánico
 - Es muy caro

2.3.2.6. Método por capacidad

Este método por capacidad consiste en una sonda metálica y la pared misma del tanque, y que actúan como dos placas de un condensador. La capacidad de este condensador depende del medio que haya entre la sonda y la pared. Si solo hay aire, es decir, que el tanque se encuentra vacío, la capacidad del conductor es baja. Cuando parte de la sonda está cubierta por el producto, la capacidad se incrementará.

El cambio de capacidad se convierte mediante un amplificador hacia una salida analógica que permite medir el nivel desde 0 hasta un 100 por ciento, todo por medio de la capacidad en el tanque. La figura 18 muestra la forma donde se debe colocar la sonda para medir de forma continua el nivel del depósito por medio de la capacidad respecto a la sonda y el tanque.

Figura 18. **Instalación de sonda o sensor para el método de medición por capacidad**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El método por capacidad es utilizado en líquidos y sólidos con ciertas características eléctricas y dieléctricas, por ejemplo productos que contienen agua como soluciones salinas, ácidos, bebidas y aguas residuales.

- Ventaja:
 - Aplicable para medición de sólidos y líquidos
 - No tiene partes móviles
 - Adecuado para medios altamente corrosivos

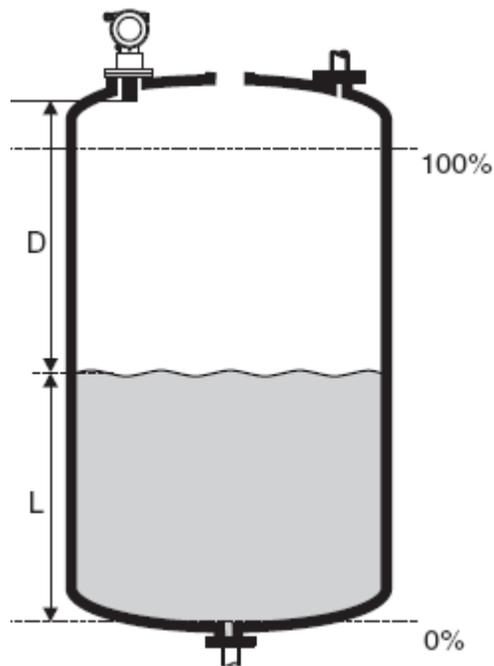
- Desventaja:
 - Su aplicación está limitada a productos con propiedades eléctricas variables

2.3.2.7. Medición de nivel por ultrasonidos (tiempo de retorno de señal)

El método de medición de nivel por ultrasonidos consiste en el método de reflexión del sonido, este se basa en el tiempo de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo. El tiempo de retorno de la señal es una medida de la altura de la sección vacía del tanque. Si a esta distancia se le resta la altura total del tanque, se obtiene el nivel del producto. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica.

La figura 19 muestra la instalación de un método de medición de nivel por ultrasonido. Se aprecia que el sensor está colocado en la parte superior, y que este recibirá la señal de ultrasonido reflejada por el material en el fondo del depósito. Este sensor es capaz de medir desde 0 hasta un 100 por ciento de forma continua.

Figura 19. **Método de medición de nivel por ultrasonido**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El método de medición por ultrasonidos es muy utilizado en líquidos, pastas y sólidos granulados, puede ser utilizado en depósitos con peligro de explosión. También puede ser utilizado en depósitos abiertos y no tiene contacto directo con el producto para evitar cualquier tipo de contaminación.

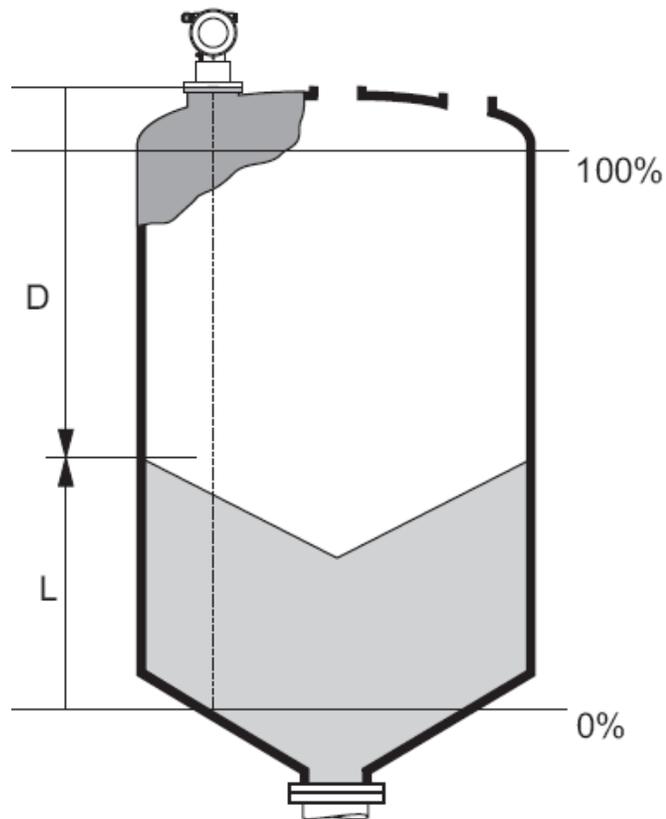
- **Ventajas:**
 - No hay contacto con el producto
 - Adecuado para diversos líquidos y materiales granulados

- **Desventajas:**
 - El producto no debe producir demasiada espuma en la superficie
 - El método no es adecuado a altas presiones ni altas temperaturas
 - No es aplicable en condiciones de vacío

2.3.2.8. Medición por microondas

La medición de nivel por microondas también se les conoce como micropilots y funcionan según el principio del eco, pero utilizando microondas que comprende desde 6 hasta 26 gigahertz. Este método utiliza una antena de trompeta o parabólica que dirige impulsos cortos de microondas hacia el producto, como se puede apreciar en la figura 20, estos se reflejan en su superficie y la misma antena los detecta a su regreso. La medición de nivel es proporcional al tiempo de retorno del impulso de microondas.

Figura 20. Medición de nivel por microondas en líquidos



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El método de medición de nivel por microondas tiene muchas ventajas a nivel de instalación y la amplia capacidad para medir una variedad de productos, a diferentes temperaturas y presiones, los vapores y el polvo en el ambiente no afecta la medición. No tiene contacto con el producto evitando la contaminación y es comúnmente utilizado en sólidos granulares como polvos y líquidos.

- Ventajas:
 - Su baja potencia de radiación permite una instalación segura en recipientes metálicos y no metálicos, sin riesgos a los seres humanos
 - Independiente de la temperatura, de condiciones de altas presiones o vacío y de la presencia de polvo o vapor
 - Se emplean en contenedores que contengan sólidos granulares o materiales brutos cuyo tamaño de los granos no sobrepasan los 20 milímetros
 - Fácil montaje

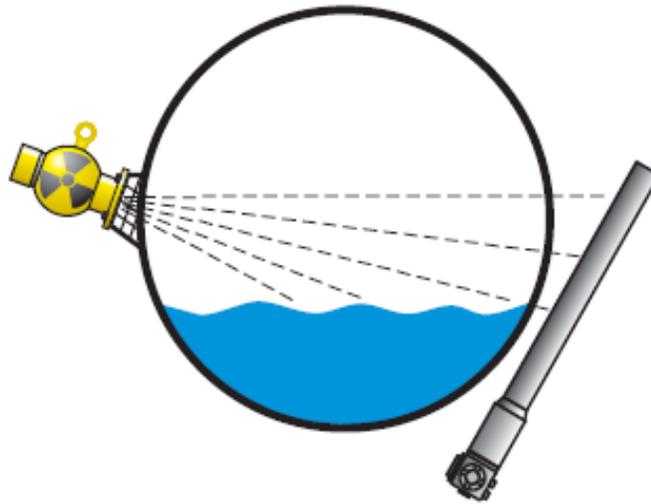
- Desventajas:
 - El producto debe tener una constante dieléctrica mínima determinada para asegurar que las microondas se reflejen

2.3.2.9. Medición radiométrica

Al igual que el método de detección radiométrica, este método utiliza una fuente radiactiva de rayos gamma que atraviesa el material y se atenúan, estos rayos gamma llegan a un receptor capaz de detectar el nivel de atenuación, y por ende determinar el nivel de material dentro del depósito.

En la figura 21 se aprecia como el detector es capaz de colectar los rayos gamma emitidos con un ángulo de salida entre los 20 y 40 grados, con este método es capaz de medir el nivel desde 0 hasta el 100 por ciento sin importar el producto contenido en el depósito.

Figura 21. **Medición radiométrica**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

Es importante mencionar que utilizar el método de medición radiométrica representa riesgo para la salud humana, por lo que es necesario respetar las normas de seguridad de protección radiológica, como aislar la fuente de radiación, evitar estar muy próximo a la fuente radiactiva y evitar la excesiva y constante exposición.

De igual manera que la detección radiométrica es un método totalmente no invasivo que puede ser utilizado tanto para sólidos como líquidos, especialmente para producto corrosivo, a altas presiones o altas temperaturas.

- Ventajas:
 - Adecuado para todos los productos y su montaje no causa ningún tipo de obstrucción
 - No requiere modificaciones en el depósito
 - No hay contacto con el producto
 - Adecuado para altas presiones y temperaturas

- Desventajas:
 - Se requieren medidas especiales de seguridad
 - Alto costo

3. SISTEMA GPRS

3.1. Concepto

Los sistemas de comunicación evolucionan a través de la historia según las necesidades del hombre, inicialmente la necesidad de comunicarse y posteriormente lograr una comunicación inalámbrica en el sistema GSM, hasta evolucionar al sistema GPRS.

3.1.1. Razón para comunicar equipos

La comunicación es un elemento muy importante dentro de una sociedad porque mantiene informado en todo momento los acontecimientos de interés, teniendo a disposición muchos medios para transmitirla como los periódicos, la radio, la televisión y el internet.

De la misma manera los equipos de una planta de producción, de una industria, necesitan estar comunicados para enviar información de importancia a una central de procesos sin importar el medio que utilice, la información debe llegar lo más rápida y confiable posible.

Se puede clasificar los medios de comunicación en dos grandes grupos, uno de ellos es la comunicación alámbrica, la cual utiliza cables conductores de electricidad para transmitir la información. Este método es muy utilizado puesto que es uno de los más sencillos de implementar. Y las redes inalámbricas que tienen mayor movilidad debido a que no necesita estar físicamente conectados porque utilizan el aire para transmitir y recibir información.

3.1.2. Necesidades de la comunicación inalámbrica

Las principales necesidades de la comunicación inalámbrica surgen de las limitaciones de la comunicación alámbrica, dentro de estas limitaciones se pueden mencionar:

- La movilidad de una comunicación alámbrica es nula cuando los equipos se encuentran instalados, es difícil y costoso cambiarlos de ubicación.
- El acceso geográfico de los equipos de una instalación puede ser complicada debido a los obstáculos que se puedan presentar.
- Dificultad de expansión de equipos o usuarios porque estos se planificaron con un número limitado.

Las comunicaciones inalámbricas complementan estas limitaciones, pero al igual que todo sistema de comunicación tiene desventajas que se deben considerar:

- Ancho de banda menor comparado con las comunicaciones alámbricas, lo que no permite realizar transferencias de grandes cantidades de datos en cortos períodos de tiempo.
- Existe el riesgo de la interferencia debido a que otras tecnologías de comunicación inalámbricas utilicen el mismo rango de frecuencias.
- El costo de inversión inicial puede ser muy elevado, aunque la inversión es a largo plazo si se considera ampliar la tecnología de comunicación para muchos dispositivos o usuarios.

Por lo tanto la comunicación inalámbrica ocupa el área donde la comunicación alámbrica se encuentra restringida. Uno de los sistemas más conocidos para la comunicación inalámbrica utilizada hoy en día son los sistemas de comunicación celular GSM, *Global System for Mobile communication* o Sistema Global para comunicaciones Móviles, que surge de la necesidad de mejorar la calidad de señal de voz en las entonces existentes redes analógicas. El principal objetivo de las redes GSM fue estandarizar las redes celulares para proveer un servicio compatible sin importar el lugar, país o proveedor de estos servicios.

Luego de la digitalización de la voz a través de la red GSM, que incrementó de manera radical la calidad de la señal de voz, se inició la transmisión de datos y el uso de los SMS, *Short Message System* o Sistema de Mensajes Cortos, las transferencias de datos tenían velocidades entre los 300 y 9600 baudios por segundo. Luego surge la necesidad de transmitir datos a velocidades mayores para aplicaciones tales como el internet, por lo que se desarrolla el sistema GPRS sobre la red GSM.

3.2. Descripción básica GSM

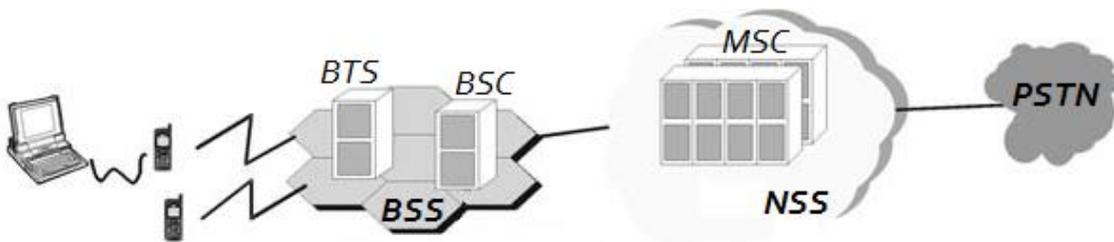
GSM es una red celular, lo que significa que los aparatos móviles se conectan buscando celdas en la vecindad. La cobertura se basa en las celdas, y la celda es el espacio o región que cubre un transmisor.

3.2.1. Arquitectura de la red GSM

La red GSM consiste en varias entidades funcionales de las cuales las principales se muestran en la figura 22.

Las entidades más importantes para nuestro estudio son el Subsistema de la Estación Base (BSS, *Base Station Subsystem*) y el Subsistema de Conmutación de la Red (NSS, *Network Switching Subsystem*).

Figura 22. **Componentes básicos de una red GSM**



Fuente: GSM, GPRS y EDGE *Performance*.

El subsistema de la estación base (BSS) es el responsable de manejar el tráfico entre un teléfono móvil y el subsistema de conmutación de la red (NSS). La Estación Base Transceptora (BTS, *Base Transciever Station*) es donde se encuentra todo el equipo necesario para transmitir y recibir las señales de radio, las antenas y el equipo necesario para la comunicación con el Controlador de la Estación Base (BSC, *Base Station Controller*). Un BSC es la inteligencia de todas las BTS conectadas a él, y maneja la asignación de los canales de radio y el control de traspasos (*handover*) entre un BTS y otro BTS. Un BSC concentra muchas conexiones de BTS y las conecta hacia el Centro de Conmutación Móvil (MSC, *Mobile Switching Centre*).

El Subsistema de Conmutación de Red (NSS, *Network Switching Subsystem*) es considerado el núcleo de la red GSM. Dentro de NSS se encuentra el MSC, es encargado de llamadas por conmutación, el control de la movilidad de los teléfonos móviles tal como es el de traspasos (*handover*) entre un BSC y otro BSC.

El NSS es el encargado de la conmutación y manejo de la comunicación entre teléfonos móviles y a la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*). El NSS es propiedad del operador móvil y este es el medio en el cuál un teléfono móvil se conecta con cualquier otro teléfono móvil o línea fija en el mundo.

Un término importante que es importante mencionar es la Red Pública Móvil Terrestre (PLMN, *Public Land Mobile Network*), debido a que es una red que opera para proporcionar servicios de telecomunicaciones móviles terrestres al público. Un PLMN se refiere al sistema completo, tanto hardware y software que permite la comunicación inalámbrica. Un PLMN no es un componente de la red GSM, más bien un claro ejemplo de un PLMN es la red GSM. De hecho un PLMN se puede conectar con otros PLMN y PSTN para realizar comunicaciones telefónicas o realizar conexiones de internet y datos con los Proveedores de Servicio de Internet (ISP, *Internet Service Provider*).

3.3. Sistema GPRS

Es la evolución del sistema GSM, donde se incorporan nuevos elementos en su arquitectura que permiten la transferencia de datos como el internet a velocidades mayores que las logradas con sistemas de conmutación de circuitos.

3.3.1. Descripción general del sistema GPRS

El sistema GPRS, *General Packet Radio Service* o Servicio General de Radio por Paquetes, fue diseñado especialmente para la conexión con el internet.

Luego que las primeras redes GSM llegaron a ser operacionales y el uso de los servicios de datos de GSM iniciaron, empezó a ser evidente que los servicios por conmutación de circuito no eran los más apropiados para ciertos tipos de aplicaciones en la que se envían grandes ráfagas de datos por un lapso pequeño de tiempo. La conexión por conmutación de circuitos tiene un largo tiempo de acceso a la red, y el recargo de la llamada se basa en el tiempo de conexión.

