

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Implementación y diseño de un prototipo para el monitoreo y control continuo del tanque de abastecimiento de agua potable para la zona de Cahuita por telemetría mediante el uso de la tecnología GSM

Informe de Proyecto de Graduación

Opción para optar por el título de Ingeniero en Electrónica

Grado académico de Licenciatura

Luis Alberto Delgado Fernández

Cartago, noviembre del 2005

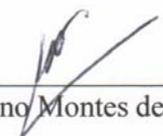
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

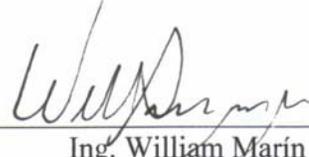
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal


Ing. Faustino Montes de Oca M.

Profesor lector


Ing. William Marín M.

Profesor lector


Ing. Carlos Badilla C.

Profesor asesor


Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
28 de Noviembre del 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

28 Noviembre del 2005



Luis Alberto Delgado Fernández.
Cédula: 1 0970 0092

RESUMEN

En los últimos años, el avance de las tecnologías en las telecomunicaciones ha permitido el acceso de mejores servicios y facilidades para el usuario. Dentro de estas tecnologías se encuentra el GSM, tecnología que se ha ido innovando cada vez más, hasta lo que se conoce hoy en día como tecnologías de tercera generación.

La tendencia de la automatización en los procesos industriales ha sido integrar los distintos niveles de comunicación en un concepto de sistema de conocido como TIA (Automatización Totalmente Integrada). Bajo este concepto el utilizar la tecnología GSM dentro del marco industrial para el control y monitoreo remoto es una alternativa inteligente para evaluar los procesos de manera continua en forma inalámbrica.

El propósito de este proyecto es integrar los Controladores Lógicos Programables (PLC) de Siemens con Módems de tecnología GSM con el fin de diseñar e implementar un prototipo que logre monitorear y controlar de manera continua y de forma inalámbrica vía GSM el estado de cualquier proceso industrial. Para mostrar el sistema funcionando se desarrolló un panel demostrador con el modelo representativo para la medición de nivel de un tanque de almacenamiento de agua el cual se puede visualizar en una pantalla táctil y a la vez permite asociar al PLC con una de sus aplicaciones usuales, dándole una gran versatilidad en la comunicación con el amplio mundo provisto por la red de GSM.

Los resultados obtenidos se resumen de manera práctica, observando el funcionamiento del panel demostrativo implementado. El monitoreo y control de la planta se logra mediante aplicaciones programadas en los controladores lógicos de la familia S7 200 que integran el sistema para realizar transmisiones de información por llamada de datos GSM de un punto a otro, y por el envío de mensajes de texto de manera automática de acuerdo a un evento específico o definido por el usuario. El sistema alcanzado es compacto, seguro, confiable y flexible, lo cual representa de gran beneficio tanto para la empresa como para los clientes finales que requieran de este tipo de aplicaciones.

Palabras claves: GSM, SMS, SIM, PIN, PLC, módem, Comandos AT

ABSTRACT

In the last years, the advance in the telecommunications has allowed the access to better services and facilities to the user. GSM is one of these technologies that have been introduced increasingly up until what we know as third generation technologies.

The tendency of the automation in the industrial processes has been the integration of the multiple communications, in a system concept called TIA (Totally integrated Automation). Under this concept, using the GSM technology within the industrial frame to control and supervise any process is an intelligent alternative to evaluate the information wirelessly and in a continuous way.

The purpose of this project is to integrate the Siemens's Logical Programmable Controllers with Modems MC45 terminal, in order to design and to implement a prototype that can supervise and control gradually and wirelessly any industrial process, using the GSM technology. To show the system operation, it was developed a demonstrating panel with a representative model to measure the level of a tank of water storage, which can be visualized on a tactile screen and at the same time it allows to associate to the PLC with one of its usual applications.

The results are summarized in a practical way, by observing the functioning of the implemented panel. The monitoring and controlling of the prototype is obtained through the program applications in the PLCs S7 200, which integrate the system to make transmissions of information by GSM calls from point to point, and by sending SMS automatically according to a specific event or request by the user. The implemented system is compact, safety, reliable and flexible, which represents of great benefit for both the company and the final customers who need this type of applications.

Key words: GSM, SMS, SIM, PIN, PLC, Modem, AT Commands.

DEDICATORIA

Primeramente dedico el logro de este trabajo a mi amigo incondicional, a Dios, el cual a estado a mi lado en todo momento, dándome fortaleza y sabiduría con las cuales he logrado vencer cualquier adversidad y obstáculo que se han presentado a lo largo de mi vida.

También a mi madre y a mi padre ya que sin su apoyo, sacrificio y cariño no hubiera sido posible la culminación de mi carrera y por mostrarme que si en el trabajo duro y abnegación en lo que se hace no se pueden alcanzar los sueños.

A todos los que siempre han creído en mí, como persona y ser humano.

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, a DIOS que como fuente de vida me iluminó para salir adelante con esta nueva etapa.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica en especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica, por su calidad académica.

A mi profesor asesor Ing. Carlos Badilla, por su calidad humana, su profesionalismo y distinguida colaboración.

Al Ing. William Marín y al Ing. Faustino Montes de Oca, por sus valiosas recomendaciones como lectores del trabajo.

A mi padre Lic. Luis Delgado Villalobos y madre Evelia María Fernández Flores por sus valiosos consejos, motivación, abnegación, oraciones y apoyo incondicional.

Al Ing. Juan Alejandro Fernández por su apoyo y servicio en la realización de mi proyecto de graduación.

A todos mis amigos y amigas que se preocuparon para que finalizara mis estudios.

A todas aquellas personas con las cuales tuve el placer de trabajar y estudiar en el transcurso de mis estudios superiores.

A todos ellos...

Mi admiración y respeto

INDICE GENERAL

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	12
INDICE DE TABLAS	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 PROBLEMA EXISTENTE E IMPORTANCIA DE SU SOLUCIÓN	16
1.2 SOLUCIÓN SELECCIONADA	18
CAPÍTULO 2: META Y OBJETIVOS	22
2.1 META	22
2.2 OBJETIVO GENERAL	22
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2.4 OBJETIVOS DE IMPLEMENTACIÓN	25
2.5 OBJETIVOS DE DOCUMENTACIÓN	25
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	26
3.1 MARCO DE REFERENCIA GENERAL DEL PROYECTO	26
3.2 PRINCIPIOS FÍSICOS Y ELECTRÓNICOS	29

3.2.1	<i>Principios físicos considerados para el modelado del Sistema</i>	29
3.2.1.1	<i>Conservación de la masa y la energía:</i>	32
3.2.2	<i>Principios Matemáticos para el modelado del Sistema</i>	34
3.2.2.1	<i>Solución para Sistemas de ecuaciones lineales.</i>	36
3.2.3	<i>Componentes a considerar en el modelado del Sistema</i>	37
3.2.3.1	<i>Teoría sobre Bombas.</i>	37
3.2.3.2	<i>Teoría de Válvulas.</i>	37
3.2.3.3	<i>Pequeñas pérdidas</i>	40
3.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISPOSITIVOS MÁS RELEVANTES	41
3.3.1	<i>Módem MC45 terminal</i>	41
3.3.2	<i>Controladores lógicos programables (PLC) S7 200.</i>	43
3.3.2.1	<i>Funciones de un PLC de la serie S7-200</i>	43
3.3.2.2	<i>Principales componentes de un Micro-PLC S7-200</i>	44
3.3.2.3	<i>Cable de comunicación PC/PPI.</i>	45
3.4	SOFTWARE	49
3.4.1	<i>Micro Win Step 7 versión 4.0</i>	49
3.4.2	<i>Estructura del programa implementado</i>	50
3.4.3	<i>Protocolo de comunicación “Modo Free port”</i>	51
3.4.3.1	<i>Inicializar el modo Free Port.</i>	52
3.4.4	<i>Operaciones de interrupción y comunicación.</i>	53
3.4.5	<i>Parámetros y comandos AT de inicialización y operación del módem TC 45 terminal.</i>	54
3.4.5.1	<i>Manejo de comandos AT dentro del programa de control realizado en step7 micro/win.</i>	55
3.4.5.2	<i>Estructuración de comandos AT dentro del programa de control.</i>	56
3.4.6	<i>TP Designer.</i>	57
3.4.7	<i>Water Cad.</i>	58
	CAPÍTULO 4: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	60
4.1	RECONOCIMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	60
4.2	OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	62
4.3	ÉVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS Y SÍNTESIS DE UNA SOLUCIÓN	63
4.4	IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	64

CAPÍTULO 5: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN66

5.1 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN.....	66
5.1.1 Interconexión y prueba GSM.....	66
5.1.1.1 Cable de comunicación PC/PPI.....	69
5.1.2 Medición de nivel del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita.....	70
5.1.2.1 Modelado de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita.....	72
5.1.3 Diseño de los paneles para transferencia de datos vía GSM.....	84
5.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE IMPLEMENTADO.....	90
5.2.1 Descripción del programa para el control y monitoreo del tanque.....	91

CAPITULO 6: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE DISEÑO DEL SOFTWARE.....92

6.1 EL PROGRAMA PRINCIPAL (OB1)	92
6.2 INICIALIZACIÓN DE PUERTO	96
6.2.1 Configuración del protocolo de comunicación “free port”	97
6.3 INICIALIZACIÓN DE MÓDEM.....	100
6.4 VERIFICACIÓN DE PIN	106
6.5 ENVIAR SMS.....	109
6.6 BÚSQUEDA DE MENSAJE.....	111
6.7 DESTINO DEL MENSAJE DE TEXTO A ENVIAR	113
6.8 SUBPROGRAMA IN_CONTROL (SBR11).....	118
6.9 SUBPROGRAMA OUT_CONTROL (SBR12).....	119
6.10 TRANSFERENCIA DE DATOS MEDIANTE LLAMADA GSM.....	120
6.11 LECTURA DE NIVEL DE AGUA DEL TANQUE.....	127
6.12 RUTINA DE PROGRAMACIÓN DE INTERRUPCIONES	132

CAPITULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS134

7.1 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROTOTIPO IMPLEMENTADO.....	134
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	140
7.2.1 Operación del sistema implementado	140
7.2.2 Diseño de los paneles demostradores	141

7.2.3 <i>Análisis de resultados</i>	141
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES MÁS RELEVANTES ..	143
8.1 CONCLUSIONES	143
8.2 RECOMENDACIONES	146
BIBLIOGRAFÍA	147
APÉNDICES	149
A.1 CRITERIOS DE DISEÑO CONSIDERADOS EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	149
A.2 ABREVIATURAS.....	150
A.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA SIEMENS	151
<i>A.3.1 Descripción General de Siemens</i>	151
<i>A.3.2 Siemens Costa Rica</i>	151
<i>A.3.3 Descripción del departamento de soluciones y servicios industriales</i>	152
A.4 REPORTE DETALLADO DEL MODELADO DEL TANQUE REALIZADO EN WATER CAD.....	153
A.5 DISEÑO PANEL MOSTRADOR.....	155
<i>A.6 Tecnología GSM</i>	158
<i>A.6.1 Servicio de SMS</i>	159
<i>A.7 Costo total de los dispositivos utilizados</i>	160
ANEXOS.....	161
ANEXO B.1 HOJAS DE DATOS DEL MÓDEM MC45 TERMINAL.....	161
ANEXO B.2 HOJAS DE DATOS DEL SONAR BERO.	166
<i>Anexo B.2.1 Instrucciones del Sonar Bero</i>	148

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESQUEMA DEL SISTEMA TELEMÉTRICO IMPLEMENTADO.	19
FIGURA 3.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS GRADOS HIDRÁULICO Y DE ENERGÍA [3].....	31
FIGURA 3.2 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA [3]	33
FIGURA 3.3 COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA [3]	37
FIGURA 3.4 LÍNEAS DE FLUJO EN LA ENTRADA [3]	40
FIGURA 3.5 IMAGEN DEL MÓDEM MC45 TERMINAL USADO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO [14]..	41
FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO INTERNO DEL MÓDEM TC45 [14].....	42
FIGURA 3.7 ILUSTRACIÓN DE UN MICRO PLC S7 200	43
FIGURA 3.8 COMPONENTES DE UN MICRO PLC S7 200 [12].....	43
FIGURA 3.9 CONFIGURACIÓN DEL CABLE PC/PPI EN MODO LIBRE POR EL USUARIO. [12]	45
FIGURA 3.10 ASIGNACIÓN DE PINES DE UN ADAPTADOR DE MÓDEM COMÚN [12]	47
FIGURA 3.11 CONEXIÓN SERIE CON EL EDITOR KOP [7].	49
FIGURA 3.12 CONEXIÓN PARALELO CON EL EDITOR KOP [7].	50
FIGURA 3.13 CONFIGURACION DE COMANDOS AT POR MEDIO DE HIPER TERMINAL DE WINDOWS.	54
FIGURA 3.14 ESTRUCTURA DE UN “STRING” DE COMANDO PARA UNA FUNCIÓN ESPECÍFICA.....	55
FIGURA 3.15 PROGRAMACIÓN DE COMANDOS AT DENTRO DE MEMORIA DE PROGRAMA.....	56
FIGURA 3.16 PORTADA GENERAL DEL PROGRAMA WATERCAD [4].....	58
FIGURA 5.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA.	67
FIGURA 5.2 CONEXIÓN PLC S7 200 CON MÓDEM GSM MC45 TERMINAL.	67
FIGURA 5.3 SISTEMA IMPLEMENTADO PARA REALIZAR MONITOREO Y CONTROL POR GSM.....	68
FIGURA 5.4 PLANO DE LA PLANTA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA ZONA DE CAHUITA.....	70
FIGURA 5.5 REPRESENTACIÓN DE LA PLANTA DE ABASTECIMIENTO DE LA ZONA CAHUITA.....	71
FIGURA 5.6 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA DEMANDA DE CAUDAL DE LA POBLACIÓN DE CAHUITA. 74	
FIGURA 5.7 MODELADO GRÁFICO DE LA PLANTA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CAHUITA.	75
FIGURA 5.8 DEMANDA DE CAUDAL REPRESENTADOS EN EL MODELADO MATEMÁTICO.....	76
FIGURA 5.9 GRÁFICA DEL NODO DE DEMANDA DE CAUDAL EN LITROS POR SEGUNDO	78
FIGURA 5.10 INGRESO DE VALORES EN EL MODELADO MATEMÁTICO DEL TANQUE.....	79
FIGURA 5.11 GRÁFICA DEL VOLUMEN CON RESPECTO A LA ELEVACIÓN DEL TANQUE.	80

FIGURA 5.12 COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL TANQUE EN UN DÍA SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL.	82
FIGURA 5.13 COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL TANQUE SEGÚN LA DEMANDA DE CAUDAL.	83
FIGURA 5.14 REPRESENTACIÓN DE DOS MÓDULOS PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN TANQUE DE AGUA.	84
FIGURA 5.15 PLANO DE DISPOSICIÓN DEL PANEL DEMOSTRADOR PARA LA ESTACIÓN REMOTA.....	86
FIGURA 5.16 PLANO DE DISPOSICIÓN DEL PANEL DEMOSTRADOR PARA LA ESTACIÓN CENTRAL.	87
FIGURA 5.17 DISEÑO BÁSICO DEL PROGRAMA REALIZADO EN MICRO/WIN.....	90
FIGURA 6.1 DIAGRAMA DE BLOQUES IMPLEMENTADO PARA EL PROGRAMA PRINCIPAL.	94
FIGURA 6.2 GUÍA PARA LAS DESCRIPCIONES DEL CÓDIGO Y ALGORITMOS IMPLEMENTADOS	95
FIGURA 6.3 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONFIGURACIÓN DEL PUERTO EN MODO “FREE PORT”	96
FIGURA 6.4 BLOQUE PARA LA CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN.	97
FIGURA 6.5 BLOQUE DE TRANSFERENCIA PARA ASIGNAR VALOR DE CONFIGURACIÓN DEL PUERTO. ..	98
FIGURA 6.6 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA INICIALIZACIÓN DEL MÓDEM TC45 TERMINAL.	101
FIGURA 6.7 BLOQUE PARA LA CONFIGURACIÓN E INICIALIZACIÓN DEL MÓDEM MC45.	102
FIGURA 6.8 BLOQUE PARA EL INGRESO Y VERIFICACIÓN DEL PIN EN EL MÓDEM MC45.	102
FIGURA 6.9 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONFIGURACIÓN DEL NÚMERO DE PIN.....	107
FIGURA 6.10 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LÓGICA DE PROGRAMACIÓN IMPLEMENTADA PARA EL ENVÍO DE SMS.....	109
FIGURA 6.11 SUBROUTINA PARA EL ENVÍO DE MENSAJES DE TEXTO.	110
FIGURA 6.12 SUBROUTINA PARA LA BÚSQUEDA DE MENSAJE DE TEXTO.	112
FIGURA 6.13 BLOQUE DE MEMORIA ASIGNADO PARA LA PROGRAMACIÓN DE DIEZ MENSAJES DE TEXTO.	113
FIGURA 6.14 SUBROUTINA PARA LA BÚSQUEDA DEL NÚMERO TELÉFONO AL CUAL SE DESEA LLEGUE EL MENSAJE DE TEXTO.....	114
FIGURA 6.15 PROGRAMACIÓN DE NÚMEROS TELEFÓNICOS EN MEMORIA.....	115
FIGURA 6.16 SUBROUTINA PARA EL ENVÍO DEL MENSAJE DE TEXTO.	115
FIGURA 6.17 SUBROUTINA PARA EL ENVÍO DE MENSAJE DE TEXTO DESDE EL TP 070.....	116
FIGURA 6.18 PROGRAMACIÓN DEL TP 070 PARA OPCIÓN DE UN MENÚ DE CONTROL.....	116
FIGURA 6.19 PROGRAMACIÓN EN EL TP 070 PARA LA POSIBILIDAD DE ENVIAR UN SMS A UN NÚMERO DE TELÉFONO MÓVIL DEFINIDO POR EL USUARIO.	117
FIGURA 6.20 SUBROUTINA PARA EL CONTROL DE LAS ENTRADAS DIGITALES DEL PLC S7 200.....	118

FIGURA 6.21	SUBROUTINA OUT_CONTROL PARA EL CONTROL DE LAS SALIDAS DEL S7 200.	119
FIGURA 6.22	SUBROUTINA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS VÍA GSM.	120
FIGURA 6.23	DIAGRAMA DE FLUJO PARA TRANSFERENCIA DE DATOS MEDIANTE LLAMADA GSM ...	121
FIGURA 6.24	RUTINA PARA ACTUALIZAR LA FECHA Y HORA PARA EL BLOQUE DE EMISIÓN	122
FIGURA 6.25	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA RUTINA DE CONFIGURACIÓN DE FECHA Y HORA	123
FIGURA 6.26	DIAGRAMA DE FLUJO PARA PASAR LOS DATOS DEL BLOQUE DE LECTURA DE RELOJ AL BUZÓN DE EMISIÓN.	124
FIGURA 6.27	BLOQUE DE MEMORIA PROGRAMADO PARA LA EMISIÓN DE DATOS HACIA UN RECEPTOR	125
FIGURA 6.28	SUBROUTINA ENCARGADA DE MEDIR EL NIVEL DE UN TANQUE.....	127
FIGURA 6.29	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE UN TANQUE DE AGUA.....	128
FIGURA 6.30	RELACIÓN ENTRE DISTANCIA Y FRECUENCIA DE UN SENSOR BERO 3RG6014 -3RS00 .	129
FIGURA 6.31	VALORES NECESARIOS PARA OBTENER EL NIVEL DE AGUA DE UN TANQUE CON UN SENSOR BERO	130
FIGURA 6.32	PROGRAMACIÓN GRÁFICA DEL TP 070.	131
FIGURA 6.33	VARIABLES DE ESTADO DEL TP 070.....	132
FIGURA 6.34	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA RECEPCIÓN DE CARACTERES PROVENIENTES DE UN SMS O UNA LLAMADA DE DATOS GSM.	133
FIGURA 7.1	VERIFICACIÓN DE LA TABLA DE ESTADO DE ALGUNOS DE LOS REGISTROS QUE CONTIENEN LOS COMANDOS AT DE INICIALIZACIÓN Y OPERACIÓN.	134
FIGURA 7.2	TABLA DE ESTADO DEL REGISTRO PARA EL COMANDO AT DE OPERACIÓN PARA EL ENVÍO DE UN SMS Y EL REGISTRO DEL BUZÓN DE EMISIÓN DE DATOS VÍA LLAMADA GSM.....	135
FIGURA 7.3	TABLA DE ESTADO DEL REGISTRO PARA EL COMANDO AT DE OPERACIÓN PARA EL ENVÍO DE UN SMS Y EL REGISTRO DEL BUZÓN DE EMISIÓN DE DATOS VÍA LLAMADA GSM.....	135
FIGURA 7.4	TABLA DE ESTADO DE LOS REGISTROS DEL BUZÓN DE RECEPCIÓN DE LOS DATOS TRANSMITIDOS VÍA LLAMADA GSM POR LA ESTACIÓN REMOTA.....	136
FIGURA 7.5	GRÁFICA DE LAS MEDICIONES DEL NIVEL DEL TANQUE DE CAHUITA TRANSMITIDAS VÍA GSM POR LA UNIDAD REMOTA HACIA LA UNIDAD BASE DE MONITOREO Y CONTROL.....	138
FIGURA 7.6	RECEPCIÓN DE UN MENSAJE DE TEXTO A UN CORREO ELECTRÓNICO.	138
FIGURA 7.7	MENSAJE SMS TRANSMITIDO HA UN CORREO ELECTRÓNICO.	139

INDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DEL CABLE PC/PPI [12] _____	47
TABLA 3.2 DEFINICIÓN DE PINES DE LA INTERFASE RS 232 DEL CABLE PC/PPI [12] _____	48
TABLA 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS BYTES PARA EL CONTROL PARA EL MODO FREEPORT [7] _____	52
TABLA 3.4 EJEMPLO DE INTERRUPTONES PARA PLCs S7 200 _____	53
TABLA 3.5 EJEMPLO DE ALGUNOS COMANDOS AT UTILIZADOS EN LA PROGRAMACIÓN _____	57
TABLA 5.1 FUNCIÓN ESPECÍFICA PARA COMPONENTE INTEGRADO EN EL HARDWARE DE LA SOLUCIÓN COMPLETA. _____	69
TABLA 5.2 PARÁMETROS PARA EL CABLE PC/PPI _____	70
TABLA 5.3 DEMANDA DE CAUDAL EN PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN DE CAHUITA EN LA PROVINCIA DE LIMÓN. _____	73
TABLA 5.4 VALORES DE CONSUMO DE CAUDAL EN L/SEG DEL NODO DE DEMANDA EN EL MODELADO MATEMÁTICO PARA LA PLANTA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA ZONA DE CAHUITA. _____	77
TABLA 5.5 VALORES OBTENIDOS DEL NIVEL DEL TANQUE PARA UN PERÍODO DE 24 HORAS DE ACUERDO A LA DEMANDA DE CAUDAL DE LA ZONA DE CAHUITA. _____	81
TABLA 5.6 SERVICIO PARA EL ENVÍO DE MENSAJES DE TEXTO SMS A UN TELÉFONO MÓVIL _____	88
TABLA 5.7 SERVICIO PARA EL ENVÍO DE SMS A UNA ESTACIÓN REMOTA _____	88
TABLA 5.8 ENVÍO DE SMS DE UNA ESTACIÓN REMOTA A UN CORREO ELECTRÓNICO _____	89
TABLA 5.9 SERVICIO PARA LA TRANSFERENCIA DE DATOS DE UNA ESTACIÓN REMOTA A OTRA _____	89
TABLA 6.1 FORMATO DE SMB30 PARA LA CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO EN MODO DE PUERTO LIBRE. _____	98
TABLA 6.2 COMANDOS AT ESTÁNDAR CATEGORÍA V.25TER _____	104
TABLA 6.3 COMANDOS AT PARA SERVICIO GSM 07.07 _____	104
TABLA 6.4 COMANDOS AT PARA SERVICIO GSM 07.07 _____	105
TABLA 7.1 MEDICIONES DEL BUZÓN DE RECEPCIÓN CON RESPECTO AL NIVEL DEL TANQUE DE LA ZONA DE CAHUITA LIMÓN. _____	137

Capítulo 1: Introducción

En el presente capítulo se encontrará una breve descripción de la necesidad detectada por la empresa y la solución que se planteó para resolverla.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Una de las principales preocupaciones por parte de Siemens¹ Costa Rica para los sistemas telemáticos es que para competir en el mercado, sea cual sea el producto acabado, es necesario contar con el acceso adecuado a sistemas tecnológicos confiables y eficientes que logren un mayor incremento y rendimiento en el nivel productivo. Estos sistemas o soluciones deben adaptarse a las tecnologías novedosas de punta que ofrece el mercado.

En cuanto a la oferta y demanda de servicios Siemens es una compañía que se caracteriza por la innovación de sus productos, razón por la cual nace la idea de este proyecto, el deseo de Siemens Costa Rica de introducir en el mercado nacional una nueva alternativa para el manejo y control de información de los sistemas telemáticos haciendo uso de lo último en tecnología, tecnología que a su vez haya sido implementada en el país. Lo que se busca con esto, es participar en los procesos de licitación con una nueva oferta en el mercado que a su vez logre una mayor demanda en cuanto a servicios de instalación, soporte y mantenimiento para el usuario.

Debido a esto, la problemática existente es la carencia de ofertas y servicios de nuevas y mejores tecnologías y con inversiones menos costosas por parte de Siemens en la implementación de sistemas automáticos por telemetría.