En redes por conmutación de paquetes, las conexiones no reservan recursos permanentemente, sino que hacen uso de un recurso en común, que es altamente eficiente, en particular, para los usos de grandes ráfagas de datos. El sistema de GPRS tiene un tiempo de acceso muy corto a la red y el recargo de la llamada se basa en la cantidad de datos transmitidos.

GPRS es clave para el servicio de datos para GSM, este ofrece a los usuarios finales nuevos servicios de datos y habilita a los operadores para ofrecer nuevas opciones de cobro. Debido a que se utiliza la infraestructura de radio existente de GSM la inversión para los operadores es relativamente baja. Las soluciones de GPRS empezaron a aparecer entre el año 1999 y 2000.

En el sistema de GPRS un usuario puede tener acceso a las redes de datos públicas utilizadas en internet que pueden ser activadas cuando enganchan la estación móvil a la red de GPRS. La estación móvil GPRS puede utilizar entre uno y ocho canales sobre la interface aérea dependiendo de las capacidades de la estación móvil, se asignan dinámicamente los canales a una estación móvil cuando hay paquetes para ser enviados o recibidos. En la red de GPRS, el enlace de subida y los canales del enlace de bajada se reservan por separado, haciendo posible tener estaciones móviles con varias capacidades de enlaces de subida y bajada.

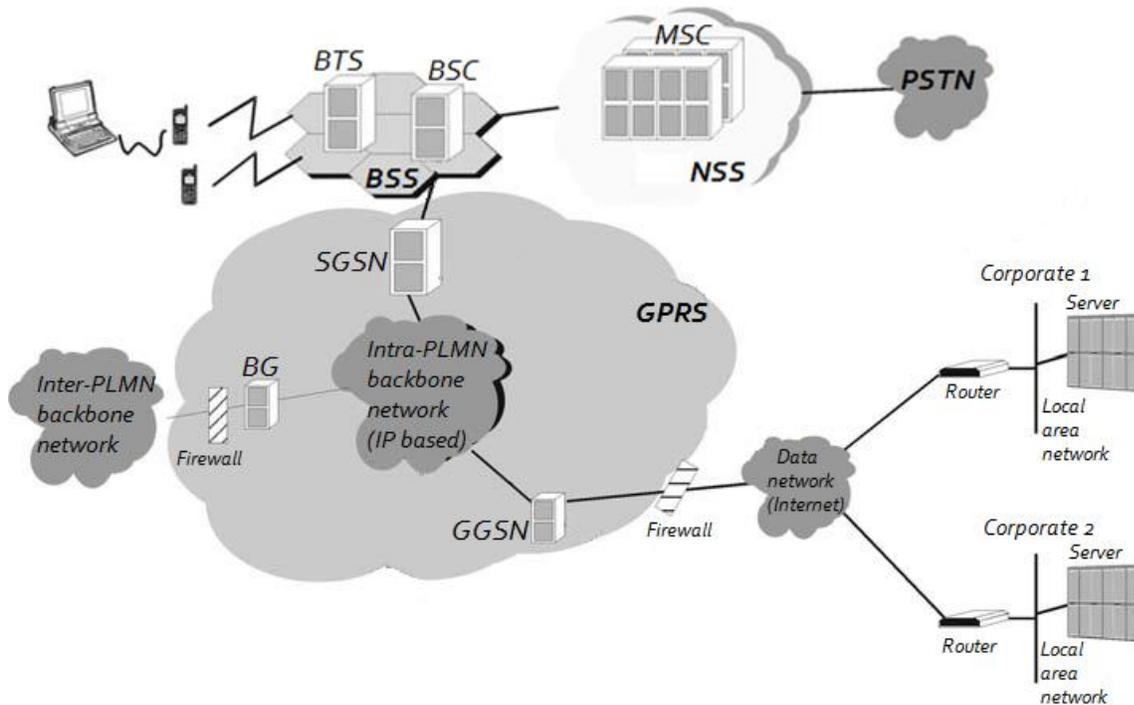
La asignación de recursos en la red de GPRS es dinámica y dependiente de la demanda y disponibilidad del recurso. Los paquetes también se pueden enviar en estado inactivo entre las llamadas de voz. Con el sistema de GPRS, es posible la comunicación punto a punto (PPP) o punto multi-punto (PMP), mensajes cortos y el acceso anónimo a la red. La máxima tasa de transferencia teórica en el sistema de GPRS es 160 kilobyte por segundo por estación móvil usando los ocho canales sin la corrección de error.

3.3.2. Arquitectura de la red GPRS

En la figura 23 se aprecia un diagrama funcional de las entidades de la red GPRS en conjunto con el diagrama de la red GSM. GPRS trae algunos nuevos elementos a la red GSM, los más importantes son el Nodo de Soporte del Servicio GPRS (SGSN, *Serving GPRS Support Node*) y el Nodo de Soporte del Portal GPRS (GGSN, *Gateway GPRS Support Node*). Otro nuevo elemento de la red es el Portal de Frontera (BG, *Border Gateway*), que es necesario principalmente por razones de seguridad y se sitúa en la conexión de la red medular de la inter-Red Pública Móvil Terrestre (PLMN, *Public Land Mobile Network*). Las inter-PLMN e intra-PLMN son también nuevos elementos, ambas redes basadas en el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*).

El SGSN es el punto de conexión entre la red GSM y la red GPRS, permitiendo que un dispositivo móvil tenga acceso a los servicios de datos que provee GPRS. El GGSN es el encargado de asignar direcciones dinámicas o estáticas a los usuarios móviles solamente durante el tiempo que estén conectados a la red GPRS, también es el encargado realizar interconexiones entre el SGSN y las redes externas.

Figura 23. **Arquitectura básica de la red GPRS**



Fuente: GSM, GPRS y EDGE Performance.

El SGSN es el punto de conexión entre la red GSM y la red GPRS, permitiendo que un dispositivo móvil tenga acceso a los servicios de datos que provee GPRS. El GGSN es el encargado de asignar direcciones dinámicas o estáticas a los usuarios móviles solamente durante el tiempo que estén conectados a la red GPRS, también es el encargado realizar interconexiones entre el SGSN y las redes externas.

Mientras que el sistema actual GSM fue diseñado originalmente con un énfasis en sesiones de voz, el objetivo principal de GPRS es ofrecer un acceso a las redes de datos estándares tales como el TCP/IP (*Transport Control Protocol / Internet Protocol*). El GGSN en la red GPRS se comporta como un router y oculta las características específicas de GPRS de la red de datos externa.

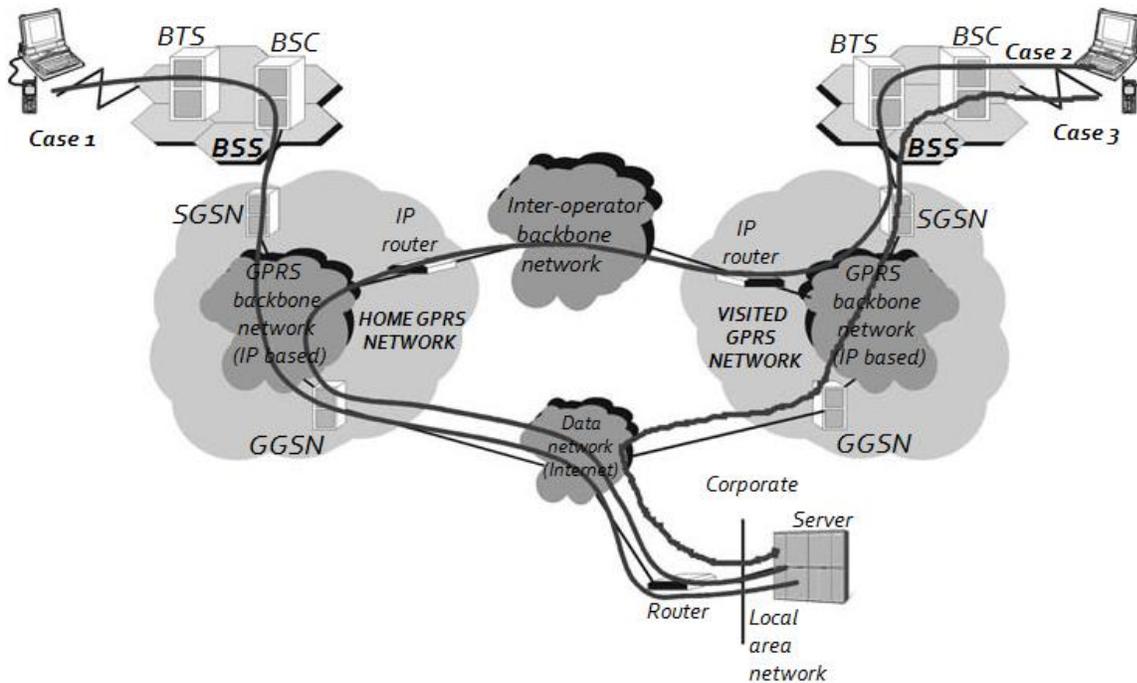
La figura 24 muestra la transferencia de datos de un dispositivo móvil durante una conexión a través de GPRS, utilizando las asignaciones de direcciones dinámicas o estáticas proporcionadas por el GGSN.

En el caso 1 (*case 1*) muestra cuando un dispositivo móvil se encuentra con su operador de servicio de GPRS local, y todos los datos de internet son direccionados por su propio GGSN al momento de ser asignada una dirección dinámica.

En el caso 2 (*case 2*) muestra cuando se encuentra de visita con otro operador de GPRS, por ejemplo utilizando el servicio de itinerancia (*roaming*), pero su operador de servicio de GPRS local tiene asignada una dirección estática por su propio GGSN, por lo tanto todos los datos de la red de GPRS visitada son transferidos a la red GPRS local para que el GGSN transfiera los datos a las redes externas de internet. Esta forma es utilizada por algunas operadoras de GPRS por motivos de seguridad.

En el caso 3 (*case 3*) el operador de GPRS visitada tiene direcciones dinámicas que pueden ser asignadas por su propio GGSN solamente el tiempo que se conecta el dispositivo móvil y realizar las transferencias de datos a la red de internet.

Figura 24. **Transferencia de datos a través de GPRS**



Fuente: GSM, GPRS y EDGE Performance.

3.3.2.1. Estación móvil GPRS

Una estación móvil (MS, *Mobile Station*) GPRS, como un celular, puede trabajar de los siguientes tres modos de operación:

- Modo de operación de la clase A: las terminales soportan GPRS y otros servicios GSM (tales como voz o mensajes cortos SMS) simultáneamente. El usuario puede hacer y/o recibir llamadas a los dos servicios simultáneamente. Por ejemplo un dispositivo móvil tiene una llamada de voz normal GSM y se reciben paquetes de datos GPRS, como internet, en el mismo tiempo.

- Modo de operación de la clase B: la estación móvil se engancha tanto al servicio GPRS como al servicio GSM simultáneamente, pero la estación móvil puede funcionar solamente en uno de los servicios a la vez. Un ejemplo puede ser un dispositivo móvil que recibe paquetes de datos de internet de la red GPRS, recibe una llamada de voz de la red GSM, si en ese momento atiende la llamada la transferencia de datos de la red GPRS es finalizada o suspendida.
- Modo de operación de la clase C: la estación móvil puede estar enganchada solamente a la red GSM o a la red de GPRS. La selección se hace manualmente y no hay operaciones simultáneas. Un ejemplo es cuando un dispositivo móvil necesita enviar un SMS o realizar llamadas de voz por medio de la red GSM, este no tiene permitido acceder a los servicios de datos a través de la red GPRS, de la misma manera, si se encuentra realizando transferencias de datos en la red GPRS, no tiene permitido realizar o recibir ninguna llamada de voz.

3.3.2.2. BSS en GPRS

En la figura 22, el BSS (*Base Station Subsystem* o Subsistema de Estación Base) tiene funciones únicamente relacionadas a la red GSM, pero en la figura 23 el BSS tiene nuevas funciones cuando se debe conectar a la red GPRS por medio del SGSN. Permitiendo el intercambio de señalización de información y datos del usuario directamente relacionados a la red GPRS. El BSS asigna recursos a un usuario cuando hay actividad (cuando se envían o se reciben datos).

3.3.2.3. Nodo de soporte del servicio GPRS (SGSN, *Serving GPRS Support Node*)

El SGSN es un componente principal de la red GPRS y tiene con función desempeñar las siguientes tareas:

- Manejo de gestión y autenticación de movilidad.
- Enrutador de paquetes de datos utilizando el protocolo de internet (IP).
- Encriptación.
- Compresión.

La gestión de movilidad desempeña las siguientes tareas como parte del esquema global:

- Gestión de la sesión.
- Control del estado del móvil.
- Enrutamiento de paquetes en la descarga, incluyendo rastreo de la localización del móvil.

El SGSN desempeña procedimientos de autenticación y ajustes de encriptación basados en los mismos algoritmos y criterios de GSM, sin embargo, el algoritmo de cifrado es optimizado para la transmisión de los paquetes de datos.

El SGSN está conectado con el BSC y es el punto de acceso de servicio a la red de GPRS para la estación móvil GPRS. El SGSN también maneja la conversión de protocolos del IP usado en la red principal.

3.3.2.4. Nodo del soporte del portal GPRS (GGSN, Gateway GPRS Support Node)

El GGSN sirve como punto de interconexión entre el SGSN y las redes de paquetes externas, requiriendo ciertas características para proveer una comunicación segura entre los usuarios de GPRS. El GGSN provee capacidades de túnel para interconectar dentro de la misma red GPRS. El GGSN es bastante parecido a un ruteador IP, ya que oculta la infraestructura de la red GPRS a las redes externas. Dentro de la red central GPRS, los paquetes de IP son encapsulados.

El túnel es la transferencia de unidades de datos encapsulados dentro de la PLMN, desde el punto de encapsulamiento hasta el punto de desencapsulamiento. Un túnel es una trayectoria bidireccional punto a punto; en donde solo los puntos extremos son definidos.

3.3.2.5. Otros elementos de la red GPRS

Existen otros elementos importantes dentro de la arquitectura GPRS, algunos de ellos no se muestran en la figura 23, que forman parte esencial para su correcto funcionamiento. Cabe mencionar los siguientes elementos:

- La intra-PLMN: es una red privada para los usuarios de GPRS (figura 23). Ésta interconecta varios SGSN's y GGSN's dentro de la misma PLMN de GPRS.
- La Inter-PLMN: tiene la capacidad de conectar múltiples intra-PLMN (figura 23).

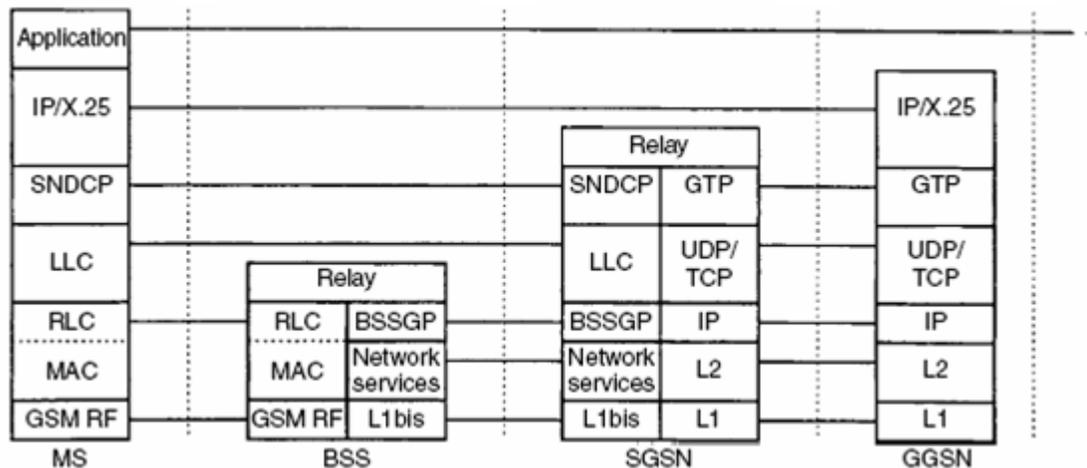
- Portales de frontera (BG, *Border Gateway*): proveen la interfaz entre la inter-PLMN y la intra-PLMN. El portal de frontera aumenta la seguridad en la red. El concepto del portal de frontera está más allá del alcance de GPRS, sin embargo, este puede ser utilizado para sostener acuerdos de itinerancia (*roaming*) entre diferentes redes (figura 23).
- El Servidor de Nombre de Dominio (DNS, *Domain Name Server*): es una base de datos distribuida y jerárquica que almacena información asociada a nombres de dominio en redes como internet. Aunque como base de datos el DNS es capaz de asociar distintos tipos de información a cada nombre, los usos más comunes son la asignación de nombres de dominio a direcciones IP y la localización de los servidores de correo electrónico de cada dominio.
- El servidor de protocolo dinámico de configuración de los clientes (DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol*): permite a los clientes móviles obtener sus parámetros de configuración automáticamente. El servidor posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme estas van estando libres, sabiendo en todo momento quién ha estado en posesión de esa IP, cuánto tiempo la ha tenido y a quién se la ha asignado después.