Siemens mediante su alianza con MC Technologies cuenta con módems de tecnología GSM que le brinda un enlace a los PLC de la serie S7 200 con la red GSM del país, permitiendo así un monitoreo y control desde una ubicación remota siempre y cuando exista cobertura GSM en el lugar de prueba. Este módulo adaptable es conocido por su modelo como MC45 terminal. A fin de tener un producto novedoso y confiable al mercado nacional

¹ Ver Apéndice A2.2

se hizo necesario probarlo primero para tener un respaldo de soporte en la empresa. El cliente espera con toda razón que la empresa les pueda brindar soporte a los equipos que vende.

Para ello, tomando como ejemplo el tanque de abastecimiento de agua potable del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados para la zona de Cahuita se implementó un prototipo para el monitoreo y control continuo del nivel del tanque mediante el uso de la tecnología GSM como medio innovador en cuanto a sistemas telemétricos se refiere. Esto se debe principalmente a que el monitoreo y control de tanques de forma inalámbrica es una de las aplicaciones más usuales para este tipo de servicios y a que la comunicación a través de los mensajes de texto SMS² y de llamada de datos GSM es la mejor manera de comunicar un volumen de información pequeño permitiendo su almacenamiento en memoria haciendo constancia de él, sobre todo cuando el enlace por radio frecuencia no es una solución viable o económicamente rentable.

De tener resuelto el problema se podrían destacar los siguientes beneficios:

- 1- Mayor competitividad en el área de la comunicación entre PLC's gracias a que la serie de PLC's de la serie 200 dispondrá de capacidad de intercambiar información con la red GSM para el monitoreo y control continuo de los procesos industriales.
- 2- Incremento en las ventas de productos SIMATIC S7-200 por el hecho de que se le ofrece al cliente mayores posibilidades de solución para sus necesidades.
- 3- Se dará a conocer el funcionamiento de los nuevos equipos a los ingenieros del departamento de programación y mantenimiento de sistemas (I & S) lo que permitirá brindar un correcto soporte a los productos vendidos.
- 4- Fortalecimiento de la imagen de empresa de tecnología de punta al ofrecer al mercado nacional productos novedosos y de gran funcionalidad.

² SMS: Short Message Service.

- 5- Desarrollar una aplicación real vía GSM que sirva de herramienta técnica de ejemplo a los Ingenieros encargados de brindar soluciones y mantenimientos a los equipos en el campo.
- 6- Promover la implementación de dispositivos integradores de la red GSM con los procesos industriales.

Se hace notar dentro de la problemática el alto interés que presenta el asesor de la empresa en el ámbito de los negocios. Dado que su puesto de ingeniero promotor va altamente encaminado a la venta de equipo de automatización para el área Centroamericana. Esta aclaración contribuye para hacer notar que independientemente de que el área de los negocios no está directamente asociada a la carrera de Ingeniería Electrónica como tal, se debe tomar en cuenta que es una realidad de la mayoría de las empresas el enfocarse ha que los productos electrónicos sean vendidos y que brinden la solución esperada por el cliente, teniendo como meta el incremento de las utilidades y la subsistencia de la empresa en un mundo globalizado que exige alto rendimiento de sus ventas.

1.2 Solución seleccionada

Cuando la empresa planteó las características básicas del proyecto, se plasmó el deseo de realizar un sistema prototipo compacto que permita mostrar las funciones más comúnmente empleadas en enlaces GSM haciendo uso de controladores lógicos de la familia S7 200 mediante la visualización de sus estados en una pantalla gráfica TP 070.

La segunda observación por parte de la empresa fue la de implementar este prototipo en una aplicación real para servir como demostración del sistema (ver esquema de la figura 1.1). Para lograr esto se construyeron dos módulos, uno de los módulos tiene como función principal monitorear la información que genera el segundo módulo que simula una planta

remota de control. Ambos módulos se implementaron utilizando PLC³ de la familia S7 200 de Siemens los cuales se comunican por puerto serie con módems MC45 de tecnología GSM con doble banda de frecuencia (900Mhz y 1800Mhz) fabricados por la empresa MC-Technologies.

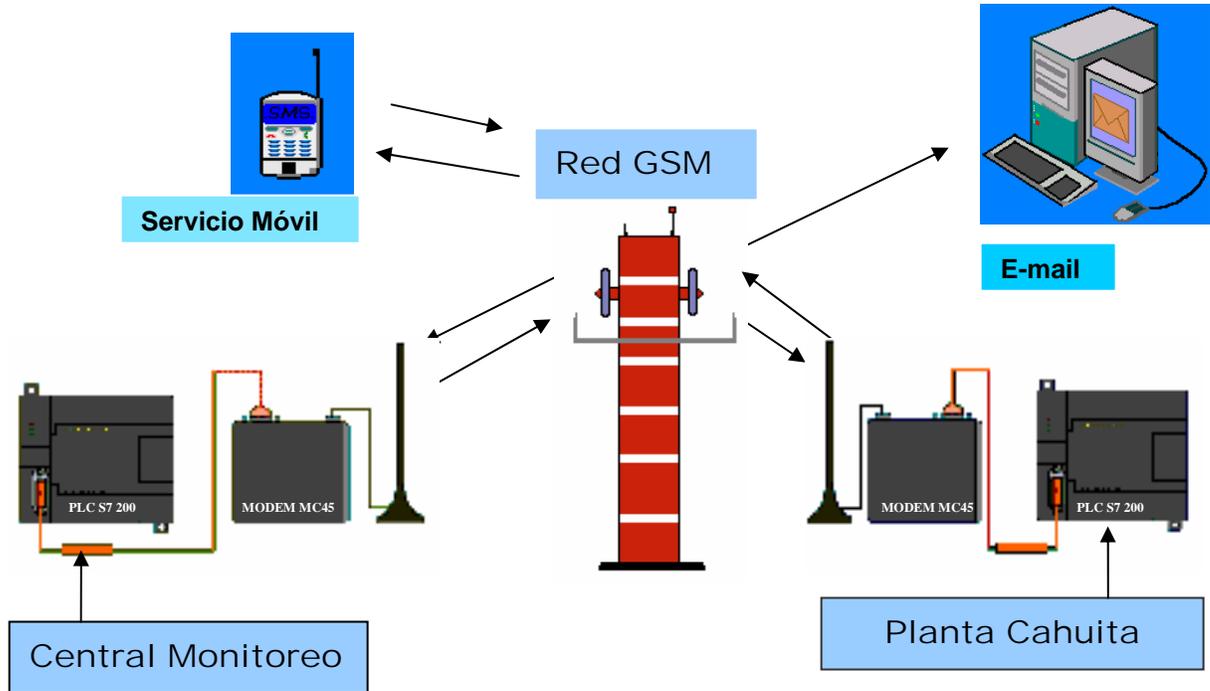


Figura 1.1 Esquema del sistema telemétrico implementado.

Los dos sistemas de control implementados sirven de demostración para el control y monitoreo de un tanque o estación remota (modelado de acuerdo al tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita) hacia una base o estación central. La estación remota transmite mediciones tomadas por un sensor de nivel a través de la red GSM mediante un enlace de llamada de datos vía GSM la cual es recibida por la estación central, esta se encarga de interpretar la información recibida y a la vez finaliza el enlace cuando esta sabe que ha recibido todos los datos necesarios.

Cabe destacar también que tanto la estación remota como la central cuentan con la capacidad de envío de mensajes de texto a teléfonos móviles o correos electrónicos

³ PLC: Programable Logic Control.

previamente programados de acuerdo a un evento o alarma específico y a la vez tienen la capacidad de recibir SMS que pueden ser interpretarlos como una acción o comando.

Otro aspecto a recalcar del segundo módulo es que también puede enviar SMS a teléfonos móviles según lo desee el usuario utilizando una pantalla TP 070 de Siemens mediante la cual puede digitar el número al cual enviar el mensaje de texto almacenado en memoria del PLC S7 200.

La componente de diseño de este proyecto se centra principalmente en la parte de software, mediante el desarrollo de algoritmos y pseudo códigos de programación, los cuales permitieron la elaboración de un programa estructurado en diferentes librerías (utilizando el software de programación Micro Win Step 7 versión 4.0 de Siemens específico para los PLC S7 200) de acuerdo a funciones específicas de trabajo así como el desarrollo del modelo de control del tanque de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita (utilizando el software de programación Water Cad de Heastad Methods). En cuanto a la parte de hardware, el trabajo realizado fue específicamente de integración de sistemas para la comunicación entre los diversos dispositivos que conforman al prototipo desarrollado. Cabe señalar también el diseño realizado para la elaboración de los módulos demostrativos sobre los cuales se montaron los componentes involucrados en la solución del problema.

La empresa propuso que los objetivos alcanzados fueran expuestos en una presentación tanto a los interesados dentro de la empresa como ante alguno de sus clientes para darles a conocer las fortalezas de los productos que componen el sistema.

Para la solución planteada de enlace mediante PLCs de la serie S7 200 no se había probado oficialmente que fuera posible el funcionamiento sobre la red GSM del país para lograr transferencias de datos mediante llamadas GSM y por SMS.

Una vez probado el programa maestro desarrollado mediante el software Step 7 MicroWin, se comprobó la viabilidad del empleo de PLCs de la familia S7 200 para enlaces

en la red GSM. Por lo tanto se hacía necesario probar las principales funciones soportadas, y con base en esto, diseñar los procedimientos para la aplicación del prototipo conjunto.

La implementación de la tecnología GSM con mejores servicios y oferta para los procesos industriales de control y monitoreo automáticos telemétricos, logrará a mediano plazo sin la menor duda un crecimiento acelerado del uso de estas tecnologías para transmitir datos inalámbricamente. Con lo cual no sólo se logrará un mayor desarrollo tecnológico en los sistemas de automatización sino que también permitirá un mayor desarrollo de la red de comunicación GSM, lo cual permitirá un sistema de comunicación mucho más confiable y eficiente, y con mucho más opciones y facilidades que las actuales.

Es importante señalar finalmente el aporte que tiene este proyecto no sólo para el ámbito industrial o para la empresa Siemens, si no también para el campo de la ingeniería electrónica, enfocado específicamente para la rama de control y de de las comunicaciones eléctricas ya que el futuro de los servicios telemétricos en Costa Rica estará inspirado en las tecnologías modernas como lo es el GSM, lo cual traerá consigo la necesidad e interés de aprender y trabajar cada vez más en relación al tema y así ofrecer nuevas y mejores soluciones a los problemas actuales y futuros que finalmente se traduce en desarrollo tecnológico.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Este proyecto tiene como meta principal lanzar al mercado nacional un nuevo producto y servicio por parte de Siemens Costa Rica para los sistemas de control y monitoreo por telemetría de los tanques de abastecimiento de agua del AyA, brindando una nueva alternativa ante la carencia de oferta de mejores tecnologías y sistemas menos costosos.

2.2 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo para el monitoreo y control por telemetría en tiempo real de los procesos industriales, mediante la integración de tecnología de punta como lo es la tecnología de comunicación inalámbrica móvil GSM, aplicándolo como demostración en la medición del nivel del tanque de abastecimiento de agua del Instituto de Acueductos y Alcantarillados para la zona de Cahuita.

2.3 Objetivos Específicos

1. Implementar por Hardware la comunicación de un PLC de la serie S7 200 de Siemens con un módem MC45 terminal de tecnología GSM para la transferencia inalámbrica de los datos del nivel del tanque de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita hacia una estación remota.
2. Implementar el protocolo de comunicación “puerto libre” del PLC de la familia S7 200 de Siemens de manera que se pueda establecer una comunicación serie entre el módem MC45 terminal y el PLC S7 200.
3. Diseñar un algoritmo que permita realizar la transferencia de parámetros y comandos AT de inicialización y trabajo por parte de un PLC de la familia S7 200 de Siemens a un MODEM GSM MC45 terminal mediante el protocolo de comunicación “puerto libre” implementado.
4. Diseñar un algoritmo que permita a cualquier PLC de la familia S7 200 de Siemens recibir la respuesta del MODEM GSM MC45 terminal cuando este interpreta y lee los parámetros y comandos enviados por el PLC.
5. Diseñar un algoritmo de solicitud, control y operación para el envío de SMS hacia un sistema móvil GSM o TDM así como de enlaces punto a punto GSM.
6. Diseñar un algoritmo para un PLC de la serie S7 200 que permita la comunicación punto a punto entre módems MC45 terminal por medio de una llamada GSM con la cual se puedan lograr transferencias de datos seriales en forma bilateral.
7. Implementar las rutinas de inicialización y operación del módem MC45 terminal con un sistema que permita optimizar el tiempo trabajo del software diseñado para la ejecución de las operaciones.

8. Modelar y analizar el tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita mediante el uso del programa Warercat⁴ del AyA, para obtener las curvas de caudal versus nivel según la demanda por hora de esa población.
9. Diseñar las rutinas necesarias para medir el nivel de un tanque de agua de altura máxima de seis metros del AyA para la zona de Cahuita utilizando la comunicación inalámbrica por medio de SMS y transferencias de datos punto a punto a 9.6 Kbytes utilizando un PLC de la familia S7 200, un módem MC45 terminal, una pantalla TP 070 para el monitoreo visual y un sonar Bero 3RG6014 - 3RS00 de Siemens para el sensado de nivel.
10. Implementar un programa para el TP 070 de manera que se logre enviar un SMS previamente programado a cualquier teléfono móvil según lo desee el usuario.
11. Obtener las curvas de caudal versus nivel según la demanda por hora de la población de Cahuita según los datos de información emitidos y recibidos por el prototipo GSM.
12. Analizar mediante la incorporación del prototipo de GSM las variaciones en el nivel del tanque de agua del A y A de la zona de Cahuita de acuerdo a la demanda de caudal por horas.

⁴ WaterCat: Software para la modelación de distribución de aguas utilizado por el AyA.

2.4 Objetivos de implementación

1. Diseñar dos paneles de exhibición para lograr la transferencia de datos vía GSM por medio de SMS y transferencias de datos punto a punto a 9.6 Kbytes del estado de nivel de un tanque de agua de altura máxima de cinco metros para la zona de Cahuita, de manera que se pueda obtener la relación existente entre el nivel del tanque con respecto al consumo de agua por parte de la población en estudio en un período de 24 horas. Uno de los paneles será utilizado como estación central para realizar el monitoreo remoto y el otro como estación remota para general la información sobre el nivel del tanque que es enviada hacia la estación central.
2. Implementar de acuerdo al punto anterior PLC de la familia S7 200 con módems MC45 terminal apar la transferencia de datos, una pantalla TP 070 para el monitoreo visual y un sonar Bero 3RG6014 - 3RS00 de Siemens para el sensado de nivel del tanque.

2.5 Objetivos de documentación

1. Realizar un informe detallado y conciso de todas las consideraciones que se llevaron a cabo para la elaboración del prototipo de comunicación GSM.
2. Documentar el programa realizado en Micro Win step7 que logra la integración de de los PLC S7 200 de Siemens con los módems GSM MC45 terminal para la utilización de los servicios de GSM.

Capítulo 3: Marco teórico

En este capítulo se explican y mencionan los principales temas investigados con los cuales se pudo tener una idea clara sobre las dimensiones reales del proyecto, así como el panorama necesario con el cual se pudo dar solución a los objetivos tanto general como específicos planteados en el capítulo 2.

3.1 Marco de referencia general del proyecto

La industria costarricense ha ido incorporando en sus sistemas de producción nuevas y mejores tecnologías que le han permitido una serie de facilidades y oportunidades con las cuales antes no se podía contar.

La llegada del GSM (segunda generación) en las telecomunicaciones ha sido sin duda uno de los principales logros en los últimos años por parte del ICE⁵ debido a las múltiples ventajas y servicios con las que se puede contar para teléfonos móviles.

Con la venida al país de esta nueva tecnología el usuario final ha aumentado su interés y preocupación por conocer y utilizar los beneficios que le ofrece el GSM en cuanto a servicio celular se refiere, como por ejemplo: el envío de mensajes de texto, acceso a Internet utilizando el servicio de GPRS⁶, envío de SMS a e-mail, envío de archivos que soportan videos, imágenes y datos entre otros.

Aun así, no se ha dado un aprovechamiento real de las bondades que ofrece el GSM enfocado específicamente a procesos industriales y residenciales. Para aplicar el GSM en el marco industrial es importante considerar primeramente la problemática real de los procesos industriales de fabricación y control remotos.

En todos los procesos industriales se pueden originar en ocasiones imprevisibles, situaciones de alarma debido a un fallo en cualquiera de los sistemas con los que cuenta el proceso. Estos fallos pueden provocar situaciones peligrosas para los trabajadores del

⁵ ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

⁶ GPRS: General Packet Radio Services.

proceso, una parada en la producción o un mal funcionamiento del sistema dependiendo de la gravedad del mismo. En cualquier caso puede repercutir en unos costes, que se pueden incrementar si no se soluciona el problema en el menor tiempo posible.

En consecuencia es de vital importancia la pronta actuación en este tipo de situaciones. La única forma de luchar contra estas situaciones es la información. Cuanto antes se conozca el problema y su naturaleza, es decir se obtenga información, antes se solucionará, reduciendo los citados costes.

Para solucionar este problema se necesita monitorear de forma constante el proceso industrial en todas sus etapas y cada uno de sus sistemas, o al menos los más importantes.

La información de la planta se obtiene a través de las variables analógicas y digitales que nos proporciona el sistema de sensores. Esta información expresada en soporte eléctrico, debe ser comunicada de manera comprensible al sistema automático que controla los actuadores o al personal de la planta para que actúe en consecuencia.

En Costa Rica para obtener la máxima información sobre el proceso industrial de la manera más eficiente, se ha incurrido en la incorporación de sistemas Scada, los cuales permiten una interfaz gráfica con el proceso industrial a través del sistema de sensores o a través del sistema automático que esté implantado.

La situación es que con la implantación de estos elementos se tiene solucionada una parte del problema, pero sigue estando sin cubrir la necesidad de comunicar de manera inmediata, o en el menor tiempo posible, los errores del sistema de producción. Es necesario combinar este elemento indispensable con algo que sirva para establecer una vía de comunicación directa cuando se produzca la alarma en la planta. La vía de comunicación que se necesita establecer deberá de ser instantánea, debido a los requerimientos anteriormente expuestos y de fácil acceso.

Para la elaboración de este proyecto el interés del medio telemétrico se basó en las comunicaciones vía GSM debido a que el tanque de agua de AyA que se desea monitorear presenta dificultades de enlaces por medio de radio frecuencia según el estudio de ondas propagación realizado por el AyA el 28 de julio del 2000 (ver apéndice A.5), mientras que por GSM no se presenta ninguna dificultad porque el lugar presenta cobertura GSM.

La información de la planta de abastecimiento de agua es obtenida por el PLC S7 200 de Siemens a través de las variables digitales que proporciona el Sonar Bero3RG6014 - 3RS00. Esta información obtenida en unidades de frecuencia es interpretada y traducida en unidades de metros por el PLC para ser transferida de forma inalámbrica utilizando la tecnología GSM a una velocidad de 9.6 Kbytes por segundo hacia otro sistema automático el cual controla y monitorea la planta de Cahuita.

3.2 Principios físicos y electrónicos

3.2.1 Principios físicos considerados para el modelado del Sistema⁷

En la práctica una red de tuberías no está constituida únicamente por tuberías, sino también por diversos componentes y servicios como por ejemplo: tanques de almacenamiento y reserva, válvulas reguladoras, bombas de agua, controles electrónicos y mecánicos. Para el modelado de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita se deben comprender primeramente el funcionamiento de los elementos que integran al sistema específico, los cuales se citan a continuación:

- **Tuberías:** son las que transportan el agua de una localidad o nodo a otro
- **Conectores/Nodos:** son puntos de comunicación del sistema que indican la derivación entre tuberías, los cuales permiten conocer el estado de un evento específico.
- **Pozos y tanques:** Forman la base o constitución del sistema hidráulico, usados para determinar la condición de todos los otros nodos durante la operación normal del sistema.
- **Bombas:** Su propósito es la proveer energía al sistema y mantener una determinada presión de agua.
- **Válvulas:** Son dispositivos mecánicos usados para cortar o regular el control de flujo y presión sobre una tubería. Esto da como resultado una pérdida de energía en el sistema.

Para el modelado de la planta de agua de Cahuita se utilizó el programa WaterCad el cual se describe con mayor de detalle en el apartado de Software del presente capítulo, este

⁷ Bibliografía consultada:

Haestad Methods. Water Cad V6 “**Water Distribution Modeling Software**”.Haestad methods, Inc. Waterbury USA, 2002-
Cesario, A. Lee. **Modeling, Analysis, and Design of water Distribution Systems**, AWWA, 1995.

Essential Hydraulics and Hydrology, Waterbury, Connecticut, Haestad Methods, 2000.

Roberson, John A. And Clayton T. Crowe, **Engineering Fluid Mechanics**. 4 th Edición,. Houghton Mifflin Company, Massachusetts, 1990.

software utiliza el método de gradiente algorítmica para dar solución a las distribuciones de fluidos y grados hidráulicos.

Cuando se analiza un evento o condición sobre un punto en el sistema, se puede producir un efecto sobre todas las partes del mismo. Esto debido a dos principios fundamentales: la conservación de la masa y la energía y el principio de la energía.

La primera ley de la termodinámica utilizada para cualquier sistema dice que el cambio de energía es igual a la relación entre la transferencia de calor en el sistema y el trabajo realizado por el sistema dado en un intervalo de tiempo definido.

El principio anterior representa el total de las energías del sistema menos la suma de las energías potencial, cinética e interna (molecular), así como la energía eléctrica. Los cambios de la energía interna son comúnmente son despreciados en los análisis de distribución de agua debido a sus magnitudes son relativamente pequeñas.

En las aplicaciones hidráulicas, la energía es también representada como energía por unidad de peso, dando como resultado unidades de longitud. Estas equivalencias de longitud dan a los ingenieros una manera mejor para evaluar el comportamiento de los sistemas. Cuando se usan estas equivalencias, el estado de los sistemas es expresado en términos de referencia. La energía en cualquier punto de un sistema hidráulico es también representada en tres partes:

Presión de referencia: p/g

Elevación de referencia: z

Velocidad de referencia: $V^2/2g$

Donde:

p = Presión (N/m^2 , $lb./ft.^2$)

g = Peso específico (N/m^3 , $lb./ft.^3$)

z = Elevación (m, ft.)

V = Velocidad (m/s, ft./sec.)

g = Constante de aceleración gravitacional (m/s^2 , $ft./sec.^2$)

Adicionalmente a estas variables, existen muchas otras referencias que se suman a los sistemas, como por ejemplo la fricción. Estos cambios son expresados en ganancias o pérdidas respectivamente.

Balanceando la energía de cruce entre dos puntos en el sistema, se puede obtener la siguiente ecuación:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_p = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (3.1)$$

Donde: p = presión (N/m²)

γ = peso específico

V = velocidad (m/s²)

g = constante gravitacional

h_p = constante para ganancia de una bomba (m)

h_L = pérdidas asociadas.

Las componentes en la ecuación de energía pueden ser combinadas para expresar dos cantidades muy útiles, las cuales son: el grado hidráulico y el grado de energía.

Los grados de energía e hidráulica incluyen:

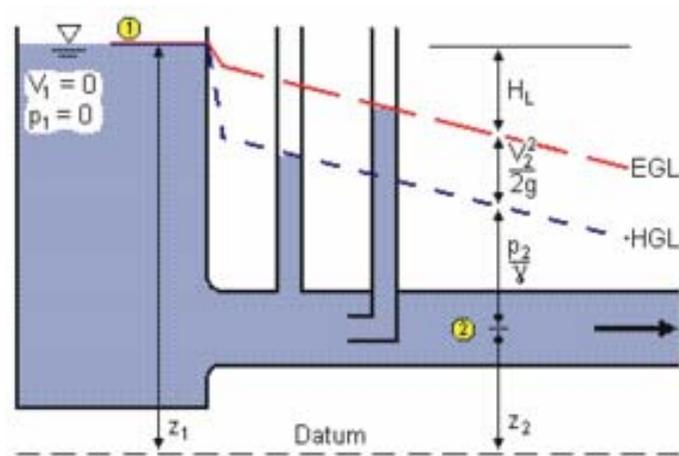


Figura 3.1 Representación gráfica de los grados hidráulico y de energía [3]

El grado hidráulico es la suma de la presión de referencia (p/g) y la elevación de referencia (z). El factor hidráulico representa la altura en la cual una columna de agua puede aumentar en un metro.

El grado de energía es la suma de el grado hidráulico y la velocidad de referencia ($V^2/2g$). Esta es la altura en la cual una columna de agua puede aumentar en un tubo de transferencia de agua.

3.2.1.1 Conservación de la masa y la energía:

Para cualquier nodo en un sistema para líquidos, el volumen total o masa que fluye debe ser igual al flujo de salida, menos el cambio de almacenaje. Estos se separan en flujos de conexión de tubería, demanda, y almacenaje, con lo cual se puede obtener la siguiente relación matemática:

$$\sum Q_{IN} \Delta t = \sum Q_{OUT} \Delta t + \Delta V_s \quad (3.2)$$

Donde:

Q_{IN} = Flujo total en el nodo (m^3/s , cfs)

Q_{OUT} = Demanda total en el nodo (m^3/s , cfs)

ΔV_s = Cambio de volumen de almacenaje (m^3 , $ft.^3$)

Δt = Cambio en el tiempo (s)

El principio de conservación de la energía dice que las pérdidas producidas en un sistema debe ser balanceado para cada punto. Para los sistemas de presión, esto significa que el total de pérdidas producidas entre cualquier par de nodos en un sistema debe tener la misma relación. Las pérdidas deben ser consistentes asumiendo una determinada dirección, como se puede notar en la figura 3.3.