3.3.3. La arquitectura del protocolo GPRS

El sistema de GPRS introduce todo un nuevo sistema de protocolos para la red GSM. El trabajo interno entre los nuevos elementos de red se hace con nuevos protocolos específicos de GPRS. Sin embargo, hay un número de protocolos existentes usados en las capas más bajas de la pila de protocolos, a saber, TCP/UDP IP.

En la figura 25 se muestra el plano de transmisión usado en el sistema de GPRS.

Figura 25. Plano de transmisión



Fuente: GSM, GPRS y EDGE *Performance*.

3.3.3.1. La capa física

La capa física se ha separado en dos subcapas distintas: la capa física RF (Radio Frecuencia) y la capa física de enlace. La figura 25 muestra la capa física en el bloque GSM RF, tanto en la sección del MS (*Mobile Station*, estación móvil) y el BBS (*Subsystem Base Station*) dentro de la red GPRS.

La capa física RF realiza la modulación de las ondas basado en la secuencia de los bits recibidos de la capa física de enlace. La capa física RF también demodula las ondas recibidas en una secuencia de bits que se transfieren a la capa física de enlace para su interpretación. La capa física RF de GSM define entre otras cosas lo siguiente:

- Las características de la frecuencia portadora y las estructuras del canal de radio GSM.
- La modulación de las ondas transmitidas y las tasas de informaciones en bruto de los canales de GSM.
- Las características del transmisor y del receptor y los requisitos de funcionamiento.
- La capa física de enlace proporciona los servicios para la transmisión de información sobre un canal físico entre el móvil y la red. La capa física de enlace soporta múltiples móviles compartiendo un solo canal físico y proporciona la comunicación entre el móvil y la red.

Además, proporciona los servicios necesarios para mantener la capacidad de comunicación sobre el canal de radio físico entre la red y el móvil.

La capa física de enlace es responsable de lo siguiente:

- Codificación FEC (*Forward Error Correction*, Corrección de Error Adelantada), ésta codificación permite la detección y corrección de errores.
- Detección de las palabras de código transmitidas y de la indicación de las palabras de código que no se pueden corregir.
- Procedimientos para detectar la congestión física del enlace.

Las funciones de control de la capa física de enlace incluyen:

- Los procedimientos de sincronización, incluyendo los medios para determinar y ajustar el avance de la sincronización del móvil para corregir las variaciones en los retrasos de propagación.
- Los procedimientos de supervisión y evaluación de calidad de señal para el radio enlace.
- Procedimientos de la selección y de reelección de celda.
- Procedimientos del control de potencia del transmisor.
- Procedimientos para el ahorro de energía de la batería.

3.3.3.2. RLC (Radio Link Control Layer) / MAC (Medium Access Control)

La capa RLC/MAC (Capa de Control de Radio Enlace/Control de Acceso al Medio) proporciona los servicios para la transmisión de información sobre la capa física de la interfaz de radio de GPRS. En la figura 25 se puede apreciar que se encuentran entre el MS y el BSS de la red GPRS.

La función de RLC define los procedimientos para una retransmisión selectiva de bloques de datos RLC entregados sin éxito, con la finalidad de proporcionar un radio enlace confiable a las capas superiores.

La función del MAC define los procedimientos que habilitan a múltiples móviles compartir un medio común de transmisión, el cual puede consistir en varios canales físicos.

3.3.3.3. El LLC (Logical Link Control)

La capa LLC (Control de Enlace Lógico) ofrece un acoplamiento lógico seguro y confiable entre el móvil y el SGSN a las capas superiores, y es independiente de las capas inferiores. En la figura 25 se aprecia que el LLC se encuentra directamente relacionado entre el MS y el SGSN. El LLC transporta señalización y paquetes de SMDCP.

3.3.3.4. SMDCP (Sub-Network-Dependent Convergence Protocol)

El protocolo SMDCP (Protocolo de Convergencia de la Subred Dependiente) es una función del mapeo y compresión. También realiza la segmentación, reensamblaje y la multiplexación. Esta capa se encuentra directamente asociada con el SGSN como se muestra en la figura 25.

La señalización tiene varios juegos de protocolos, que son utilizados con los elementos existentes de la red GSM. La señalización interna en el sistema GPRS es manejado por los protocolos, que llevan datos y señalización como el LLC, y otros como el GTP y BSSGP que se mira más adelante.

3.3.3.5. BSSGP (Base Station Sub-System GPRS Protocol)

Las funciones primarias del BSSGP (Protocolo de Estación Base del Subsistema GPRS) incluyen, en el enlace de descarga de datos (*downlink*), la disposición por parte de un SGSN a un BSS de la información de radio usada por la función RLC/MAC; en el enlace de la carga de datos (*uplink*), la disposición por parte del BSS a un SGSN de la información de radio derivada de la función RLC/MAC; así como la disposición de la funcionalidad para permitir a dos nodos físicamente distintos, un SGSN y un BSS, operar funciones de manejo y control del nodo. En la figura 25 se puede apreciar que esta capa se encuentra directamente entre el BSS y SGSN.

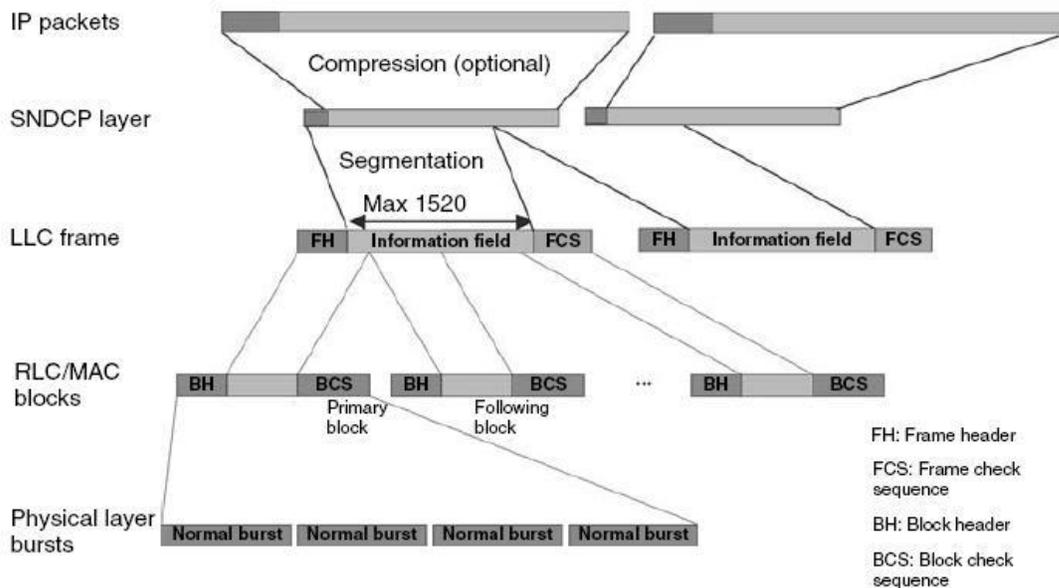
3.3.3.6. GTP (GPRS Tunnelling Protocol)

En el GTP (Protocolo de Túnel GPRS) es el protocolo IP (*Internet Protocol*, Protocolo de Internet) que define la red central GPRS. Ante todo es el protocolo que permite al usuario final de una red GSM moverse de un lugar a otro sin perder conexión a internet. Esto se hace posible llevando los datos del usuario del SGSN al GGSN, el cual maneja la sesión.

En la figura 26, se puede apreciar el principio básico del flujo de datos conforme pasan por las diferentes capas, sobre cada capa se segmentan en unidades básicas por protocolo y se denominan PDU (*Protocol Data Unit*, Unidad de Dato del Protocolo). Los paquetes IP son denominados N-PDU (*Network - PDU*, PDU de red) y se comprimen y segmentan por la capa SNDCP en los denominados SN-PDU (*Subnetwork - PDU*, PDU de la subred). Cada SN-PDU es encapsulado en una o varias tramas LLC (LLC *frames*). Cada trama LLC está segmentado en bloques RLC (RLC *blocks*).

La capa RLC/MAC es la encargada de mantener la comunicación con la estación móvil MS, y asegurar de que todos los bloques RLC sean correctos, en caso de errores solicita la retransmisión. Al momento que una trama LLC es completamente transferida sobre la capa RLC, esta es transferida a la capa LLC.

Figura 26. **Flujo de datos en la transmisión y recepción**



Fuente: GSM, GPRS y EDGE *Performance*.

3.3.4. PDP (Packet Data Protocol)

El Protocolo de Datos del Paquete (PDP) es una estructura de datos presente en el SGSN y el GGSN el cual contiene la información de la sesión del suscriptor cuando el suscriptor tiene una sesión activa. Cuando un móvil desea utilizar GPRS, primero debe engancharse y luego activar un contexto de PDP.

Esto asigna una estructura de datos del contexto de PDP en el SGSN que el suscriptor está visitando actualmente y el GGSN que sirve el punto de acceso a los suscriptores.

Los datos registrados incluyen:

- Dirección IP del suscriptor
- IMSI del Suscriptor
- Identificación del punto final del túnel en el GGSN del suscriptor
- Identificación del punto final del túnel en el SGSN del suscriptor

3.3.5. Codificación de canales

Existen cuatro esquemas de codificación para el enlace de la estación móvil (MS) y el Sistema de Estación Base (BSS), dependiendo de las condiciones radio ambientales uno de los cuatro esquemas puede ser seleccionado. Los cuatro esquemas son llamados CS1, CS2, CS3 y CS4. El CS1 y CS2 ofrecen una buena detección y corrección de errores con una baja tasa de transferencia y son utilizados cuando la estación móvil se encuentra lejos de alguna celda. El CS3 y CS4 proporcionan tasas de transferencia mayores pero tienen poco o nada de capacidades para la corrección de errores.

3.3.6. Seguridad

El sistema de GPRS utiliza seguridad basada en el sistema GSM. Estas funciones de seguridad incluyen la autenticación del suscriptor, la confidencialidad de la identidad del usuario y el cifrado del tráfico de datos entre el móvil y el SGSN.

La identidad temporal del enlace lógico entre el móvil y el SGSN, se utiliza para mantener la identidad del suscriptor de manera confidencial. La función de cifrado usada entre el móvil y el SGSN no es el igual a la usada en GSM, sino una optimizada para el tráfico por conmutación de paquetes.

3.4. Internet sobre el sistema GPRS

En la red fija central de internet, los protocolos de las capas inferiores como Ethernet o PPP (*Point-to-Point Protocol*, Protocolo Punto a Punto) son utilizados típicamente sobre plataformas de SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*, Jerarquía Síncrona Digital) o SONET (*Synchronous Digital Network*, Red Digital Sincrónica). Estos protocolos son referidos como capa física y capa de enlace, transportando IP (*Internet Protocol*) como protocolo de capa de red, mientras que TCP (*Transmission Control Protocol*) y UDP (*User Datagram Protocol*) son los protocolos de capa de transporte más utilizados. Los diversos protocolos de aplicación de las capas superiores funcionan sobre TCP/IP o UDP/IP.

En la red GPRS, el protocolo de IP es transportado como protocolo de la capa de red a través de la capa física y la capa de enlace sobre las capas del protocolo de GPRS (RLC/MAC, LLC y SNDCP) como en la figura 26. Durante la activación del contexto PDP, se asigna una dirección IP a la estación móvil, conocido también como dirección PDP, con la cual funciona el protocolo de internet.

3.4.1. Protocolo TCP

El protocolo TCP define una comunicación orientada a la conexión, especialmente del tipo cliente-servidor. En la cual el servidor inicia la conexión y solamente se establece la transmisión de datos hasta que un cliente se encuentre conectado. Se puede mencionar un ejemplo simple de una comunicación orientada a la comunicación como una llamada telefónica, en la cual no hay transmisión de voz (información) hasta que ha sido establecida la llamada y alguien atiende del otro lado.

El protocolo TCP asegura la transmisión de datos controlando el flujo de datos y la congestión de los mismos. Si algún dato llega con errores o nunca llega, el protocolo utiliza métodos para solicitar la retransmisión de los paquetes pendientes. Un encabezado TCP se muestra en la figura 27. Luego del encabezado se encuentran los datos a transmitir (Datos de usuario).

Figura 27. Encabezado TCP

Puerta fuente		
Puerta de destino		
Número de secuencia		
Número de confirmación (<i>Acknowledgement number - Ack</i>)		
Longitud	Reservado	Bits de código
Ventana		
<i>Checksum</i>		
Puntero de urgente		
Opciones		Relleno
Datos de usuario		

Fuente: ALCÓCER GARCÍA, Carlos. Redes de computadora. P. 302.

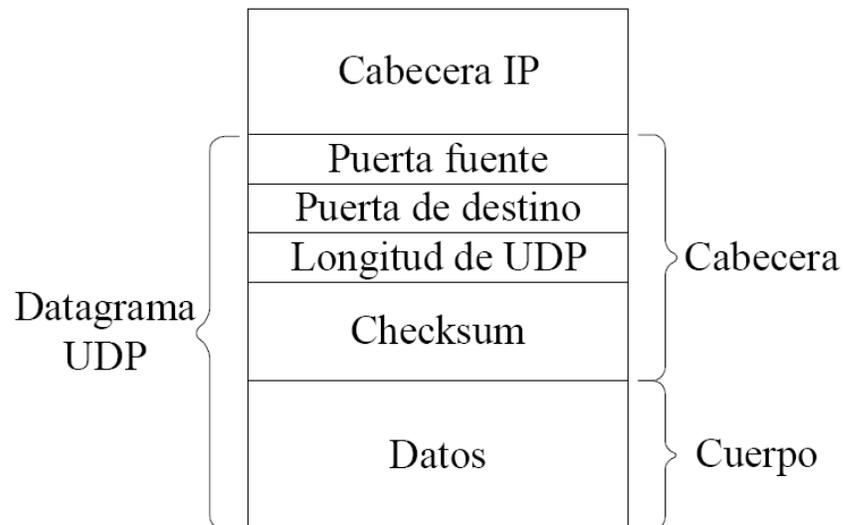
Todos los parámetros que se encuentran dentro del encabezado TCP ayudan a que la comunicación sea eficiente, que los datos lleguen a su destino, y permite así dar confiabilidad a la conexión. Entre los más importantes se encuentran la puerta fuente, puerta de destino, número de secuencia, número de confirmación, longitud y el control de errores (*checksum*).

3.4.2. Protocolo UDP

El protocolo UDP define una comunicación no orientada a la conexión. Al igual que el TCP, también es necesario un servidor y un cliente, pero la transmisión de datos se puede realizar en la ausencia de cualquiera. Se puede mencionar un ejemplo simple de una comunicación no orientada a la comunicación como un vocero de periódicos, este se encuentra hablando a gritos sobre los titulares de las noticias, pero puede darse el caso de que nadie le ponga atención (nadie recibe la información), o también puede darse el caso que pase un camión haciendo mucho ruido y los que prestaban atención no escucharon lo que él decía (se pierden segmentos de la información).

El protocolo UDP no asegura la transmisión de datos y mucho menos la retransmisión de los mismos debido a errores. Un encabezado UDP se muestra en la figura 28. Este contiene toda la información necesaria para la transmisión de datos, como los puertos de origen y los puertos de destino, y solamente informa de la cantidad de datos a transmitir y un control de errores (*checksum*) para verificar todo el encabezado si así lo desea la aplicación. Luego del encabezado se encuentran los datos a transmitir. La figura 28 muestra en donde se encuentra la cabecera del protocolo IP.

Figura 28. **Encabezado UDP**



Fuente: ALCÓCER GARCÍA, Carlos. Redes de computadora. P. 297.

Se puede apreciar que el protocolo UDP tiene un encabezado mucho más sencillo que el TCP. Por lo general el protocolo UDP es utilizado para la transmisión de datos continua, en la cual la pérdida de paquetes no es crítica. Estas aplicaciones pueden ser de audio o video como lo son transmisión de música, noticias y videos musicales en tiempo real sobre el internet.

3.4.3. **Protocolo IP**

El Protocolo de Internet (IP) es el único protocolo asociado al internet. Se complementa directamente con el protocolo TCP y es llamado TCP/IP debido a que incluye protocolos de transporte y de aplicación. Es utilizado de base para muchas redes y aplicaciones como HTTP, FTP, Telnet, entre otros.