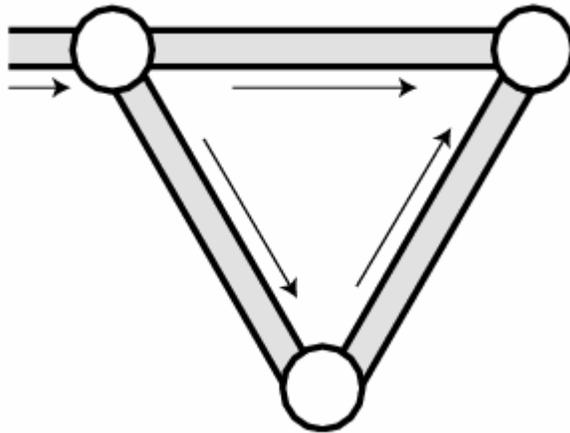


Figura 3.2 Conservación de la energía [3]

El mismo principio puede ser aplicado para cualquier parte entre dos puntos del sistema. Como se muestra en la figura 3.3, la combinación de las pérdidas alrededor de un lazo debe ser igual a cero, para alcanzar el mismo grado hidráulico.

Los algoritmos matemáticos utilizados para la solución de sistemas de tuberías están formulados sobre un gran conjunto de sistemas de ecuaciones que modelan todas las características del sistema diseñado o elaborado. Los métodos teóricos utilizados en WaterCad garantizan de manera segura y confiable que la respuesta y modelado matemáticos obtenidos serán los mismos que si se utilizara cualquier método conocido para el análisis de sistemas.

Existen una serie de ventajas que el método de WaterCad tiene sobre otros algoritmos para la solución de sistemas de redes de distribución de aguas, como por ejemplo:

- Este método puede ser resuelto directamente sea de una rama o nodo en el sistema.
- El método utilizado es numéricamente estable en momentos donde el sistema se puede volver discontinuo como por ejemplo escape o fugas en válvulas, válvulas que regulan presión, o modelos con error.
- La estructura del sistema generado de acuerdo a las ecuaciones utilizadas permiten un uso extremadamente rápido y confiable de una solución matricial.

3.2.2 Principios Matemáticos para el modelado del Sistema⁸

La derivación de los algoritmos comienza con dos matrices y terminan como un trabajo sobre un sistema de ecuaciones, como se muestra a continuación.

Dado una red o malla definida por N nodos desconocidos, P enlaces de flujo desconocidos, y B arreglos de nodos, la topología de la red puede ser expresada en dos tipos de matrices:

$$A_{12} = A_{21}^T \text{ (P x N) Nodos desconocidos} \quad (3.3)$$

y

$$A_{10} = A_{01}^T \text{ (P x B) Arreglo de nodos} \quad (3.4)$$

La siguiente convención es usada para asignar los valores de matriz:

$$A_{12}^{(i,j)} = 1, 0, \text{ or } -1 \text{ (PxN)Nodos desconocidos que inciden en la matriz} \quad (3.5)$$

La demanda de nodos asignada está expresado por:

$$q^T = [q_1, q_2, \dots, q_N] \text{ (1 x N) Vector de demanda de nodo} \quad (3.6)$$

Los nodos fijos del vector se expresan por:

$$H_f^T = [H_{f1}, H_{f2}, \dots, H_{fB}] \text{ (1 x B) Vector de nodos fijos} \quad (3.7)$$

Las pérdidas o ganancias se expresan en la siguiente matriz:

$$F^T(Q) = [f_1, f_2, \dots, f_p] \text{ (1 x P) relación no lineal de las pérdidas en la red} \quad (3.8)$$

El flujo desconocido en el sistema en la red se representa por:

$$Q^T = [Q_1, Q_2, \dots, Q_p] \text{ (1 x P) Vector de flujo en la red} \quad (3.9)$$

Los nodos indefinidos se expresan por:

⁸ IDEM

$$H^T = [H_1, H_2 \dots, H_N] \text{ (1 x N) vector de nodos indefinidos} \quad (3.10)$$

Esta topología de matrices se puede resumir en una expresión generalizada usando las leyes de la conservación de la masa y la energía.

$$A_{12}H + F(Q) = -A_{10}H_f \quad (3.11)$$

Una segunda matriz diagonal implementa los cambios vectorizados de los coeficientes introducidos. Esto se expresa según la ecuación de Hazen-williams sobre las pérdidas por fricción:

$$A_{11} = \begin{bmatrix} R_1|Q_1|^{n_1-1} & & & & \\ & R_2|Q_2|^{n_2-1} & & & \\ & & \dots & & \\ & & & \dots & \\ & & & & R_P|Q_P|^{n_P-1} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

La siguiente matriz expresa el mayor rendimiento para conseguir la mejor respuesta en el sistema:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_f \\ q \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Para resolver los sistemas basados en ecuaciones no lineales se utiliza el método de Newton-Raphson el cual puede ser obtenido por las diferencias entre ambos lados de la ecuación con respecto a Q y a h, para así obtener:

$$\begin{bmatrix} NA_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dQ \\ dH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -dE \\ dq \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Con

$$N = \begin{bmatrix} n_1 & & & \\ & n_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & n_P \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

La forma recursiva final de acuerdo al algoritmo de Newton-Raphson puede ser obtenido ahora fácilmente derivando de la inversión de la matriz y siguiendo una serie de

manipulaciones y sustituciones algebraicas. El trabajo final del sistema de ecuaciones para cada solución, k , está dado por:

$$H^{K+1} = -\left(A_{21}N^{-1}A_{11}^{-1}A_{12}\right)^{-1}\left\{A_{21}N^{-1}\left(Q^K + A_{11}^{-1}A_{10}H_f\right) + \left(q - A_{21}Q^K\right)\right\} \quad (3.16)$$

3.2.2.1 Solución para Sistemas de ecuaciones lineales

El método del gradiente conjugado es un método que en teoría converge a una solución exacta en un limitado número de pasos. Trabajando en la ecuación el gradiente puede ser expresado por las ecuaciones de presión en la red del sistema como:

$$A \cdot x = b \quad (3.17)$$

donde:

$$x = H^{K+1} \quad (3.18)$$

$$b = \left\{A_{21}N^{-1}\left(Q^K + A_{11}^{-1}A_{10}H_f\right) + \left(q - A_{21}Q^K\right)\right\} \quad (3.19)$$

La estructura de la matriz A del sistema hacia el punto de solución es:

$$A = A_{21}\left(NA_{11}\right)^{-1}A_{12} = A_{21}DA_{12} \quad (3.20)$$

Como el sistema es positivo y definido, utilizando la factorización de Cholesky el sistema se puede reducir a:

$$A = LL^T \quad (3.21)$$

Donde L es una triangular inferior de elementos positivos en diagonal. Haciendo la factorización de Cholesky permite que el sistema pueda resolverse en dos pasos:

$$y = L^{-1}b \quad (3.22)$$

$$x = \left(L^T\right)^{-1}y \quad (3.23)$$

3.2.3 Componentes a considerar en el modelado del Sistema

3.2.3.1 Teoría sobre Bombas

Las bombas implican energía o ganancia. Una bomba está definida por su curva característica, esta curva es indicativa de la habilidad de la bomba de lograr fluir agua en el sistema. La conducta del modelo del sistema de bombas necesita una información adicional para lograr diferenciar el punto actual de trabajo en el cual la bomba puede estar operando.

El punto de operación del sistema está basado sobre el punto en el cual la curva de la bomba cruza la curva del sistema que representa el aumento estático así como las pérdidas producidas por la fricción y otras pérdidas menores. Cuando las curvas están superpuestas, el punto de operación puede obtenerse fácilmente. Esto se muestra en la figura 3.4:

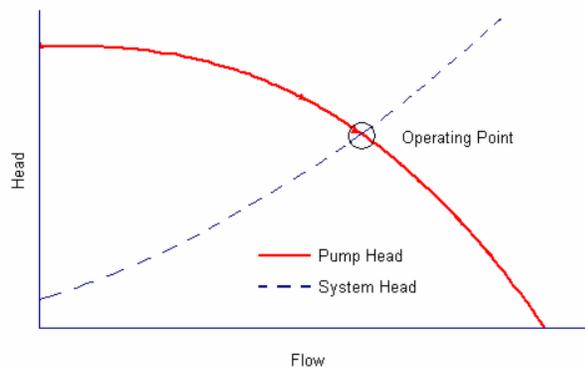


Figura 3.3 Comportamiento de la curva de operación de una bomba [3]

3.2.3.2 Teoría de Válvulas

Pérdidas por fricción: las pérdidas producidas por fricción en las válvulas incluyen los siguientes métodos:

- Ecuación de Chezy: es usada raramente

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot S} \quad (3.24)$$

Donde: Q = Descarga en la sección (m^3/s , cfs)

C = Coeficiente de aspereza de Chezy ($m^{1/2}/s$, $ft.^{1/2}/sec.$)

A = Area de flujo (m^2 , $ft.^2$)

R = Radio Hidráulico (m, ft.)

S = Pendiente de fricción (m/m, ft./ft.)

- Ecuación de Colebrook- White: es usada para calcular el factor de fricción del sistema

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3.25)$$

donde: f = Factor de fricción

k = Aspereza de Darcy-Weisbach (m, ft.)

Re = Número de Reynolds

R = Radio hidráulico (m, ft.)

D = Diámetro de la tubería (m, ft.)

- Ecuación de Hazen – Williams: usado frecuentemente en el análisis de los sistemas de presión de las tuberías.

$$Q = K \cdot C \cdot A \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \quad (3.26)$$

donde: Q = Descarga en la sección (m³/s, cfs)

C = Coeficiente de aspereza Hazen-Williams

A = Area de flujo (m², ft.²)

R = Radio hidráulico (m, ft.)

S = Pendiente de fricción (m/m, ft./ft.)

k = Constante (0.85 para sist. SI, 1.32 para US)

- Ecuación de Darcy – Weisbach: es la más utilizada en la ingeniería para calcular las pérdidas de fricción en el sistema, la cual toma la siguiente forma

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.27)$$

Donde: h_L = Pérdidas de presión(m, ft.)

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach

D = Diámetro de la tubería (m, ft.)

L = Largo de la tubería (m, ft.)

V = Velocidad de flujo (m/s, ft./sec.)

g = Constante de aceleración gravitacional (m/s², ft./sec.²)

- Ecuación de Jain: se utiliza para calcular el factor de fricción

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3.28)$$

donde: f = Factor de fricción

e = Aspereza (m, ft.)

D = Diámetro de la tubería (m, ft.)

R_e = Número de Reynoulds

3.2.3.3 Pequeñas pérdidas

Las pequeñas pérdidas en las tuberías de presión son causa de áreas localizadas en las que existe turbulencia lo cual produce caída de energía, como lo representa la figura 3.26.

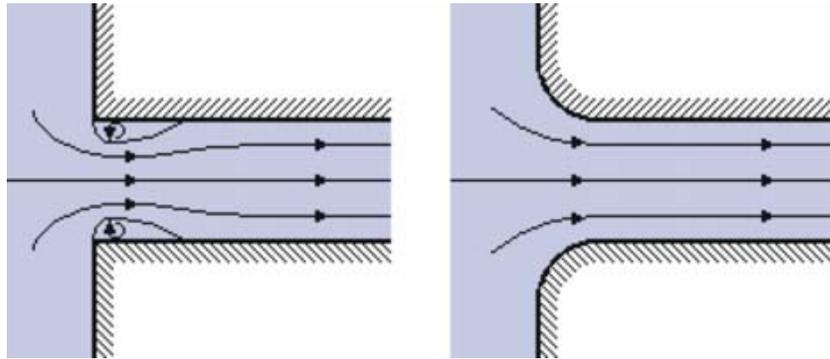


Figura 3.4 Líneas de flujo en la entrada [3]

La ecuación más utilizada para determinar estas pérdidas está determinada por:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (3.29)$$

donde: h_m = pérdidas (m, ft.)

K = Coeficiente de pérdidas para un elemento específico

V = Velocidad (m/s, ft./sec.)

g = Constante de aceleración gravitacional (m/s², ft./sec.²)

3.3 Descripción general de los dispositivos más relevantes

3.3.1 Módem MC45 terminal⁹

El módem MC45 terminal (ver figura 3.7) posee una tecnología GSM/GPRS de tres bandas que trabaja sobre tres bandas de frecuencia GSM 900 Mhz, GSM 1800 Mhz y GSM 1900 Mhz.



Figura 3.5 Fotografía del Módem MC45 Terminal usado para el diseño del prototipo [14]

El módulo MC45 incorpora todos los requerimientos para lograr un alto desempeño en soluciones de GSM/GPRS (ver figura 3.4) como por ejemplo: microprocesador de 8 bits con velocidad 26 Mhz, alimentación ASIC la cual permite un consumo mínimo de 3mA, circuito completo de radiofrecuencia el cual incluye un amplificador de poder y la interfase para antena.

⁹ Tomado de las hojas de datos de hardware del Módem TC45 terminal.

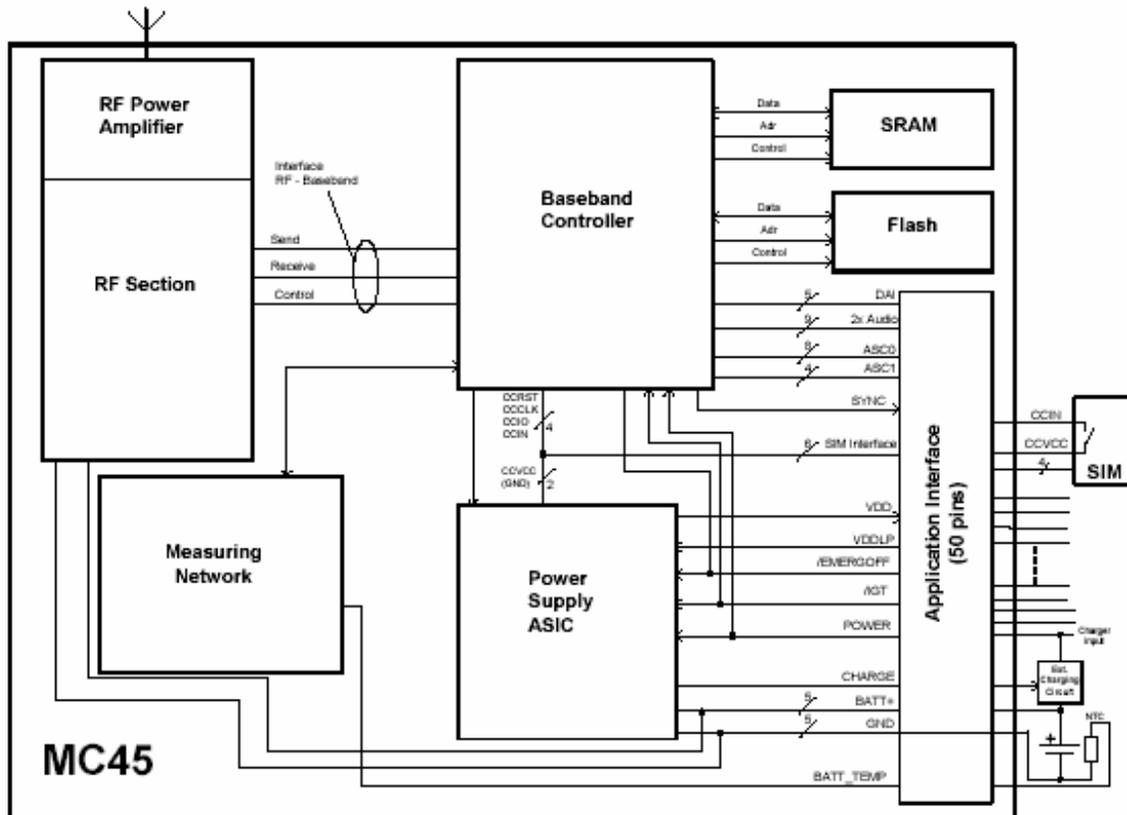


Figura 3.6 Diagrama de bloques del circuito interno del módem TC45 [14]

El software del MC45 reside en memoria flash. También contiene memoria adicional SRAM para lograr suplir todos los requerimientos que exija la conectividad GPRS.

El modem TC45 ofrece una interfase para puerto serial, lo cual facilita al máximo la integración con el concepto “Máquina-Hombre” (MMI). La Unidad Remota necesita ciertos parámetros de configuración para que su funcionamiento sea correcto y realice las alarmas precisas. Los comandos de configuración llevan asociado una respuesta de confirmación hacia el terminal que envía dichos comandos.

3.3.2 Controladores lógicos programables (PLC) S7 200

La gama S7-200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro-PLCs) que se pueden utilizar para numerosas tareas. La figura 3.6 muestra un Micro-PLC S7-200. Los Micro-PLCs S7-200 se adecuan para numerosas aplicaciones pequeñas de control.

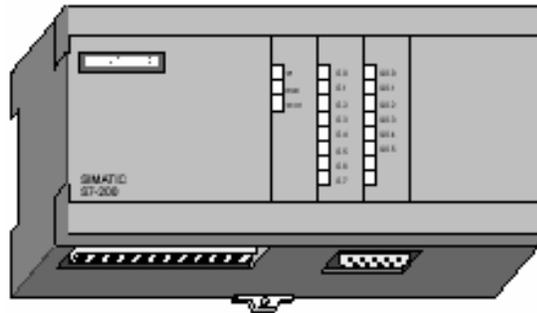


Figura 3.7 Ilustración de un Micro PLC S7 200

3.3.2.1 Funciones de un PLC de la serie S7-200

La figura 3.7 muestra la estructura básica de un Micro-PLC S7-200 que incluye una CPU S7-200, un PC, el software de programación STEP 7-Micro/WIN y un cable de comunicación.

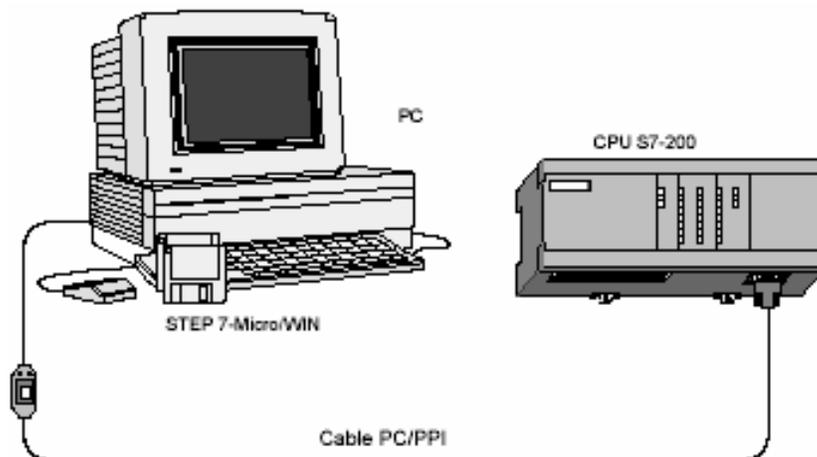


Figura 3.8 Componentes de un micro PLC S7 200 [12]

3.3.2.2 Principales componentes de un Micro-PLC S7-200

Un Micro-PLC S7-200 puede comprender una CPU S7-200 sola o conectada a diversos módulos de ampliación opcionales.

La CPU S7-200 es un aparato autónomo compacto que incorpora una unidad central de procesamiento (CPU), la fuente de alimentación, así como entradas y salidas digitales.

_ La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización o el proceso.

_ La fuente de alimentación proporciona corriente a la unidad central y a los módulos de ampliación conectados.

_ Las entradas y salidas controlan el sistema de automatización. Las entradas vigilan las señales de los aparatos de campo (p.ej. sensores e interruptores) y las salidas vigilan las bombas, motores u otros dispositivos del proceso.

_ La interfase de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos. Algunas CPU's S7-200 disponen de dos interfaces de comunicación.

_ Los diodos luminosos indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de entradas y salidas integradas, así como los posibles fallos del sistema que se hayan detectado.

3.3.2.3 Cable de comunicación PC/PPI

El cable PC/PPI sirve para conectar el puerto de comunicación RS-232 de un módem a una CPU S7-200. La velocidad de transferencia se ajusta con los interruptores 1, 2 y 3 del cable PC/PPI. El interruptor 4 sirve para seleccionar el modo de 10 u 11 bits para el protocolo PPI. El interruptor 5 permite ajustar el modo DCE (equipo de comunicación de datos), o bien el modo DTE (equipo terminal de datos). El interruptor 6 (si existe) selecciona el funcionamiento de la señal RTS en el puerto RS-232 del cable PC/PPI.

Los interfaces de comunicación de la CPU S7-200 utilizan el estándar RS-485 para poder agregar varios dispositivos a una misma red. El cable PC/PPI permite conectar el puerto RS-232 de un PC a la interfase RS-485 de una CPU S7-200 como se muestra en la figura 3.9. Dicho cable se puede utilizar también para conectar la interfase de comunicación de una CPU S7-200 a otros dispositivos compatibles con el estándar RS-232.

El cable PC/PPI utilizado en modo “Free port” se puede utilizar para conectar la CPU S7-200 a numerosos dispositivos compatibles con el estándar RS-232, mediante la configuración manual que posee el cable de los distintos parámetros de configuración de comunicación entre los protocolos RS 485 del PLC y el RS 232 del módem, como se muestra en la figura 3.10.

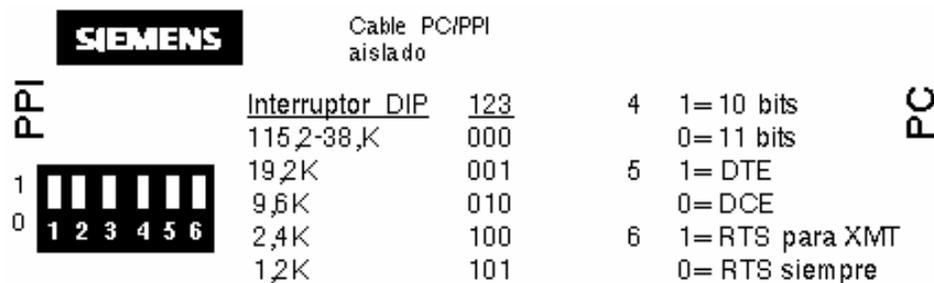


Figura 3.9 Configuración del cable PC/PPI en modo libre por el usuario. [12]

Por lo general, los módems utilizan las señales de control RS-232 (tales como RTS, CTS y DTR) para que un PC pueda controlar el módem. Si se utiliza un módem con un cable PC/PPI, el módem se deberá configurar para que funcione sin estas señales. Para determinar los comandos necesarios para la configuración, consulte la documentación del módem en cuestión.

El interruptor 4 del cable PC/PPI permite seleccionar el modo de 10 u 11 bits para el protocolo PPI. El interruptor 4 se utiliza sólo si el S7-200 está conectado a STEP 7-Micro/WIN vía un módem. En caso contrario, se ajusta el interruptor 4 al modo de 11 bits para garantizar el funcionamiento correcto con otros aparatos.

El interruptor 5 del cable PC/PPI permite ajustar el puerto RS-232 del cable al modo DCE (equipo de comunicación de datos), o bien al modo DTE (equipo terminal de datos). Si el cable PC/PPI se utiliza con STEP 7-Micro/WIN, o si el cable PC/PPI está conectado a un PC, se ajusta el cable PC/PPI a modo DCE. Si el cable PC/PPI se utiliza con un módem (que es un equipo DCE), debe ajustarse el cable PC/PPI a modo DTE. Así se evita la necesidad de utilizar un adaptador de módem nulo entre el cable PC/PPI y el módem. Sin embargo, podría precisarse un adaptador de 9 a 25 pines (dependiendo del conector del módem).

El interruptor 6 del cable PC/PPI selecciona el funcionamiento de la señal RTS en el puerto RS-232. Si selecciona "RTS para XMT", la señal RTS estará activa cuando el S7-200 esté transmitiendo datos a través del puerto RS-485. En cambio, estará inactiva cuando el S7-200 esté recibiendo datos. Si selecciona "RTS siempre", la señal RTS estará siempre activa en el puerto RS-232 del cable PC/PPI, sin importar si el S7-200 está transmitiendo o recibiendo datos. El interruptor 6 sólo afecta la señal RTS si el cable PC/PPI se ha ajustado al modo DTE.

La figura 3.10 muestra la asignación de pines de un adaptador de módem común.

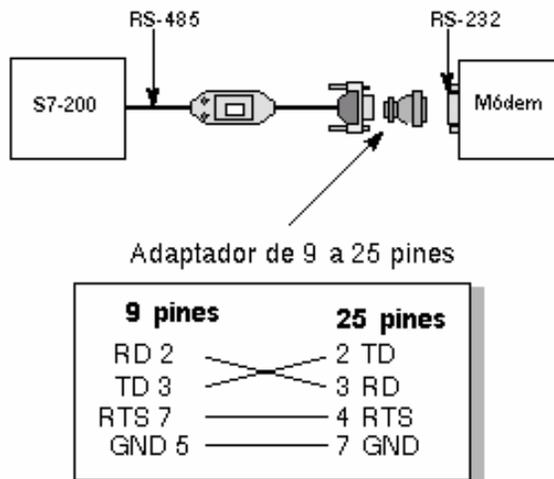


Figura 3.10 Asignación de pines de un adaptador de módem común [12]

La tabla 3.1 muestra las velocidades de transferencia y las correspondientes posiciones de los interruptores

Tabla 3.1 Selección de la velocidad de transferencia del cable PC/PPI [12]

Velocidad de transferencia	Interruptor DIP (1 = arriba)
38400	0000
19200	0010
9600	0100
4800	0110
2400	1000
1200	1010
600	1100

La interfase RS-232 del cable PC/PPI se considera un equipo de comunicación de datos (DCE o Data Communications Equipment). Las únicas señales presentes en dicha interfase son: transmitir datos, recibir datos y tierra. La tabla 3.2 muestra los números de los pines y las funciones de la interfase RS-232 del cable PC/PPI. El cable PC/PPI no utiliza ni envía ninguna de las señales de control del RS-232, tales como Request to Send (RTS) y Clear to Send (CTS).