El protocolo IP es el encargado de fragmentar y reensamblar los paquetes, enrutamiento de paquetes a través de las direcciones IP destino y fuente así como el reporte de errores al momento de ocurrir alguna pérdida de datos.

El encabezado del protocolo IP tiene elementos importantes como la versión del protocolo, la longitud total de los datos, un identificador, la sección del fragmento (*offset*) si este se encuentra fragmentado, el tiempo de vida (TTL, *Time To Live*), el control de errores (*checksum*) del encabezado y las direcciones de fuente y destino. Al final del encabezado se incluyen los datos del usuario, en esta sección de datos es donde se encuentra el protocolo TCP o UDP, para formar así el TCP/IP y UDP/IP respectivamente.

Figura 29. **Encabezado del protocolo de internet (IP)**

Versión	IHL	Tipo de servicio	Longitud total			
Identificación			0	D F	M F	Sección (<i>Offset</i>) del fragmento
Tiempo de vida <i>Time to Live-TTL</i>	Protocolo		Control de errores de cabecera (<i>Checksum</i>)			
Dirección de fuente						
Dirección de destino						
Opciones					Bits de relleno (<i>Padding</i>)	
Datos (menor o igual a 65536 octetos)						

Fuente: ALCÓCER GARCÍA, Carlos. Redes de computadora. P. 258.

4. SISTEMA DE TELEMETRÍA DE NIVEL

Desarrollar un sistema de telemetría de nivel no es más que una selección de partes esenciales de forma adecuada que dependen de muchos factores relacionados al proceso. Los criterios utilizados para elegir todas estas partes o componentes sería una decisión muy fácil si se tiene la experiencia de implementar este tipo de sistemas.

El simple hecho de conocer sobre sistemas de medición de nivel crea un criterio amplio en la toma de decisión de los sensores a utilizar, pero el sistema de telemetría no establece cuál es el tipo de medición o detección de nivel ideal, también depende de los requerimientos generales del sistema deseado. En general, un sistema de telemetría de nivel tiene componentes similares entre una aplicación y otra, además tiene partes que no modifican significativamente el costo de la implementación, entre estos se tienen partes de la estación remota y la estación de control.

Los componentes que cambian de una aplicación a otra y que afectan grandemente el costo de la implementación son el método de medición o detección de nivel en el depósito y el canal de comunicación.

El factor económico tiene un papel muy importante dentro de la implementación de un sistema de telemetría de nivel, si el presupuesto para la implementación es escaso se debe optimizar al máximo los recursos para ajustarlo a los requerimientos del sistema. Caso contrario si el presupuesto no es el problema, el sistema se puede implementar con componentes de alta calidad, que a su vez se refleja en un sistema confiable.

4.1. Criterios del sistema de telemetría

Los criterios del sistema de telemetría están directamente relacionados al producto que se almacena en los depósitos, entre estos criterios se encuentran los requerimientos, datos y variables del producto, los datos del proceso industrial que desempeña y por último el modo de operación, que se encuentra directamente relacionado con el sistema de comunicación.

4.1.1. Requerimientos del producto

Los requerimientos del producto indican que se necesita saber del producto que se encuentra almacenado en los depósitos, es decir la necesidad de detección de nivel o medición de nivel. Por lo general estos requerimientos están definidos por el mismo proceso industrial en el cual se encuentra involucrado el producto, y del cual el sistema de telemetría de nivel debe tomar como estructura de funcionamiento.

4.1.2. Datos del producto

Los datos del producto da información específica del material que se encuentra almacenado dentro de los depósitos, como la viscosidad, corrosividad, peso específico en caso de ser líquidos; en el caso de los sólidos si se medirán polvos, granos y cuál es su tamaño. También se considera la adherencia que presente para seleccionar adecuadamente un detector o un medidor de nivel.

4.1.3. Variables del producto

Las variables del producto las definen las personas encargadas del proceso industrial, ellos determinan las constantes y las variables relacionadas al producto almacenado. Las variables más comunes en los procesos industriales son: constante dieléctrica, densidad, conductividad, composición y contenido de humedad. Definidas estas variables permiten definir de forma general el tipo de medidor o detector de nivel a utilizar para aprovechar algunas características del producto.

4.1.4. Datos del proceso

Los datos del proceso indican específicamente información del depósito donde se encuentra almacenado el producto, las condiciones como presión, temperatura; el método de instalación del medidor o detector de nivel, el método de llenado del depósito y la vibración en la que se encuentra sometido.

4.1.5. Modo de operación

El modo de operación del sistema define si el sistema será controlado de forma local, con intervención humana inmediata, o si esta será controlado de forma remota, o sea que la intervención humana será poca o nula. Si la operación es local, las condiciones ambientales y los métodos de comunicación a elegir será amplio. Si la operación es remota, se deben relacionar los parámetros como distancia, ubicación geográfica y condiciones ambientales para el correcto funcionamiento del sistema de telemetría. Estos parámetros ayudan a elegir de manera óptima el método de comunicación, como el alámbrico o inalámbrico.

En el caso de utilizar un método alámbrico se debe considerar las distancias para evaluar la cantidad de cable a utilizar, repetidoras, la necesidad de proteger el cableado y equipo contra la intemperie y otros factores ambientales. Si se utiliza un método de comunicación inalámbrica se debe considerar la disponibilidad o cobertura de algún servicio inalámbrico, como por ejemplo la red GPRS, o instalar un sistema nuevo de radiofrecuencia como antenas, repetidoras y estaciones donde se encuentra el equipo de comunicación, además compra o alquiler de radiofrecuencias.

Toda la información de la tabla I permite elegir apropiadamente el mejor método de medición o detección de nivel para el sistema de telemetría de nivel, porque se conoce el tipo de producto, sus características y el modo de operación del sistema deseado.

4.2. Elementos del sistema de telemetría de nivel

Todo sistema de telemetría debe tener elementos básicos como una estación remota, formada por componentes electrónicos para cumplir con las funciones básicas de lectura de los parámetros remotos, almacenarlos en memoria y tener la capacidad de realizar el proceso de comunicación para transferir la información. Para una correcta captura es necesario elegir el sensor de nivel según el método de nivel apropiado para el sistema.

El sistema de telemetría también debe tener una estación de control, que debe ser capaz de controlar todo el proceso de comunicación para recibir información y luego almacenarla para su posterior análisis. Por lo general esta parte requiere un equipo potente como una computadora, contrario a la estación remota, esta necesitará analizar toda la información y poderla transmitir a su usuario, tales como gráficas, análisis de fallas y muchos análisis más.

Una parte esencial dentro de los sistemas de telemetría es la elección del canal de transmisión, debido a que elegir de forma errónea dicho canal puede llevar a una mala comunicación debido al ruido o una comunicación nula por factores del ambiente donde se encuentre la estación remota.

Tabla I. **Selección de método de medición y selección para telemetría de nivel**

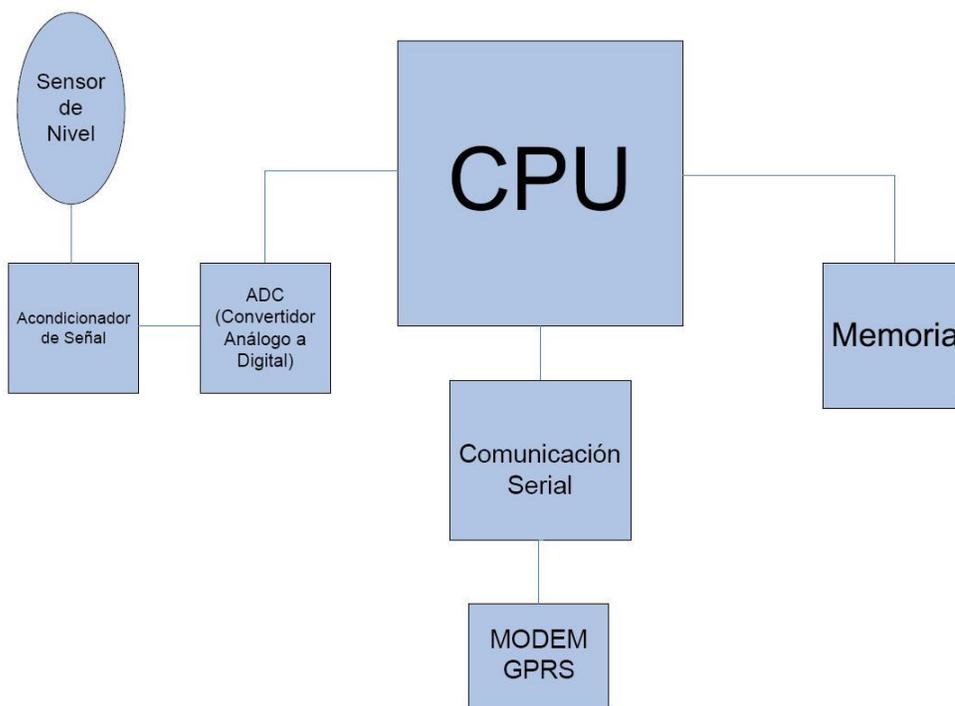
B = Bueno L = Limitaciones M = Malo Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Estación remota

Los componentes básicos de una estación remota se aprecian en el diagrama de bloques de la figura 30.

Figura 30. Diagrama de bloques de una estación remota



Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

4.2.1.1. Sensor de nivel y acondicionador de señal

Al momento de elegir el sensor de nivel se debe conocer ampliamente el tipo de material, sus características y las condiciones de trabajo del depósito, así como definir si el sistema de telemetría de nivel utilizará un sistema de medición o detección.

El sensor de nivel puede ser seleccionado utilizando de referencia los criterios resumidos en la tabla I. La figura 31 muestra un sensor de nivel por el método de presión diferencial.

Figura 31. **Sensor de presión diferencial**



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

Cuando se utiliza un método de medición de nivel, los sensores tienen salidas de 4 - 20 miliamperios, un acondicionador de señal se encarga de mantener estable la señal del sensor y convertirla de miliamperios a una representación de voltaje, con la cual el Convertidor Análogo Digital (ADC, por sus siglas en inglés) convierte un valor físico a su representación digital con la cual cualquier sistema computarizado puede trabajar.

Cuando se utiliza un método de detección de nivel, los sensores tienen salidas digitales de activo (5 voltios) y desactivo (0 Voltios), o salidas por medio de contactos cerrados (activo) y contactos abiertos (desactivo).

Para ambos casos, utilizando sensores de medición o detección de nivel, es necesario utilizar el acondicionador de señal, que está compuesto principalmente de amplificadores operacionales y únicamente varía su configuración para la función deseada.

4.2.1.2. CPU, ADC, comunicación serial y memoria

El ADC (*Analog to Digital Converter*, Convertidor Análogo a Digital) es un convertidor de señales eléctricas analógicas hacia una representación binaria (1's y 0's) para poder ser procesada por el CPU (*Central Process Unit*, Unidad Central de Proceso) y luego almacenarla en la memoria para su posterior uso.

El ADC es utilizado mayormente cuando se utiliza un método de medición de nivel, aunque algunos detectores de nivel no tienen salidas de contacto abierto y cerrado, sino que tienen la capacidad de enviar otras señales para detectar falla en el sensor.

La comunicación se puede realizar por cualquier protocolo de comunicación, incluso la misma aplicación puede requerir algún tipo específico. Uno de los métodos más prácticos para realizar la comunicación es a través de un puerto de comunicación serial como el protocolo RS-232, un protocolo de comunicación donde se puede conectar a un Modem (modulador demodulador) para transportar la información a una estación de control.

El CPU es el cerebro de la estación remota, éste es el encargado de tomar la decisión del momento cuando debe tomar la lectura del sensor de nivel a través del ADC. Posterior a la lectura del sensor, el CPU lo analiza y almacena en memoria. El CPU también es el encargado de realizar la comunicación serial con el Modem.

En la actualidad existen microcontroladores que tienen integradas las funciones de un CPU, ADC, memoria y puerto de comunicación serial. La comunicación serial es por medio de un módulo UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*, Transmisor-Receptor Asíncrono Universal) que trabaja a niveles de 0 – 5 voltios, para el cual debe utilizarse un integrado para que funcione con el estándar del protocolo RS-232.

La integración de componentes en un solo dispositivo aumenta la fidelidad del equipo al reducir componentes individuales. La tabla II muestra las características básicas de un microcontrolador de Microchip.

Tabla II. **Resumen características microcontrolador PIC**

MICROCHIP PIC 18F4550	
Requisitos mínimos Microcontrolador	
CPU Clock	48MHz (max)
Memoria Datos	256
ADC	10 bits, 13 canales
Comunicación Serial	UART
Otros periféricos	
Comunicación serial SPI e I2C, comparadores analógicos, contadores, temporizadores, módulo PWM y USB.	
Otras características	
Modos Sleep e Idle para bajo consumo de energía, Watchdog, 35 pines de entrada y salida (I/O), multiplicador 8x8, manejo de interrupciones, retención de memoria de datos hasta 40 años.	

Fuente: www.microchip.com. Consulta: septiembre de 2011.

El microcontrolador PIC 18F4550 contiene los componentes esenciales que pueden ser utilizados para la estación remota del sistema de telemetría. La comunicación serial UART es compatible con el protocolo RS-232 haciendo uso de un integrado MAX232, también tiene un ADC de 10 bits de resolución y disponible en 13 canales. El CPU puede funcionar con un reloj de hasta 48 megahertz. La memoria interna del PIC puede ser muy pequeña para este tipo de aplicación, por lo que se puede hacer uso de una memoria externa utilizando otros puertos de comunicación serial. Un microcontrolador PIC 18F4550 se muestra en la figura 32.

Figura 32. **Microcontrolador PIC 18F4550**



Fuente: www.microchip.com. Consulta: septiembre de 2011.

4.2.1.3. Modem GPRS

Un Modem GPRS es un modulador y demodulador de señales, es el encargado de recibir toda la información a través del puerto de comunicación serial y transmitirla por la red de datos GPRS. El Modem GPRS debe tener características mínimas que cumpla con los requisitos del sistema de telemetría. La tabla III muestra información de un Modem GPRS de la empresa Sierra Wireless.

Tabla III. **Resumen características Modem GPRS**

AirLink FXT GPRS	
Características Mínimas	
Interface aérea	GSM/GPRS
Banda de Frecuencia	800/900/1800/1900 MHz
Interfase Serial	RS-232
Aprobaciones internacionales	FCC, R&TTE, CE, GCF, PTCRB
Consumo de Energía	
Modo alarma	400uA
Standby	2,5mA
GPRS Max	400mA

Fuente: www.sierrawireless.com. Consulta: septiembre de 2011.

El Modem de la tabla III trabaja con la red GPRS, tiene la interface serial RS-232 con la cual se puede comunicar con el microcontrolador y sus bandas de frecuencia incluyen todas las bandas de operación en Guatemala, por lo que se puede utilizar con cualquier proveedor. Otro aspecto importante de observar son las aprobaciones internacionales, debido a que respalda y certifica el Modem para ser utilizado cerca de otros equipos electrónicos sin producir interferencia o malfuncionamiento. La figura 33 muestra una imagen del Modem GPRS de la empresa Wireless.

Figura 33. **Modem GPRS**

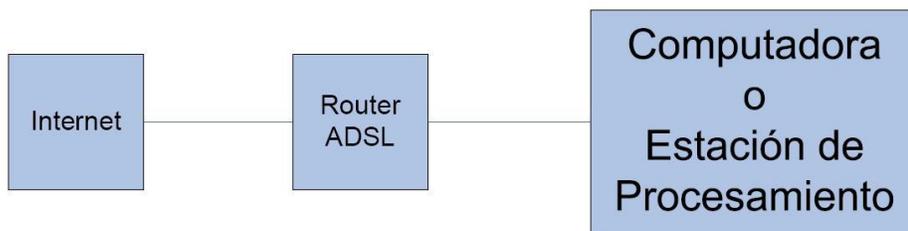


Fuente: www.sierrawireless.com. Consulta: septiembre de 2011.

4.2.2. Estación de control

La estación de control es uno de los componentes más fáciles de implementar. En la figura 34 se muestra sus componentes.

Figura 34. Diagrama de bloques de una estación de control



Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

La figura 35 muestra claramente que es una conexión típica de una computadora o estación de procesamiento al internet, con su respectivo *router*. Dentro de la computadora o estación de procesamiento debe ir un programa capaz de recibir la información y almacenarla, tener la capacidad de visualizar el historial, notificar alarmas y las configuraciones de la estación remota.