Tabla 3.2 Definición de pines de la interfase RS 232 del cable PC/PPI [12]

Número de pin	Función
2	Recibir datos (de DCE)
3	Transmitir datos (de DTE a DCE)
5	Tierra

3.4 Software

3.4.1 Micro Win Step 7 versión 4.0

STEP 7-Micro/WIN es una aplicación que se puede ejecutar tanto en el entorno Windows 3.1 de 16 bits (STEP 7-Micro/WIN 16) como en los entornos Windows 95 y Windows NT de 32 bits (STEP 7-Micro/WIN 32). STEP 7-Micro/WIN permite crear el programa de usuario (OB1) con el editor KOP o el editor AWL.

Mediante el editor KOP se lograron escribir programas utilizando símbolos gráficos, ya que KOP incorpora líneas horizontales y verticales para poder conectar las operaciones en serie y en paralelo. Conectando la salida de circulación de corriente de una operación a la entrada de circulación de corriente de otra operación se crea la lógica del programa. KOP ofrece automáticamente algunas conexiones horizontales, pudiendo expandir los cuadros verticalmente para alinear las entradas y salidas de circulación de corriente.

Conexión Serie

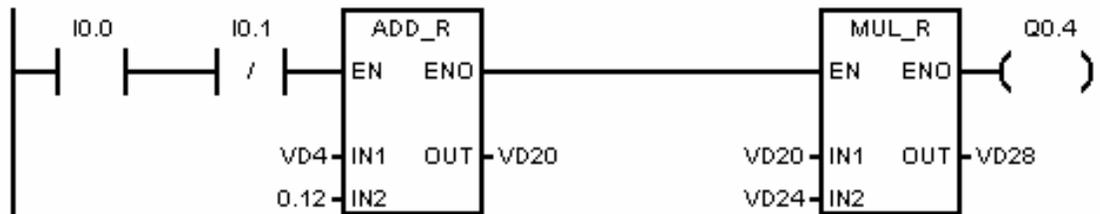


Figura 3.11 Conexión serie con el editor KOP [7].

Los contactos y los cuadros se pueden conectar en serie como lo muestra la figura 3.11. Las bobinas sirven para terminar una conexión en serie. Las líneas horizontales se necesitan en algunos casos para conectar las entradas y salidas de circulación de corriente de una serie de operaciones. Las líneas horizontales se utilizan aquí para interconectar los cuadros Sumar reales y Multiplicar reales.

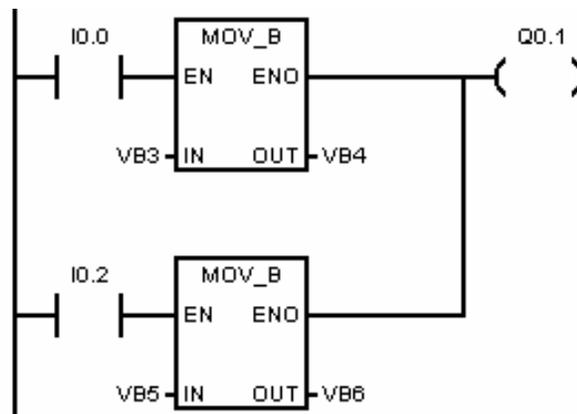


Figura 3.12 Conexión paralelo con el editor KOP [7].

Cuando se necesita una conexión en paralelo como lo muestra la figura 3.12, es preciso utilizar líneas verticales. Una línea vertical se puede trazar hacia arriba o hacia abajo de la celda de origen. En la configuración que aparece arriba, las operaciones Transferir byte están conectadas en paralelo.

3.4.2 Estructura del programa implementado

_ **Programa principal:** En esta parte del programa se disponen las operaciones que controlan la aplicación implementada. Maneja todas las rutinas de control y operación para lograr las funciones principales del sistema diseñado.

_ **Subrutinas:** Son las rutinas diseñadas para lograr que el prototipo diseñado cumpla con todos los requerimientos descritos en los objetivos específicos. Por ejemplo: Envío de mensajes de texto, lectura del nivel del tanque, enlaces vía llamada de datos, etc.

_ **Rutinas de interrupción:** se utilizaron para el manejo de la información recibida por parte del módem MC 45 terminal. Por ejemplo: respuestas ante la configuración comandos, recepción de caracteres vía GSM, etc.

3.4.3 Protocolo de comunicación “Modo Free port”

El programa de usuario puede controlar la interfase serie de la CPU. La comunicación a través de dicho interfase se denomina modo Freeport (comunicación programable por el usuario). Al elegirse el modo Freeport (como protocolo de comunicación entre el PLC S7 200 y el módem MC45 terminal), el programa KOP logra controlar la interfase de comunicación utilizando interrupciones de recepción y de transmisión, así como las operaciones Transmitir mensaje (XMT) y Recibir mensaje (RCV). En modo Freeport, el programa KOP controla por completo el protocolo de comunicación. Las marcas especiales SMB30 (para el interface 0) y SMB130 (para el interfase 1, si la CPU dispone de dos interfaces) se utilizan para elegir la velocidad de transferencia y la paridad.

Para poder utilizar el modo Freeport, es preciso que la CPU esté en modo RUN. El modo Freeport se habilita ajustando el valor 01 en el campo de selección del protocolo de SMB30 (interfase 0) o de SMB130 (interfase 1). Estando en modo Freeport, la CPU no se puede comunicar con la unidad de programación.

3.4.3.1 Inicializar el modo Free Port.

SMB30 y SMB130 se utilizan para inicializar el modo Freeport en los interfaces de comunicación 0 y 1, respectivamente, permitiendo elegir la velocidad de transferencia, la paridad y el número de bits por carácter. La tabla 3.3 muestra los bytes de control del modo Freeport.

Tabla 3.3 Descripción de los Bytes para el control para el modo “free port” [7]

Interface 0	Interface 1	Descripción								
Formato de SMB30	Formato de SMB130	<div style="text-align: center;"> <small>MSB</small> 7 <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">p</td> <td style="padding: 2px;">p</td> <td style="padding: 2px;">d</td> <td style="padding: 2px;">b</td> <td style="padding: 2px;">b</td> <td style="padding: 2px;">b</td> <td style="padding: 2px;">m</td> <td style="padding: 2px;">m</td> </tr> </table> <small>LSB</small> 0 Byte de control del modo Freeport </div>	p	p	d	b	b	b	m	m
p	p	d	b	b	b	m	m			
SM30.6 y SM30.7	SM130.6 y SM130.7	pp Selección de paridad 00 = sin paridad 01 = paridad par 10 = sin paridad 11 = paridad impar								
SM30.5	SM130.5	d Bits por carácter 0 = 8 bits por carácter 1 = 7 bits por carácter								
SM30.2 a SM30.4	SM130.2 a SM130.4	bbb Velocidad de transferencia 000 = 38.400 bits/s (para la CPU 212: = 19.200 bits/s) 001 = 19.200 bits/s 010 = 9.600 bits/s 011 = 4.800 bits/s 100 = 2.400 bits/s 101 = 1.200 bits/s 110 = 600 bits/s 111 = 300 bits/s								
SM30.0 y SM30.1	SM130.0 y SM130.1	mm Selección de protocolo 00 = Protocolo de interface punto a punto (PPI/modo esclavo) 01 = Protocolo Freeport 10 = PPI/modo maestro 11 = Reservado (estándar: PPI/modo esclavo)								
Nota: En el caso del interface 0 se genera un bit de parada para todas las configuraciones, con excepción de los 7 bits por carácter (sin paridad), donde se generan dos bits de parada. En el caso del interface 1 se genera un bit de parada para todas las configuraciones.										

3.4.4 Operaciones de interrupción y comunicación

Toda rutina de interrupción se puede identificar con una marca de interrupción que indica el comienzo de la rutina. Ésta comprende las operaciones que se colocan entre dicha marca y la operación Retorno absoluto desde rutina de interrupción. La rutina de interrupción se ejecuta como respuesta a un evento interno o externo asociado. Para salir de la rutina (y devolver así el control al programa principal) se puede ejecutar la operación Retorno absoluto desde rutina de interrupción (RETI), o bien la operación Retorno condicional desde rutina de interrupción. Toda rutina de interrupción se debe finalizar con la operación Retorno absoluto.

El procesamiento de interrupciones permite reaccionar rápidamente ante determinados eventos internos o externos. Las rutinas de interrupción se deben estructurar de forma que - una vez ejecutadas determinadas tareas - devuelvan el control al programa principal. A tal efecto es conveniente crear rutinas de interrupción cortas con indicaciones precisas, de manera que se puedan ejecutar rápidamente sin interrumpir otros procesos durante períodos demasiado largos.

La siguiente tabla muestra las interrupciones más importantes para los PLC S7 200 que para este proyecto fueron tomados en cuenta.

Tabla 3.4 Ejemplo de interrupciones para PLCs S7 200

Evento	Descripción de la interrupción	Prioridad
8	Puerto 0: Recibir carácter (Comunicación)	0
9	Puerto 0: Transmisión finalizada (más salta)	0
23	Puerto 0: Recepción de mensajes finalizada	0

3.4.5 Parámetros y comandos AT de inicialización y operación del módem TC 45 terminal.

Para obtener los parámetros de inicialización y operación se utilizó el puerto serial como medio de comunicación entre una PC y el módem MC 45. El protocolo de comunicación se definió utilizando el programa Hyperterminal de Windows.

Una vez establecida la comunicación entre el módem MC45 terminal y el CPU, se realizaron una serie de pruebas por medio de los comandos AT específicos de este módem para verificar el ingreso y reconocimiento de estos comandos con el fin de determinar las funciones y características más relevantes de cada uno de ellos, como se puede apreciar en la figura 3.13.

```
luis - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar
[Icons]
at
OK
at+gcap=?
OK
at+gcap
+GCAP: +CGSM, +FCLASS
OK
at+gmm=?
OK
at+gmm
MC45
OK
at+cgmm=?
OK
at+cgmm
MC45
OK
0:03:02 conectado Autc

gsm - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir
[Icons]
at+gmr
REVISION 03.05
OK
at+gsn
350450410448263
OK
-
0:00:30 conectado Autodetect.
```

Figura 3.13 Ingreso de comandos AT en el módem MC45 por medio de Hiper terminal de Windows.

3.4.5.1 Manejo de comandos AT dentro del programa de control realizado en step7 micro/win.

El siguiente paso a tratar fue la programación de los comandos necesarios para el manejo de los servicios citados en el apartado 5.2. Para esto se programaron los diferentes en memoria de programa como constantes de bytes para carácter del comando a elegir.

Es decir para cada carácter de cada comando sea de inicialización o trabajo se le asignó dentro del programa un byte de memoria específico, de manera que cada comando quedara unido mediante un “string”, para que cada vez que se necesite invocar ese comando se llame un puntero que tome toda la cadena de caracteres para ejecutar un función determinada.

La figura 3.14 muestra un ejemplo de cómo se estructuró la programación del comando de configuración de modo texto dentro de la lógica de programación citada anteriormente.

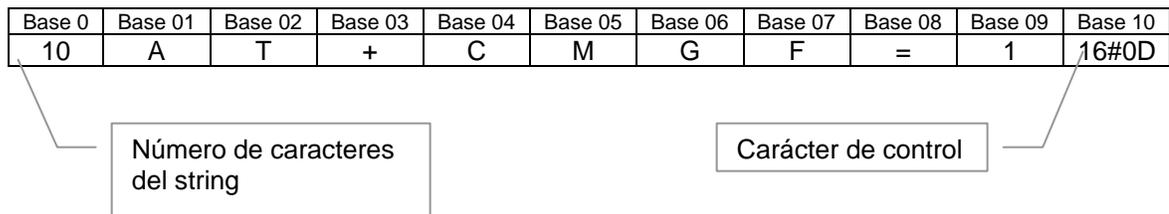


Figura 3.14 Estructura de un “string” de comando para una función específica.

De acuerdo a la figura 3.14 la Base 0 representa el byte que contiene el número de caracteres que contiene el comando, el cual para este caso es de de 10, tomando en cuenta el carácter de control. El carácter de control es el encargado de ingresar el “string” en el módem MC45 terminal para que este se encargue de realizar la función definida por el comando.

3.4.5.2 Estructuración de comandos AT dentro del programa de control.

Para programar los diferentes comandos AT de inicialización y programación para el manejo del módem MC45 terminal, se asignaron diferentes espacios de memoria de acuerdo a la lógica de configuración del módem. Cada carácter se encuentra almacenado en un espacio de memoria de un byte, los cuales se ordenaron dentro de la estructura del programa de manera tal que se lograra el mayor aprovechamiento de memoria para así permitir a otro programador trabajar en un espacio de memoria definido o específico. La figura 3.15 muestra un ejemplo de una parte de memoria programada para el manejo de comandos AT.

```

//.....
//COMANDO 1
VB100 5
VB101 'ATV0'
VB105 16#0D
//COMANDO 2
VB107 13 //numero de caracteres para transmisión XMT
VB108 'AT+CPIN=7631' //Comando AT para transferencia de PIN
VB120 16#0D //Ingresar comando (tecla enter)
//8132
//7631
//COMANDO 3
VB122 25 //numero de caracteres para transmisión XMT
VB123 'AT&f0&w\Q3&DOS0=1X0E0&C1' //Secuencia de comandos AT para inicialización
//de transmisión de datos mediante llamada GSM
VB147 16#0D //Ingresar comando (tecla enter)
//8132
//COMANDO 4
VB149 20
VB150 'AT+CSCA=+5063005007'
VB169 16#0D

```

Figura 3.15 Programación de comandos AT dentro de memoria de programa

Cabe señalar que para optimizar al máximo los espacios de memoria se programaron varios comandos dentro de una sola secuencia de caracteres, como por ejemplo el comando 3, el cual configura todos los parámetros necesarios de inicialización para la transferencia de datos vía llamada GSM. La tabla 3.5 muestra algunos de los comandos más importantes tomados en cuenta en la elaboración del software.