4.3. Funcionamiento general del sistema de telemetría de nivel

Un sistema de telemetría puede describirse en los siguientes pasos sencillos:

- Captura de información localmente
- Almacenar información localmente
- Transmitir información hacia estación de control
- Recibir información en la estación de control

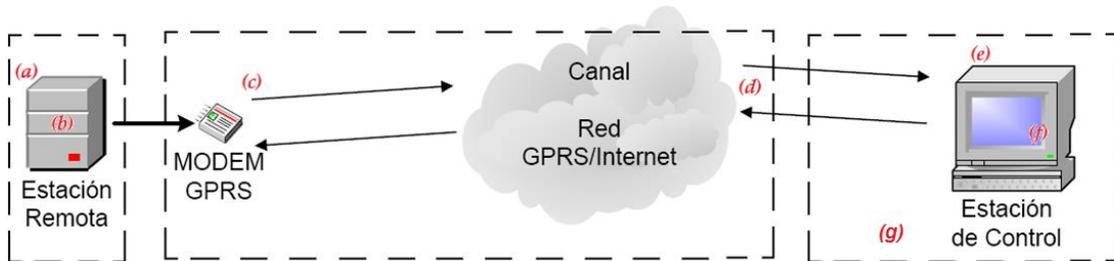
- Guardar información en la estación de control
- Análisis de la información en la estación de control
- *Watchdog* del sistema

Los anteriores pasos son bastante sencillos que no requieren mayor detalle, cabe resaltar que es muy fácil identificar quien realiza cada paso del proceso. El sensor, elegido apropiadamente, proporciona información del nivel del depósito, por lo que la estación remota se encuentra realizando la captura y almacenaje de varias mediciones para su posterior uso. La transmisión se relaciona tanto la estación remota como al canal, debido a que la estación remota utiliza el Modem GPRS para realizar la transmisión y el canal será el encargado de transmitirlo a su destino.

En transmitir y recibir, el canal se encuentra involucrado junto con la estación de control, debido a que el canal transporta la información que la estación remota deberá interpretar. La estación de control guarda y analiza toda la información capturada por la estación remota, que servirá para realizar los análisis correspondientes.

Lo último que corresponde al *watchdog* o perro guardián del sistema, se refiere a un componente interno de verificación de todas las secuencias anteriores. El *watchdog* trabaja como una aplicación independiente, éste verifica que todos los procedimientos se ejecuten en el orden correcto. La figura 35 muestra los pasos anteriormente mencionados, así como la parte del sistema de telemetría que lo ejecuta.

Figura 35. Diagrama del funcionamiento de un sistema de telemetría



Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

5. ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TELEMETRÍA DE NIVEL A TRAVÉS DE GPRS

5.1. Caso práctico 1: telemetría de nivel para depósitos presurizados con gases licuados

En este caso, se plantea un ejemplo de la necesidad de conocer el nivel de un producto, que por su naturaleza, debe estar presurizado y a baja temperatura dentro de un depósito.

5.1.1. Descripción

Una empresa distribuye gases para el consumo y lo almacena en depósitos presurizados de una variedad de tamaños según el uso y el consumo del cliente. Los depósitos sellados almacenan los gases en forma líquida a baja temperatura y los depósitos son estacionarios, lo que significa que una vez instalado no cambiará de ubicación. Cada depósito debe ser reabastecido constantemente para evitar que el cliente se quede sin producto y así mantener un consumo ininterrumpido.

Los depósitos presurizados tienen sensores manométricos de presión que indican el nivel de producto. Los manómetros de presión tienen elementos mecánicos y neumáticos para indicar el nivel del producto, por lo que debe ir al sitio para obtener una lectura de nivel de depósito.

Cada cliente, a través de un técnico de la empresa distribuidora, informa cuando el producto se agota para iniciar la planificación de llenado. Cada cliente es diferente debido al variable consumo del producto, que puede depender a la época del año como meses de alto consumo u otros factores, incluso fugas que generan pérdida de producto, en cualquier caso es difícil determinar el momento preciso para realizar el reabastecimiento del producto.

Cada técnico de la empresa tiene asignado visitar frecuentemente a los clientes para tener control del nivel de los depósitos, con el objetivo de controlar la cantidad de consumo mensual y confirmar la información cuando el cliente solicita más producto, para determinar el momento apropiado en el cual debe realizarse un reabastecimiento.

La empresa distribuidora de gases desea mejorar la forma de tener el control de producto de cada cliente, así darles una mejor atención y mejor servicio al momento de realizar el reabastecimiento, al mismo tiempo almacenar un historial de consumo y conocer el nivel del producto en todo momento. Se asume que el trabajo se realiza con 6 técnicos.

5.1.2. Propuesta del sistema de telemetría

Un sistema de telemetría bien diseñado es capaz de funcionar de manera automática, con poca o ninguna intervención humana, trabajando las 24 horas del día durante los 365 días del año. La estabilidad del sistema, evidentemente, es crucial para trabajar sin intervención humana, debido a que se debe evitar tiempos muertos en la alimentación de información al sistema en general.

5.1.2.1. Criterios para elegir el método de medición de nivel y canal de comunicación

La propuesta general consiste en montar un sistema de telemetría de nivel a través de la red GPRS, colocando una estación remota en las instalaciones de cada cliente y la estación de control en la central de operaciones de la empresa.

Tabla IV. Datos del producto del proceso, caso 1

	Datos del Producto				Variables del producto			Modo de operación	
	líquido	polvo	granular medio	corrosivo	viscosidad elevada	no homogéneo	local	remoto	
B = Bueno L = Limitaciones M = Malo									
Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.									
Detección de Nivel									
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M	
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M	
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B	
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B	
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L	
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B	
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B	
Medición de Nivel									
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B	
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B	
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M	
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L	
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L	
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B	
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L	
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B	
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B	
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B	

Fuente: elaboración propia.

La selección del mejor método de medición de nivel está relacionada principalmente en las variables y requerimientos del producto así como las variables del proceso definidas brevemente en la descripción. Usando la tabla I como referencia se puede determinar el equipo necesario que cumpla con los requerimientos.

Por la información obtenida se sabe que se va a medir nivel de gases congelados en estado líquido. Debido a la naturaleza del producto el depósito se encuentra sellado para mantener la temperatura y evitar que se libere el gas. La tabla IV indica las opciones que se tienen disponibles con los datos del producto.

Un requerimiento del cliente es que tiene la necesidad de conocer en todo momento la cantidad del producto, de tal forma se desea conocer de forma continua el nivel del producto dentro del depósito. Por lo tanto las opciones se restringen a un método de medición de nivel.

Si se tuviera la experiencia suficiente, la elección del método de medición de nivel sería una tarea sencilla, por lo que se descartan las opciones disponibles según las características de cada método vistas en el capítulo 2:

- La presión hidrostática no funciona en depósitos sellados, al igual que la medición por burbujeo.
- La medición por desplazamiento tiene elementos mecánicos externos que no pueden ser instalados en un depósito sellado, al igual que la medición por plomada.

- La medición por ultrasonido no puede ser utilizado en alta presión, como la que existe dentro del depósito para mantener en forma líquida los gases.
- La medición por pesaje requiere un montaje considerable y por lo tanto es muy caro, se puede excluir de las opciones.
- La medición radiométrica es un método muy caros, además que la exposición a la radiación es muy peligrosa.

Las posibles opciones se pueden apreciar en la tabla V.

Se tiene 2 posibles métodos que pueden ser parte del sistema de telemetría de nivel, debido también a que el elemento no es corrosivo, no tiene viscosidad elevada y es homogéneo.

Debido a los bajos costos de instalación para el canal de comunicación, es elegido la red GPRS debido a la completa cobertura de la zona urbana y amplia cobertura en la zona rural por parte de por lo menos 2 empresas que prestan el servicio en Guatemala. Teniendo la opción de elegir la empresa que satisface la cobertura deseada cuando se realiza una medición previa de la calidad de señal.

Tabla V. Selección de opciones de método de medición, caso 1

B = Bueno L = Limitaciones M = Malo Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Selección por modo de operación, caso 1

B = Bueno L = Limitaciones M = Malo Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

Ya que se eligió como canal de comunicación la red celular GPRS, el sistema de telemetría puede ser colocado en cualquier ubicación física del depósito, siempre y cuando tenga cobertura y suficiente señal. Por lo tanto el sistema funcionará en modo remoto y tendrá muy poca intervención humana para su funcionamiento. La tabla VI muestra la mejor opción disponible para el sistema completo.

Según la tabla VI, el mejor método de medición de nivel será el de presión diferencial. El método de presión diferencial es considerado un buen método para funcionar en modo remoto, debido a la poca intervención humana necesaria para el uso ininterrumpido del sensor.

La elección del método de presión diferencial no sería la única opción, como se indicó anteriormente, si el presupuesto no es una limitación, la medición radiométrica y medición por pesaje serían opciones viables para el modo de operación remoto. Si el presupuesto es limitado, siempre se debe elegir la mejor opción posible para que opere con la menor intervención humana.

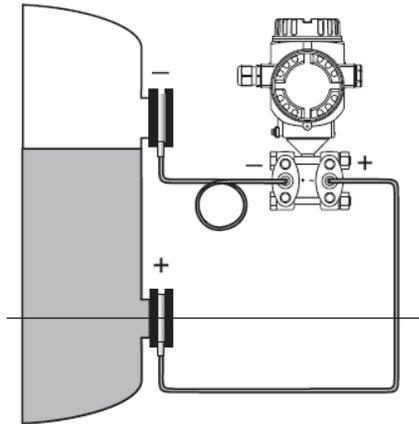
5.1.2.2. Equipo empleado

Los depósitos sellados utilizan manómetros de presión que indican localmente el nivel, presión y/o kilogramos de producto en la escala, por motivos de transición al sistema de telemetría de nivel pueden permanecer instalados al momento de instalar los nuevos sensores de presión. La estación remota debe ser instalada a un costado lo más cercano al sensor.

El sensor de presión a utilizar deberá cumplir con algunos requisitos mínimos de estabilidad y exactitud. El porcentaje de error debe ser mínimo para obtener lecturas reales, lo que permite reducir el error de lectura cuando el depósito es de grandes dimensiones. Los sensores deben ofrecer exactitud de lectura menor al 0,1 por ciento o de mejor calidad. La presión de trabajo debe estar entre +/- 100 milibares y +/- 40 bares. Debido a las bajas temperaturas a la que se almacena el producto, el sensor debe tener la capacidad de operar cerca de los -40 grados centígrados.

Debido que se desea realizar una medición de nivel, los sensores deben tener salidas de 4 - 20 miliamperios. Los sensores diferenciales de presión son preferidos en la aplicación por la facilidad de instalar y configurar, el costo de cada sensor de presión diferencial es menor que utilizar 2 sensores de presión hidrostática. La figura 36 la instalación de este tipo de sensor.

Figura 36. **Instalación sugerida para sensor
*Endress+Hauser Delta S PMDA75***



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El Modem de GPRS debe tener la capacidad de transmitir datos en las bandas que actualmente operan los operadores locales, si el Modem opera en banda dual deberá considerar que únicamente podrá elegir un operador, si el Modem es cuatribanda podrá operar con cualquier operador en Guatemala. Se sugiere contratar el servicio de datos ilimitado o un plan que se ajuste al presupuesto de operación, el sistema de telemetría requiere la transmisión de bajas cantidades de datos pero en futuras mejoras del sistema se podría incrementar. Esto generará un costo fijo de operación pero el sistema de telemetría gozará de la libertad de transmitir grandes cantidades de datos sin afectar los costos.

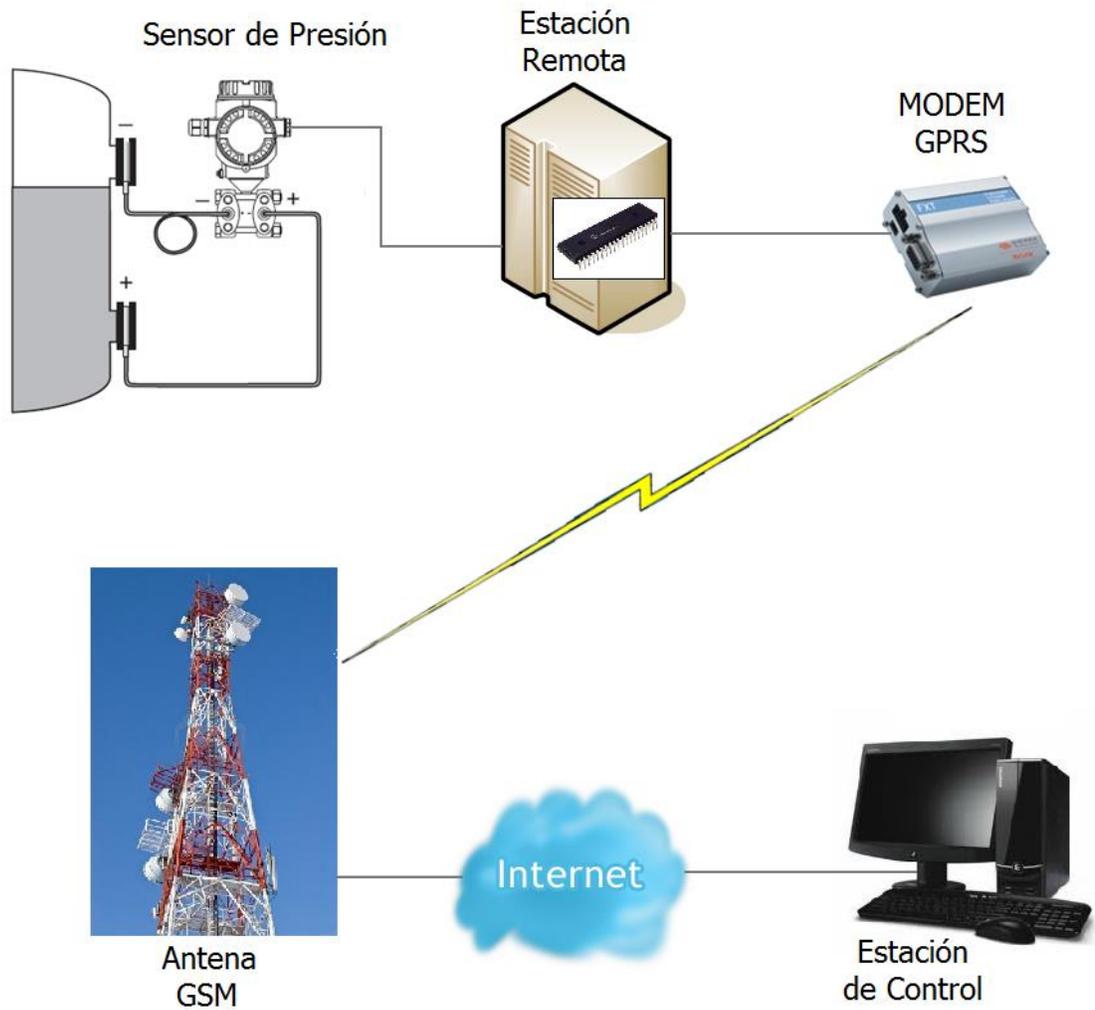
La computadora ubicada en la estación de control no necesita muchos recursos para trabajar en el sistema de telemetría de nivel. Una computadora con un procesador *Dual Core* de Intel o equivalente de AMD será suficiente, memoria de 2GB RAM y 500GB de disco duro para almacenar datos y operarlos, así como una estación de procesamiento con la suficiente capacidad de realizar todas las tareas requeridas. Necesitará la elaboración de un programa que tenga la capacidad de capturar los datos para luego procesarlos y tener la capacidad de elaborar reportes útiles para el personal operativo, así como funcionalmente deberá soportar el uso del *watchdog* necesario para verificar la funcionalidad del sistema en general.

En la figura 37 se muestra un sistema de telemetría de nivel para depósitos presurizados con gases licuados, utilizando un sensor de presión diferencial.

5.1.2.3. Diagrama de flujo de proceso

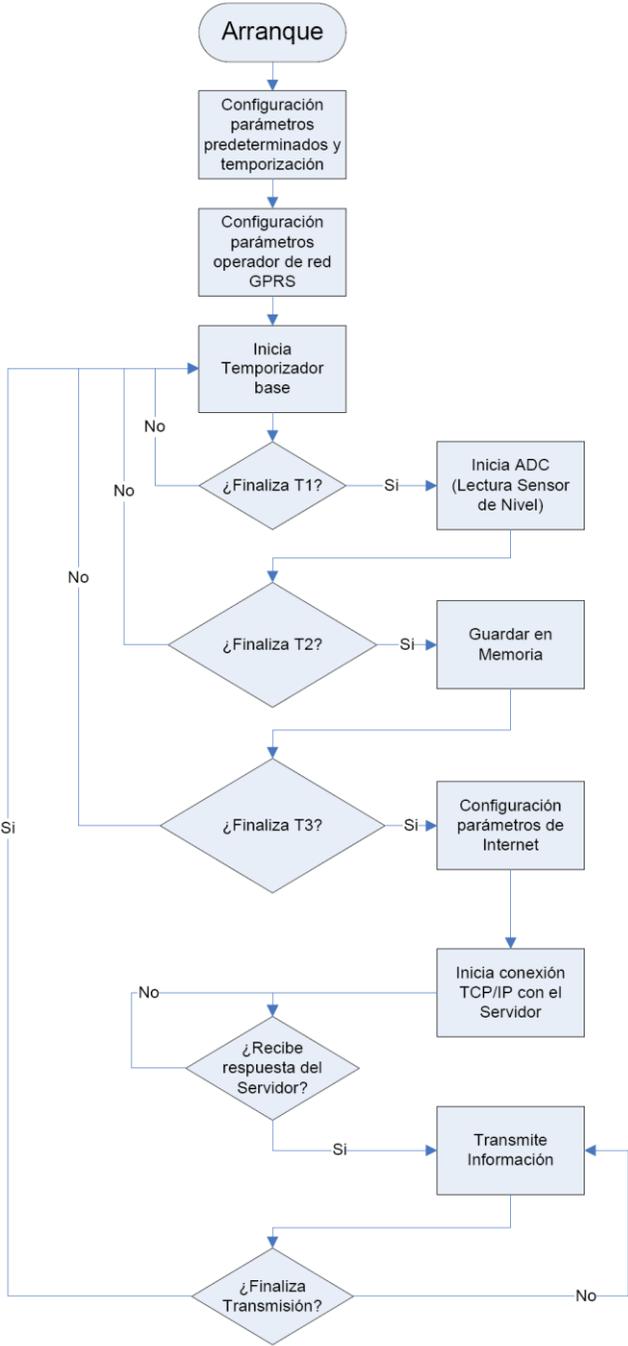
A continuación se describe brevemente las funciones básicas que debe realizar cada componente del sistema de telemetría, el diagrama de flujo general del sistema de telemetría se puede dividir en 2 partes, la figura 38 muestra el diagrama de flujo de la estación remota y la figura 39 muestra el diagrama de flujo de la estación de control.

Figura 37. **Sistema de telemetría de nivel para depósitos presurizados con gases licuados**



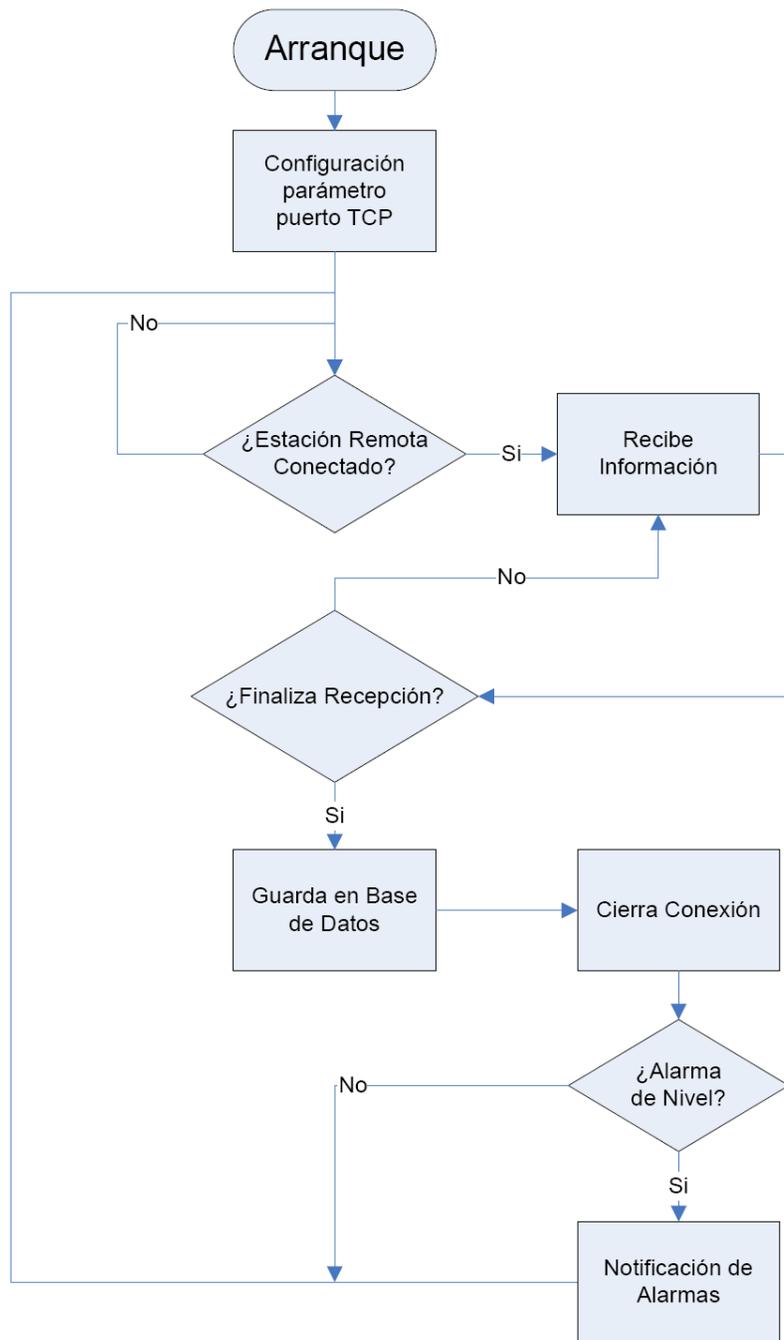
Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

Figura 38. Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación remota, caso 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación de control, caso 1



Fuente: elaboración propia.

5.1.2.4. Parámetros básicos del sistema de telemetría de nivel

Las funciones básicas descritas en los diagramas de flujo de la figura 38 y 39 permite apreciar las configuraciones básicas que debe tener la estación remota y la estación de control. La estación remota se configura con los siguientes parámetros:

- Parámetros predeterminados

Los parámetros predeterminados son todas aquellas configuraciones básicas que incluye una estación remota de fábrica. No son configurables en ejecución pero son parámetros base sobre la cual funcionará todo el sistema. Se pueden mencionar los siguientes:

- Configuración de módulos: activa los módulos a utilizar, como el módulo de comunicación serial, el módulo de ADC, el módulo de temporización, y puertos de entradas y salidas.
- ADC: configura la resolución del convertidor análogo digital, puede ser de 8 *bits* o hasta 10 *bits*.
- Temporizador base: configura un reloj interno que funciona como reloj base para todas las funcionalidades del sistema remoto. Un temporizador base se configura normalmente menor de 10 milisegundos.

- Parámetros de temporización

Los parámetros de temporización determinan el intervalo de tiempo en la que se realizan ciertas actividades, como las siguientes:

- T1: temporizador de lecturas del sensor de nivel.
- T2: temporizador para almacenar datos en memoria interna. No todas las lecturas del sensor de nivel son almacenadas, algunas se almacenan en paquetes.
- T3: temporizador de transmisión de datos, este determina el momento que debe realizar la transmisión de datos desde la estación remota a la estación de control.

- Parámetros de operador de red GPRS

Para poder conectarse a una red de datos GPRS es necesario configurar el Modem con los siguientes parámetros:

- *APN: Access Point Name* o nombre de punto de acceso.
- *User*: usuario de red.
- *Password*: contraseña de red.

- Parámetros de internet

Son todos los parámetros que el Modem necesita para realizar una conexión a través de internet. Los protocolos más utilizados son TCP/IP y UDP/IP, siendo más utilizado el TCP/IP por sus características. Los parámetros necesarios son:

- Servidor: dirección IP donde se encuentra ubicado la estación de control.
- Puerto: puerto TCP donde se comunica la estación remota y la estación de control.

La estación de control configura, en su modo básico, el siguiente parámetro:

- Parámetro puerto TCP

La estación remota debe conocer la dirección IP donde se encuentra ubicado, y luego abrir un puerto TCP en la cual escuchará a la estación remota. Dicho puerto TCP es configurable en el servidor, y debe ser el mismo configurado en la estación remota.

5.1.3. Relación costo/beneficio

Para realizar un análisis de costo/beneficio se debe determinar todos costos y beneficios que se espera obtener, utilizando el método Valor Presente Neto (VPN) como complemento al análisis y determinar si la implementación del sistema es factible económicamente.

Actualmente los costos de operación relacionados al control del nivel de producto, que incluye salarios de los técnicos y los viáticos se muestran en la tabla II. La empresa tiene 6 técnicos para atender sus clientes en la capital y fuera de ella.

Tabla VII. **Costo de operación anual actual, caso 1**

Cantidad	Descripción	Costo anual	Subtotal
6	Técnicos	Q60 000,00	Q360 000,00
6	Viáticos	Q43 392,00	Q260 352,00
		Total	Q620 352,00

Fuente: elaboración propia.

La empresa tiene a sus 100 clientes distribuidos en la capital y en el interior de la república, y vende en promedio Q 1 800 000,00 al año. Para implementar un sistema de telemetría de nivel debe colocar una estación remota en cada uno de sus clientes y debe realizar una fuerte inversión inicial. La tabla VIII muestra la inversión inicial.

Tabla VIII. **Costo de inversión inicial, caso 1**

Cantidad	Descripción	Costo	Subtotal
100	Estación Remota	Q8 790,00	Q879 000,00
100	Instalaciones	Q500,00	Q50 000,00
1	Estación de Control (software)	Q40 000,00	Q40 000,00
		Total	Q969 000,00

Fuente: elaboración propia.

El costo de operación cuando se tiene un sistema de telemetría de nivel implementado dependerá de un servicio de internet ilimitado de un proveedor de telefonía móvil para cada estación remota, y un técnico en mantenimiento para mantener los equipos en óptimas condiciones. La tabla IX muestra el costo de operación cuando se implementa un sistema de telemetría.

Tabla IX. **Costo de operación anual con sistema de telemetría implementado, caso 1**

Cantidad	Descripción	Costo anual	Subtotal
100	Plan de datos ilimitado	Q2 000,00	Q24 000,00
1	Técnico (mantenimiento)	Q60 000,00	Q60 000,00
1	Viáticos	Q43 392,00	Q43 392,00
1	Materiales de Mantenimiento	Q12 000,00	Q12 000,00
		Total	Q355 392.00

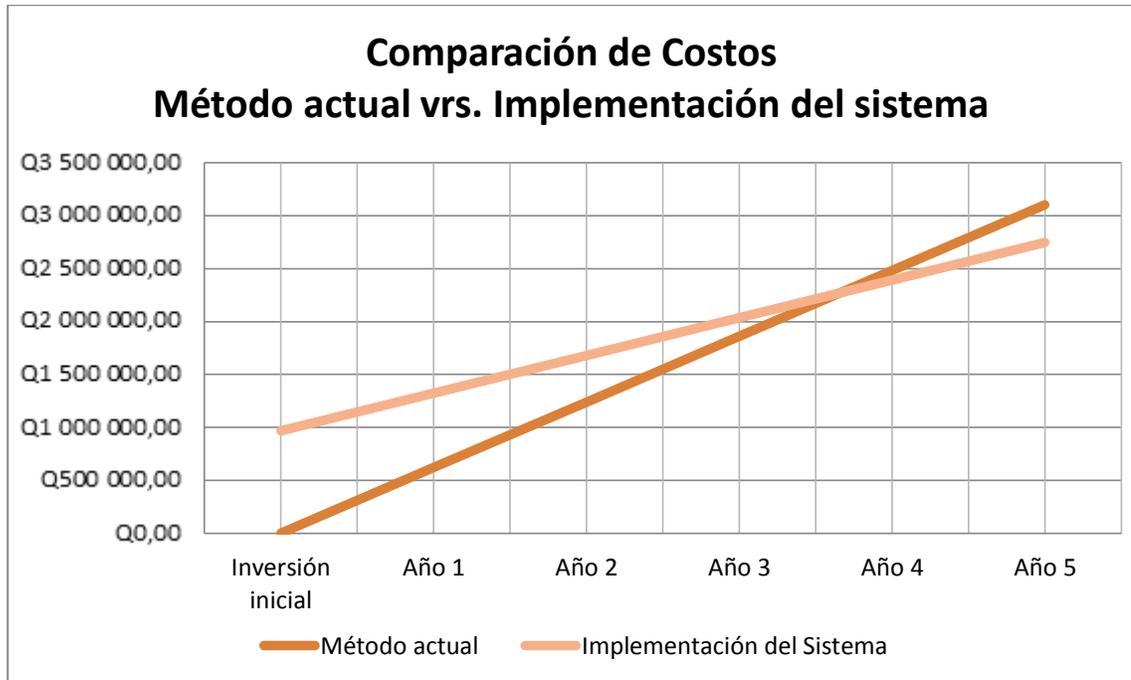
Fuente: elaboración propia.

La inversión inicial es elevada pero los costos de operación será menor al momento de implementar el sistema. Además, se espera un ahorro del 5 por ciento de por producto que no se desperdicia.

Si se analiza la información con la que se cuenta hasta el momento, se puede concluir que utilizando el método actual se tiene un costo de operación de Q 17,23 por día por cliente. Implementando el sistema de telemetría se obtendrá un costo de operación de Q 9,87 por día por cliente, una reducción de los costos de operación del 43 por ciento.

Si se realiza una gráfica de costos acumulados durante los próximos 5 años del sistema actual y de la implementación del sistema, el resultado es la figura 40.

Figura 40. Gráfico comparativo de costos, caso 1



Fuente: elaboración propia.

Para obtener una relación de costo/beneficio, se debe calcular el Valor Presente Neto de los beneficios y Valor Presente Neto de los costos. El VPN se calcula con una tasa de interés anual del 8 por ciento como referencia a la tasa de inversión que ofrecen los bancos en la actualidad, entonces se tiene:

$$\text{VPN beneficio} = \text{Q } 7\,257\,826,92$$

$$\text{VPN costo} = \text{Q } 2\,387\,977,20$$

La relación costo/beneficio es de 3,04. La cuál indica que si la relación es mayor a 1, es una inversión económicamente aceptable.

La relación costo/beneficio del método actual es de 2,90, lo que indica que la implementación del sistema de telemetría tiene mayores beneficios económicos que continuar con el método actual.

5.1.4. Ventajas y desventajas

Debido a que ningún sistema a implementar es perfecto, será necesario analizar las ventajas, que son todos los aspectos favorales, y evaluar las desventajas, que son todos los aspectos desfavorables, que pueden determinar si se implementará un nuevo sistema.

- Ventajas
 - La instalación de sensores electrónicos con salida de 4 - 20 miliamperios permite obtener mediciones de nivel de gran precisión, además permite conectarlo a cualquier sistema de control así como a un sistema de telemetría de nivel.
 - Información actualizada de nivel de cada depósito las 24 horas y 365 días del año, sin importar la distancia a la que se encuentre.
 - Control automático de alarmas de nivel bajo sin necesidad de intervención humana.
 - Reportes, gráficas y estimación de consumos sin necesidad de ingresar tablas de datos manualmente, todo esto se genera utilizando la información almacenada en la base de datos de la estación de control, optimizando el tiempo del personal operativo.

- Reducción de costos de operación cuando se implementa el sistema de telemetría en comparación al método actual, esto es debido a que requiere menos personal para llevar el control, permitiendo así justificar económicamente la inversión inicial.
- Desventajas
 - El sistema de telemetría de nivel utiliza la red celular GPRS para transmitir la información, por lo tanto depende de la disponibilidad y calidad del servicio.
 - El equipo se diseña para necesitar de la menor intervención humana posible, pero es necesario considerar programar realizar mantenimientos periódicos para mantener el equipo en óptimas condiciones.

5.2. Caso práctico 2: telemetría de nivel para depósitos de sólidos en polvo

En este caso, se plantea un ejemplo de la necesidad de conocer el nivel de un producto sólido en polvo dentro de un depósito, pero no es necesario conocer el nivel del producto en todo momento.

5.2.1. Descripción

Una persona se dedica a la supervisión de depósitos o silos que almacenan materiales para la construcción, dichos materiales pueden ser granular pequeño o polvo. Este supervisor es contratado por una empresa que produce dichos materiales para inspeccionar el nivel en los silos ubicados en las instalaciones de cada cliente. La empresa espera ser notificada por el supervisor para iniciar el procedimiento de reabastecimiento de materiales, preparando la logística de carga y transporte hacia sus clientes.

El procedimiento del supervisor consiste en visitar a todos los clientes constantemente. Los silos pueden variar en capacidad de almacenamiento según las necesidades de cada cliente. El supervisor ha realizado marcas en los silos que le sirven de guía como alarmas que le indican que se encuentra en nivel bajo y así realizar una solicitud de reabastecimiento.

El supervisor tiene 10 clientes a su cargo, la ubicación de los clientes es muy lejana unos de otros y pierde mucho tiempo viajando en vez de inspeccionar correctamente el nivel de material de los silos de cada cliente. La empresa quiere expandirse y tener más clientes, por lo tanto piensa incrementar más clientes al supervisor y el supervisor se encuentra en el límite de sus capacidades físicas para atenderlos.

5.2.2. Propuesta del sistema de telemetría

El sistema de telemetría propuesto será diseñado para trabajar las 24 horas del día durante los 365 días del año, informando del nivel de material en los depósitos haciendo efectivo el trabajo del supervisor.

5.2.2.1. Criterios para elegir el método de medición de nivel y el canal de comunicación

La propuesta general consiste en montar un sistema de telemetría de nivel a través de la red GPRS, instalando una estación remota en los silos de cada cliente y una estación de control en las oficinas del supervisor.

La selección del mejor método de medición de nivel está relacionada principalmente en las variables y requerimientos del producto así como las variables del proceso definidas brevemente en la descripción. Usando la tabla I como referencia se puede determinar el equipo necesario que cumpla con los requerimientos.

Por la información obtenida se sabe que se va a medir nivel de material granular medio o polvo. El depósito está a presión atmosférica, no se encuentra sellado. La tabla X indica las opciones que se tienen disponibles con los datos del producto.

Un requerimiento del cliente es que tiene la necesidad de conocer el nivel del producto cuando se encuentre en el nivel bajo para coordinar el reabastecimiento de material en el silo. Por lo tanto las opciones se restringen a un método de detección de nivel.

Los materiales de construcción granular pequeño se pueden considerar como material en polvo porque cumplen muchas características físicas. Pero el material granular pequeño no es homogéneo, es decir que no tiene una forma específica, por lo tanto se puede depositar dentro del silo de tal forma que de una falsa lectura del nivel.

La tabla XI muestra que se debe descartar el método quiebre de haz de microondas por el hecho de no ser homogéneo, además el uso de microondas es muy caro para utilizarlo en este método.

Tabla X. Datos del producto del proceso, caso 2

B = Bueno L = Limitaciones M = Malo Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

Los materiales de construcción granular pequeño se pueden considerar como material en polvo porque cumplen muchas características físicas. Pero el material granular pequeño no es homogéneo, es decir que no tiene una forma específica, por lo tanto se puede depositar dentro del silo de tal forma que de una falsa lectura del nivel. La tabla XI muestra que se debe descartar el método quiebre de haz de microondas por el hecho de no ser homogéneo, además el uso de microondas es muy caro para utilizarlo en este método.

Tabla XI. Selección por variables del producto, caso 2

	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
B = Bueno L = Limitaciones M = Malo								
Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.								
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

El método de detección radiométrica es un método muy caro de implementar, además existen riesgos relacionados a la exposición excesiva a la radiación. Por lo tanto es descartada como parte de la solución.

Debido a los bajos costos de instalación para el canal de comunicación, es elegido la red GPRS debido a la amplia cobertura de la zona urbana y rural por parte de por lo menos 2 empresas que prestan el servicio en Guatemala.

Tabla XII. Selección por modo de operación, caso 2

B = Bueno L = Limitaciones M = Malo Nota: "L" también indica que no hay preferencia, las casillas en blanco significa que no es aplicable.	Datos del Producto			Variables del producto			Modo de operación	
	<i>líquido</i>	<i>polvo</i>	<i>granular medio</i>	<i>corrosivo</i>	<i>viscosidad elevada</i>	<i>no homogéneo</i>	<i>local</i>	<i>remoto</i>
Detección de Nivel								
Interruptor de Flotador	B			M	L	L	B	M
Paleta Rotativa		B	B	M	B	B	B	M
Detector tipo Diafragma		B	L	M	L	B	B	B
Horquillas Vibrantes	L	B	L	M	B	B	B	B
Detector por Conductividad	B			L	M	L	B	L
Quiebre de haz de Microondas		B	B	B	L	L	B	B
Detección Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición de Nivel								
Presión Hidroestática	B			L	B	M	B	B
Presión Diferencial	B			L	B	M	B	B
Medición por Burbujeo	B			L	L	L	L	M
Medición por Desplazamiento	B			L	L	M	B	L
Medición por Plomada	B	B	B	M	B	B	B	L
Medición por Pesaje	B	B	B	B	B	B	B	B
Medición por Capacidad	B	B		B	L		B	L
Medición por Ultrasonido	B	M	B	L	B	B	B	B
Medición por Microondas		B	B	P		B	B	B
Medición Radiométrica	B	B	B	B	B	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

Ya que se eligió como canal de comunicación la red celular GPRS, el sistema de telemetría es colocado cerca del sensor en los silos. Por lo tanto el sistema funcionará en modo remoto y tendrá muy poca intervención humana para su funcionamiento. La tabla XII muestra las mejores opciones disponibles para el sistema completo.

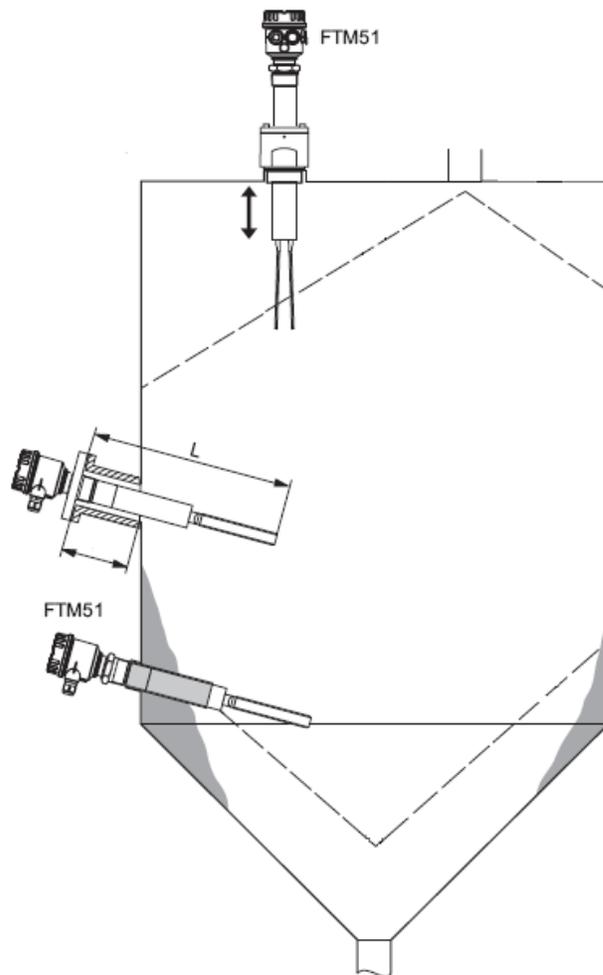
Según la tabla XII, se tienen 2 posibles métodos de detección para elegir, por lo que se puede elegir a criterio y preferencia de quien diseña el sistema de telemetría de nivel. Por la facilidad de la instalación se utilizará el método de horquillas vibrantes.

El método de detector tipo diafragma también puede ser una buena opción para el sistema de telemetría de nivel, incluso el método de paleta rotativa se encuentra en otra opción, aunque sus características mecánicas restringen su uso en instalaciones en donde la intervención humana será más frecuente.

5.2.2.2. Equipo empleado

El sensor de detección se puede instalar en 3 ubicaciones diferentes dentro de los silos. Los sensores deben trabajar a una temperatura ambiente o temperatura de almacenaje del producto, éste deberá ser comprendido entre 10 y 40 grados centígrados. Algunos sensores para la detección de nivel ofrecen salidas de 4 - 20 miliamperios, con la particularidad de tener una salida de 16 miliamperios cuando no detecta producto y de 8 miliamperios cuando detecta producto, cualquier valor de señal dentro de estos puntos es considerado una falla en el sensor. La figura 41 muestra la instalación sugerida para los 3 sensores *Endress+Hauser*, ubicados en el 100, 25 y 10 por ciento del nivel del silo según las necesidades del cliente.

Figura 41. **Diagrama de instalación sugerida para sensor
*Endress+Hauser Soliphant M FTM51***



Fuente: www.endress.com. Consulta: septiembre de 2011.

El Modem de GPRS debe tener la capacidad de transmitir datos en las bandas que actualmente operan los operadores locales. Se sugiere contratar el servicio de datos ilimitados, debido a que el sistema de telemetría requiere bajas cantidades de datos, pero en futuras mejoras podría incrementar. Esto generará un costo fijo de operación pero el sistema de telemetría gozará de la libertad de transmitir grandes cantidades de datos sin afectar los costos.

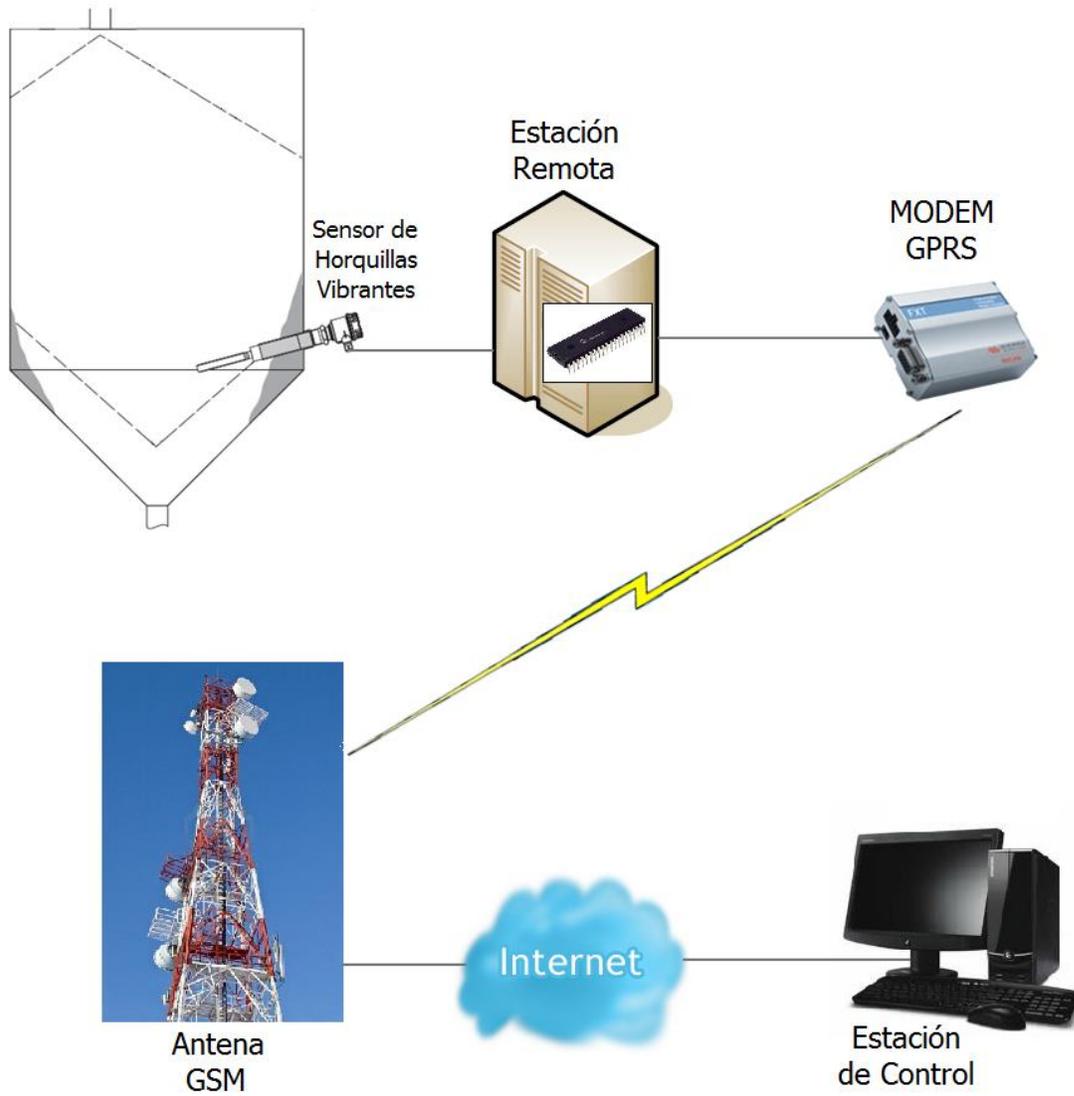
La computadora ubicada en la estación de control no necesita muchos recursos para trabajar en el sistema de telemetría de nivel. Una computadora con un procesador *Dual Core* de Intel o equivalente de AMD será suficiente, memoria de 2GB RAM y 500GB de disco duro para almacenar datos y operarlos, así como podría operar una estación de procesamiento con los suficientes recursos para realizar todas la tareas necesarias. Se requiere de un programa o aplicación que tenga la capacidad de capturar los datos para luego procesarlos, así como elaborar reportes útiles para el personal operativo.

La figura 42 muestra un sistema de telemetría de nivel para depósitos de sólidos en polvo.

5.2.2.3. Diagrama de flujo de proceso

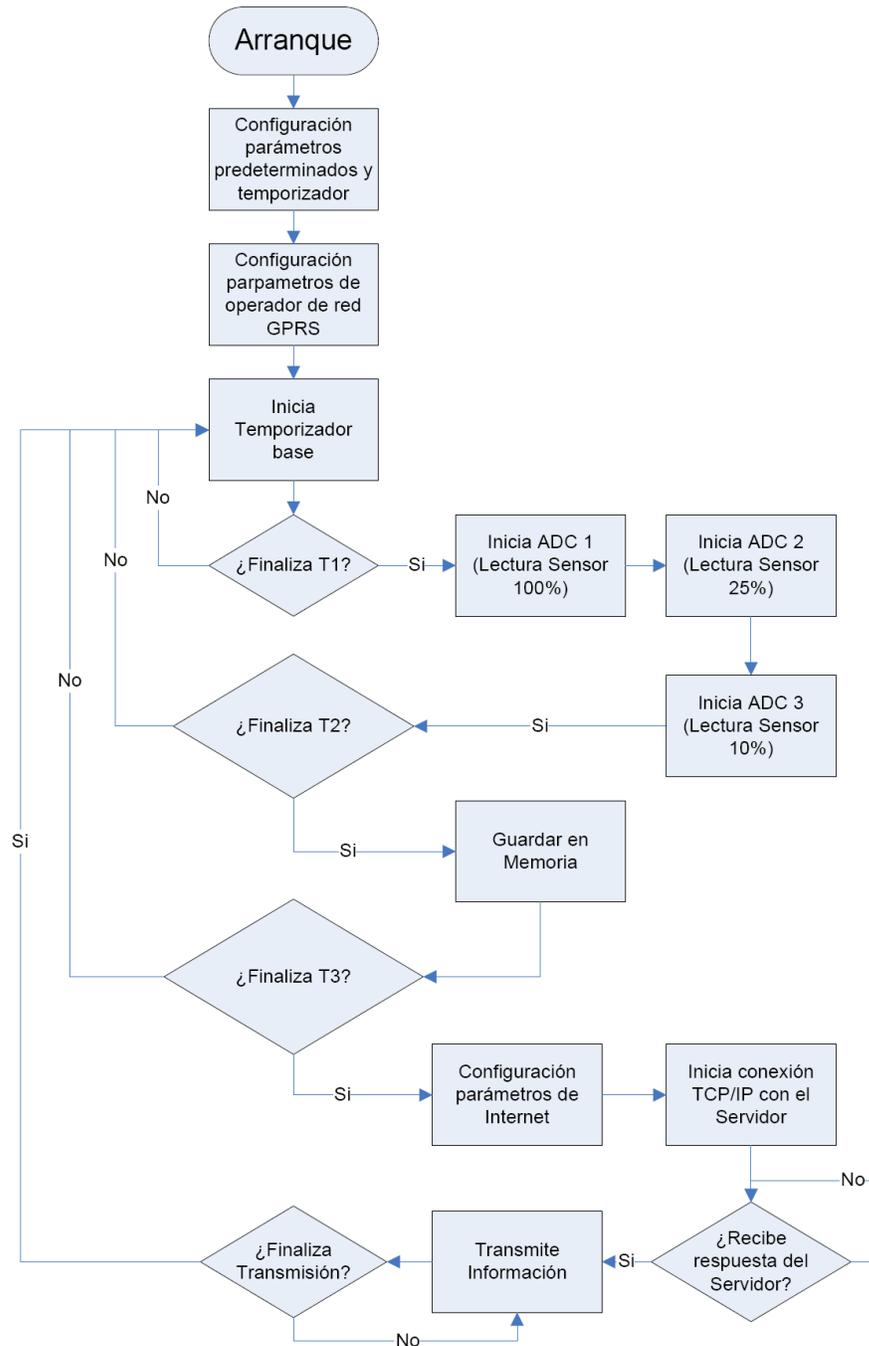
A continuación se describe brevemente las funciones básicas que debe realizar cada componente del sistema de telemetría, el diagrama de flujo general del sistema de telemetría se puede dividir en 2 partes, la figura 43 muestra el diagrama de flujo de la estación remota y la figura 44 muestra el diagrama de flujo de la estación de control. La figura 43 muestra el caso en el que se instalan 3 sensores, en caso solo se instala 1 sensor, omitir el procedimiento correspondiente a dicho sensor.

Figura 42. Sistema de telemetría de nivel para depósitos de sólidos en polvo



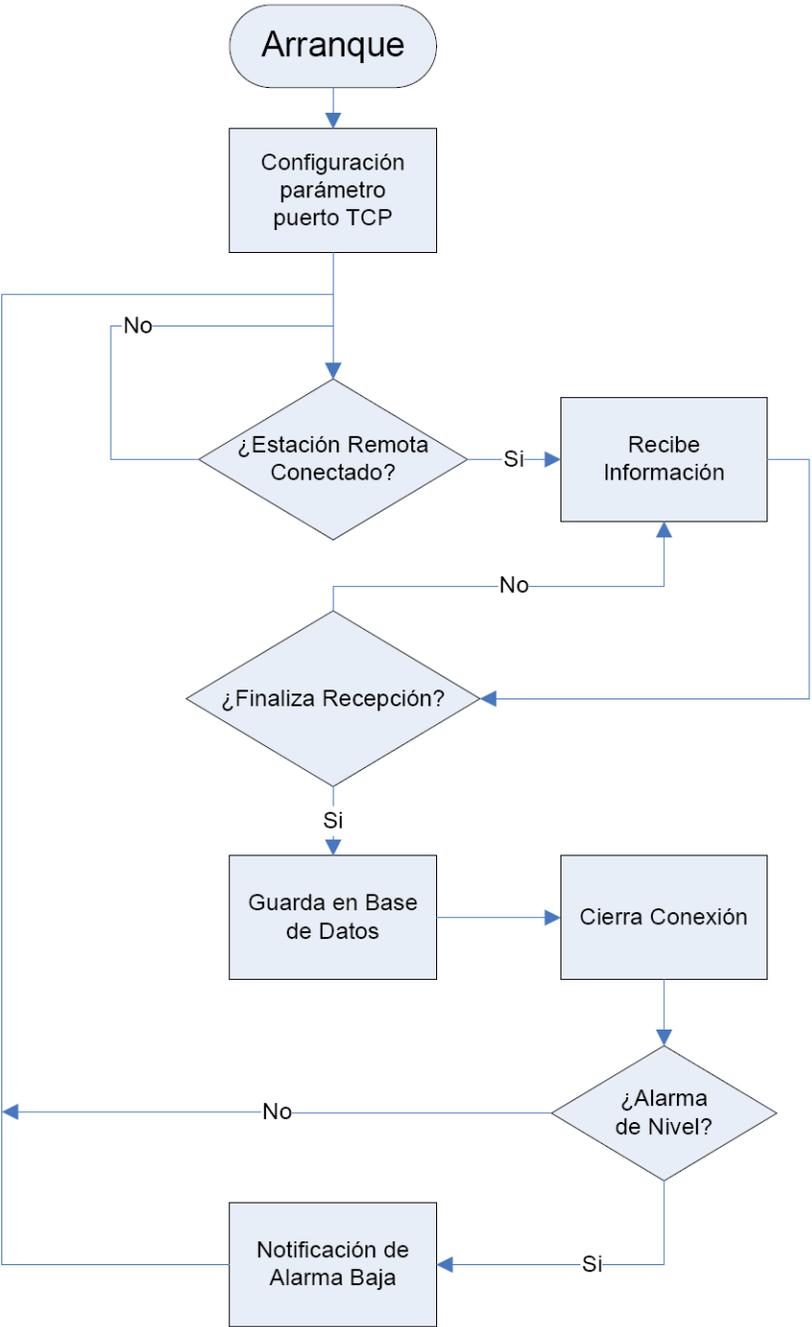
Fuente: elaboración propia, con programa de MS Office Visio 2003.

Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación remota, caso 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Diagrama de flujo del proceso de telemetría de nivel, estación de control, caso 2



Fuente: elaboración propia.

5.2.2.4. Parámetros básicos del sistema de telemetría de nivel

Las funciones descritas en los diagramas de flujo de las figuras 43 y 44, se puede apreciar la configuración básicas que debe tener la estación remota y la estación de control. La estación remota se configura con los siguientes parámetros:

- Parámetros predeterminados

Los parámetros predeterminados son todas aquellas configuraciones básicas que incluye una estación remota de fábrica. No son configurables en ejecución pero son parámetros base sobre la cual funcionará todo el sistema. Se pueden mencionar los siguientes:

- Configuración de módulos: activa los módulos a utilizar, como el módulo de comunicación serial, el módulo de ADC, el módulo de temporización, y puertos de entradas y salidas.
- ADC: configura la resolución del convertidor análogo digital, puede ser de 8 *bits* o hasta 10 *bits*.
- Temporizador base: configura un reloj interno que funciona como reloj base para todas las funcionalidades del sistema remoto. Un temporizador base se configura normalmente menor de 10 milisegundos.

- Parámetros de temporización

Los parámetros de temporización determinan el intervalo de tiempo en la que se realizan ciertas actividades, como las siguientes:

- T1: temporizador de lecturas del sensor de nivel.
- T2: temporizador para almacenar datos en memoria interna. No todas las lecturas del sensor de nivel son almacenadas, solo algunas se almacenan en paquetes.
- T3: temporizador de transmisión de datos, este determina el momento que debe realizar la transmisión de datos desde la estación remota a la estación de control.

- Parámetros de operador de red GPRS

Para poder conectarse a una red de datos GPRS es necesario configurar el Modem con los siguientes parámetros:

- *APN: Access Point Name* o nombre de punto de acceso.
- *User*: usuario de red.
- *Password*: contraseña de red.

- **Parámetros de Internet**

Son todos los parámetros que el Modem necesita para realizar una conexión a través de internet. Los protocolos más utilizados son TCP/IP y UDP/IP, siendo más utilizado el TCP/IP por sus características de conexión. Los parámetros necesarios son:

- **Servidor:** dirección IP donde se encuentra ubicado la estación de control.
- **Puerto:** puerto TCP donde se comunica la estación remota y la estación de control.

La estación de control configura, en su modo básico, el siguiente parámetro:

- **Parámetro puerto TCP**

La estación remota debe conocer la dirección IP donde se encuentra ubicado, y luego abrir un puerto TCP en la cual escuchará a la estación remota. Dicho puerto TCP es configurable en el servidor, y debe ser el mismo configurado en la estación remota.

5.2.3. Relación costo/beneficio

Para realizar un análisis de costo/beneficio se debe determinar todos costos y beneficios que se espera obtener, utilizando el método Valor Presente Neto (VPN) como complemento al análisis y determinar si la implementación del sistema es factible económicamente.

Actualmente los costos de operación relacionados al control del nivel de producto incluyen los gastos de combustible y mantenimiento del vehículo, hospedaje y alimentación que requiere al momento de viajar para visitar todos los clientes. Estos costos se aprecian en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Costo de operación anual actual, caso 2**

Cantidad	Descripción	Costo anual U.	Subtotal
1	Combustible y servicios	Q38 400,00	Q38 400,00
1	Hospedaje	Q28 800,00	Q28 800,00
1	Alimentación	Q34 560,00	Q34 560,00
		Total	Q101 760,00

Fuente: elaboración propia.

El supervisor recibe Q1 200,00 al mes por cada cliente que monitorea, actualmente tiene 10 clientes a su cargo y recibe Q 144 000,00 al año. Para implementar un sistema de telemetría de nivel debe colocar una estación remota, que contiene 1 detector de nivel. La tabla XIV muestra la inversión inicial para implementar un sistema de telemetría completo.

Tabla XIV. **Costo de inversión inicial, caso 2**

Cantidad	Descripción	Costo U.	Subtotal
10	Estación Remota	Q8 790,00	Q87 900,00
10	Instalaciones	Q600,00	Q6 000,00
1	Estación de Control (software)	Q20 000,00	Q20 000,00
		Total	Q113 900,00

Fuente: elaboración propia.

El costo de operación cuando se tiene un sistema de telemetría de nivel implementado dependerá del servicio de internet ilimitado de un proveedor de telefonía móvil para cada estación remota, y un técnico en mantenimiento y materiales necesarios para darle mantenimiento y tener los equipos en óptimas condiciones. La tabla XV muestra el costo de operación cuando se implementa un sistema de telemetría.

Tabla XV. **Costo de operación anual con sistema de telemetría implementado, caso 2**

Cantidad	Descripción	Costo anual U.	Subtotal
10	Plan de datos ilimitado	Q2 400,00	Q24 000,00
1	Combustible y servicios	Q19 200,00	Q19 200,00
1	Hospedaje	Q14 400,00	Q14 400,00
1	Alimentación	Q17 280,00	Q17 280,00
		Total	Q74 880,00

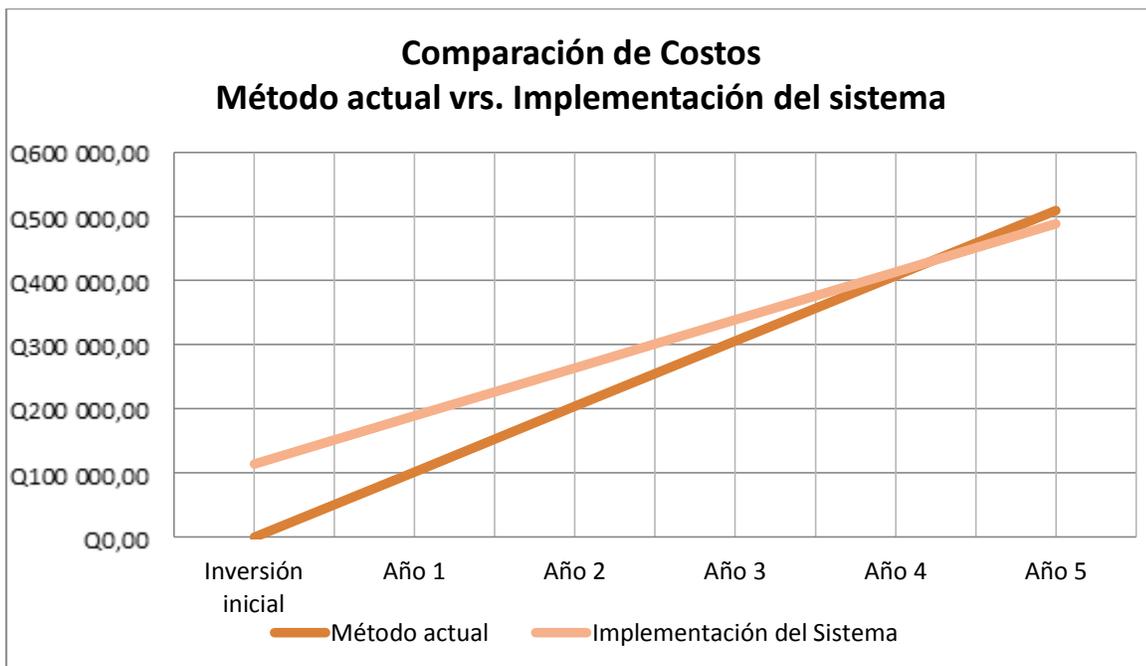
Fuente: elaboración propia.

La inversión inicial es elevada pero los costos de operación serán menores al momento de implementar el sistema. Además esperar recibir un 5 por ciento de bonificación si mejora sus servicios.

Si se analiza la información con la que se cuenta hasta el momento, se puede concluir que utilizando el método actual se tiene un costo de operación de Q 28,27 al día por cliente. Implementando el sistema de telemetría se obtendrá un costo de operación de Q 20,80 al día por cliente, una reducción de los costos de operación del 26 por ciento.

Si se realiza una gráfica de costos acumulados durante los próximos 5 años del sistema actual y de la implementación del sistema, el resultado es la figura 45.

Figura 45. **Gráfica comparativa de costos, caso 2**



Fuente: elaboración propia.

Para obtener una relación de costo/beneficio, se debe calcular el Valor Presente Neto de los beneficios y Valor Presente Neto de los costos. El VPN se calcula con una tasa de interés anual del 8 por ciento como referencia a la tasa de inversión que ofrecen los bancos en la actualidad, entonces se tiene:

$$\text{VPN Beneficio} = \text{Q } 603\,697,76$$

$$\text{VPN Costo} = \text{Q } 412\,874,13$$

La relación costo/beneficio es de 1,46. La cuál indica que si la relación es mayor a 1, es una inversión económicamente aceptable.

La relación costo/beneficio del método actual es de 1.42, lo que indica que la implementación del sistema de telemetría tiene un leve incremento en los beneficios económicos que continuar con el método actual.

5.2.4. Ventajas y desventajas

Debido a que ningún sistema a implementar es perfecto, será necesario analizar las ventajas, que son todos los aspectos favorales, y evaluar las desventajas, que son todos los aspectos desfavorables, que pueden determinar si se implementará un nuevo sistema.

- Ventajas
 - La instalación de sensores electrónicos con salida de 4 - 20 miliamperios para un sistema de detección de nivel, permite determinar cuál sensor se encuentra activo y cuál se encuentra desactivo para determinar el nivel del producto de forma puntual, además permite detectar si el sensor se encuentra en correcto funcionamiento, permitiendo una fácil integración a un sistema de control o un sistema de telemetría.
 - Información actualizada del nivel de cada depósito las 24 horas y 365 días del año, sin importar a la distancia a la que se encuentre.
 - Control automático de alarmas de nivel bajo sin necesidad de intervención humana.

- Reportes y gráficas de consumos sin necesidad de ingresar tablas de datos manualmente, todo esto se genera utilizando la información almacenada en la base de datos de la estación de control, optimizando el tiempo del personal operativo.
- El costo de operación del sistema de telemetría es reducido en comparación al sistema actual que es realizado por medio de varias personas, permitiendo así ahorrar costos que justifican económicamente la inversión inicial.
- Desventajas
 - El sistema de telemetría es dependiente de la red celular GPRS del proveedor de servicio, puede presentar fallos, congestión y está sujeto a cobertura según la ubicación e infraestructura.
 - El equipo no es 100 por ciento independiente, por lo que debe realizar un mantenimiento preventivo constante para verificar y asegurar su correcto funcionamiento y mantener la confiabilidad del equipo, y un mantenimiento correctivo cuando lo requiera para restablecer el servicio.

CONCLUSIONES

1. Para desarrollar un sistema de telemetría eficiente y confiable se necesita definir adecuadamente todas las variables que determinarán el funcionamiento del sistema.
2. Los métodos de detección y medición de nivel depende de las características del producto almacenado, así como la forma y dimensiones de los depósitos donde se almacena dicho producto.
3. Las redes GPRS se desarrollaron para transportar datos por la red celular GSM, permitiendo que las aplicaciones sean más fáciles de implementar cuando es posible tener acceso al internet, permitiendo que se desarrollen muchas aplicaciones móviles confiables.
4. Un sistema de telemetría de nivel consiste principalmente en unir los requerimientos generales de la aplicación, un medio de comunicación confiable y los diferentes métodos de detección o medición de nivel.
5. La inversión inicial para adquirir un sistema de telemetría puede ser elevada debido a la adquisición de equipo electrónico nuevo y moderno, pero un sistema de este tipo logra reducir costos de operación por lo que se obtiene un beneficio a mediano y largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Definir correctamente todas las variables que involucre el proceso industrial donde es requerido el sistema de telemetría de nivel, para que se cumpla con todos los requerimientos necesarios.
2. Adquirir equipo electrónico moderno y altamente tecnológico se ve reflejado en la eficiencia de un sistema de telemetría para obtener resultados a corto, mediano o largo plazo.
3. Realizar un estudio completo del ambiente que rodea el proceso industrial antes de seleccionar el medio de comunicación, debido a que es un aspecto fundamental para un sistema de telemetría.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRENES, Julio. *Metrología básica*. 2a ed. México: Secal, 1998. 176 p.
2. CARDEN, Frank; JEDLICKA, Russell; HENRY, Robert. *Telemetry System Engineering*. USA: Artech House, 2002. 596 p.
3. HALONEN, Timo; ROMERO, Javier; MELERO, Juan. *GSM, GPRS and EDGE performance*. 2a ed. Inglaterra: John Wiley & Sons. 2003. 615 p.
4. Ministerio de Economía. *Dirección del sistema nacional de calidad*. [en línea]. <www.mineco.gob.gt> [Consulta: junio de 2011].
5. MORRIS, A. S. *Principles of measurement and instrumentation*. 3a ed. USA: Prentice-Hall, 2001. 512 p.
6. STREMBLER, Ferrel. *Introducción a los sistemas de comunicación*. 3a ed. España: Iberoamericana, 1993. 761 p.
7. VAN DE KAMP, Wim, *Teoría de mediciones*. 2a ed. España: Sant Just Desvern, 1996. 244 p.