Tabla 3.5 Ejemplo de algunos comandos AT utilizados en la programación

Descripción	Comando AT	Carácter de Control	Guardar en memoria DB
Transferir PIN	AT+CPIN=XXXX	16#0D (enter PC)	VB108
Inicializar el número del servidor de mensajes	AT+CSCA=+XXXXXXXXXX	16#0D (enter PC)	VB150
Permitir modo de texto SMS	AT+CMGF=1	16#0D (enter PC)	VB172
Enviar un mensaje de texto	AT+CMGS=XXXXXXXXXX	16#1A (Cntr-Z PC)	VB601

3.4.6 TP Designer

TP Designer es una de las herramientas suministradas junto con STEP 7-Micro/WIN 32 Toolbox. Esta herramienta sirve para crear pantallas para el panel táctil SIMATIC HMI TP 070. El TP 070 es un potente interface hombre-máquina (HMI) de bajo costo para las CPUs S7-200. Cuando el operador toca campos de control de la pantalla del TP 070, éste se comunica con el programa contenido en la CPU S7-200. A su vez, la CPU ejecuta el programa que controla las máquinas y/o el proceso.

Para controlar el proceso o las máquinas se pueden crear 30 pantallas como máximo. Por lo general, las pantallas tienen una jerarquía definida. Las pantallas se pueden visualizar en el TP 070 de varias maneras.

- Durante el arranque, el TP 070 visualiza la pantalla que se haya definido como pantalla inicial.
- Es posible definir un campo (p.ej. el botón de estado), con objeto de cargar y visualizar una pantalla distinta cuando el operador pulse dicho botón.
- Es posible cargar y visualizar diversas pantallas desde la lógica del programa S7-200.

3.4.7 Water Cad



Figura 3.16 Portada general del programa WaterCad [4].

Water Cad es un editor gráfico para el modelado, análisis y manejo de sistemas de distribución de aguas (ver figura 3.16), como por ejemplo la distribución de aguas en sistemas municipales. Sin embargo, la metodología de este software es aplicable para cualquier sistema de fluidos con las siguientes características:

- Variaciones graduables sobre fluidos
- Newtoniano, incompresible y líquidos de una sola fase
- Conductos cerrados (sistemas de presión).

WaterCad se puede aplicar a una gran variedad de funciones que incluyen el análisis de los estados y simulaciones extensas de sistemas de presión con bombas, tanques, válvulas de control, etc.

Ejemplo de algunos sistemas que cumplen con estas características son los sistemas de agua potable, aguas residuales, sistemas de protección de fuego, y sistemas de bombeo de agua, como se aprecia en la figura 3.17.

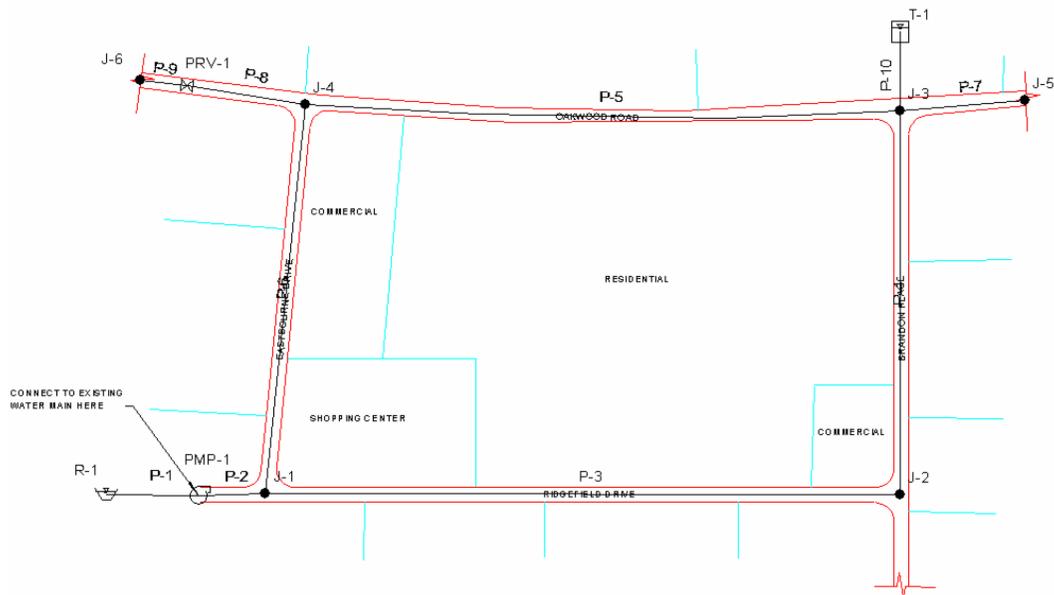


Figura 3.17 Ejemplo de un sistema de distribución de aguas realizado en WaterCad [4].

Los algoritmos matemáticos que utiliza WaterCad anticipan el comportamiento y evolución sobre el estado real modelado de un sistema de distribución de agua y calidad de agua. Puesto que los métodos utilizados para las soluciones matemáticas son muy extensos, se presentan principalmente los principios fundamentales para la comprensión de los algoritmos implementados para el modelado matemático de los sistemas de distribución de agua.

WaterCad fue diseñado, desarrollado y programado por Haestad Methods staff of Software Engineers and Civil Engineers. Este programa busca representar de manera precisa y eficiente lo último en tecnología para el análisis y diseño de los Sistemas de Distribución de Agua sobre Windows. WaterCad está conducido por el U.S Environmental Protection Agency (EPA) Drinking Water Research Division y por el Risk Reduction Engineering Laboratory. Como resultado de esto, WaterCad genera resultados constantes con el programa EPANET2 de EPA.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para identificar el problema fue necesaria una entrevista con el asesor de la empresa. La entrevistó plasmó los deseos iniciales de probar los nuevos productos que se iban a lanzar al mercado, a su vez probar la comunicación entre módems GSM con PLCs de la Serie S7 200 para aplicaciones de control y monitoreo en los procesos industriales. Definido esto la compañía manifestó el interés de realizar un prototipo aplicándolo a un sistema real, de ahí salió la idea de diseñar e implementar un prototipo para el monitoreo y control continuo del nivel del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita mediante telemetrías vía GSM, ya que en esta zona por estudios de ondas de propagación se comprobó que no se pueden realizar enlaces inalámbricos por radio frecuencia.

Las limitaciones y alcances del sistema se definieron en conjunto con el asesor de la empresa tomando en cuenta las características de los componentes del sistema y sector del mercado al cual se pretendía alcanzar.

Inicialmente se desconoce todo el significado de realizar telemetrías GSM, para lo cual se recomendó una serie de documentos citados en la bibliografía, los cuales aclararon el manejo y funcionamiento de los protocolos de comunicación y de configuración para el manejo de un proceso industrial de manera telemétrica vía GSM.

La configuración de ciertos comandos AT para el enlace con la central del ICE para transferencia de datos mediante llamadas GSM o para envío y recepción de mensajes de texto fueron aclarados en parte por conocedores de la Red GSM del ICE.

Se utilizó también la información suministrada por el Instituto nacional de acueductos y alcantarillados A y A. Esta información corresponde al último estudio de propagación de ondas de radio en la banda de 450-470 MHZ" para la transmisión de datos en los Sistemas SCADA del A y A para la zona atlántica emitido el 28 julio del 2000.

Esta información describe detalladamente el comportamiento de ondas en los diversos puntos de importancia sobre los cuales se necesitan realizar enlaces de comunicación inalámbricas. Realizando un análisis de los resultados obtenidos se encontraron diversos lugares en los cuales no se lograron realizar algún tipo de enlace, algunos de estos puntos se pueden encontrar en el apéndice 5.

Los puntos para los cuales no se lograron realizar enlaces algunos son la base que justifican la necesidad de una nueva alternativa para el manejo de información de los sistemas Scada inalámbricos haciendo uso de lo último en tecnología, tecnología que a su vez haya sido implementada en el país.

Las soluciones para el problema fueron consideradas de acuerdo a las recomendaciones y observaciones por parte de los ingenieros de la compañía Siemens, los cuales de una manera unánime plasmaron que la solución debía ser resuelta utilizando los controladores lógicos S7 200 de la compañía de manera que estos lograran estar en la capacidad de acceder los servicios de la tecnología GSM que ofrece actualmente el país.

4.2 Obtención y análisis de información

La obtención de la información necesaria para dar solución de manera satisfactoria a la problemática descrita se siguió principalmente a una metodología basada en la investigación, en el análisis de diversas fuentes de información como Internet y material didáctico suministrado por la compañía Siemens de Costa Rica, por el Instituto Costarricense de Electricidad ICE y por el Instituto nacional de Acueductos y Alcantarillados A y A. también se obtuvo y analizó información mediante la investigación práctica, que son todos aquellos pasos a realizar para lograr cumplir con los objetivos específicos mencionados en el capítulo 2. La información obtenida fue a partir de distintas revisiones literarias y búsquedas en Internet con respecto a:

1. Manual del módem GSM TC45 terminal de MC Technologies.
2. Manual sobre los comandos de trabajo y configuración del Módem.
3. Funcionamiento básico del PLC S7 200.
4. Manual del Sensor de Nivel Bero.
5. Aplicaciones telemétricas con tecnologías GSM.

Para poder filtrar toda la información obtenida y así recopilar la mejor documentación que suministrara los conocimientos necesarios para comprender tanto la dimensión real del problema como las posibles soluciones del mismo se siguió un análisis metodológico de cotejamiento con información de expertos sobre soluciones similares y de análisis de desempeño para obtener así un estudio más detallado de los aspectos fundamentales que contribuyeran al desarrollo y elaboración de los prototipos con tecnología GSM. La solución del problema está restringida a sistemas de control programables S7-200 de Siemens, por lo que la búsqueda de información debió ser tomada de acuerdo a las características tanto de hardware como de software de los mismos. Los datos y características técnicas de los dispositivos de comunicación para GSM se buscaron de acuerdo a los requerimientos de los PLC S7 200 de manera que se lograra realizar una integración exitosa de sistemas para lograr el objetivo principal.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Para plantear las alternativas de solución de acuerdo a las necesidades de la empresa Siemens de Costa Rica primeramente se realizó una investigación bibliográfica de los principales agentes que intervienen en la definición y solución del problema. Teniendo un panorama general del proyecto se realizó un análisis exhaustivo de cada uno de los componentes que intervenían en la solución del problema.

Analizando la información obtenida se busca diseñar e implementar un prototipo para el monitoreo de manera continua de el estado de algún proceso industrial específico mediante el uso de la telefonía GSM. Esto se debe principalmente a que según los estudios realizados la comunicación a través de los mensajes de texto SMS y de llamada de datos GSM es la mejor manera de comunicar un volumen de información pequeño que a su vez permite su almacenamiento en memoria para tener constancia de él.

La fabricación del prototipo consiste en la elaboración de dos módulos cada uno de ellos con PLC's S7 200, mediante los cuales se puedan monitorear informaciones de un punto a otro. Ambos módulos se implementan utilizando por medio del puerto RS485 de los S7 200 un protocolo de comunicación con modems MC45 terminal de tecnología GSM con doble banda de frecuencia (900Mhz y 1800Mhz) fabricados por la empresa MC-Technologies.

Esto permite que los dos sistemas de control implementados puedan servir de demostración para simular el control y monitoreo del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita (la cual presentó según el estudio de ondas de propagación un enlace fallido) hacia una base o estación central.

4.4 Implementación de la solución

Para implementar la solución se siguieron una serie de procedimientos de trabajo. Los pasos considerados que se muestran a continuación llevan una secuencia lógica y cronológica, los cuales según lo establecido lograron dar el mayor aprovechamiento y manejo del tiempo de trabajo, así como una guía segura para el buen término del prototipo a implementar.

1. Se debió realizar un estudio de los PLC S7 200 de la compañía Siemens para determinar la viabilidad de estos para establecer un sistema de comunicación con dispositivos de tecnología GSM.
2. Una vez examinados los CPU S7 200 se buscó el mejor dispositivo con tecnología GSM de acuerdo a las necesidades de comunicación y protocolo del S7 200 y de los servicios celulares por parte del Instituto Costarricense de electricidad.
3. Para conocer las principales características tanto de hardware como de software se realizaron pruebas de trabajo, por ejemplo el uso del Hiperterminal de Windows para determinar los comandos de trabajo y configuración de los módems GSM seleccionados.
4. Se realizaron una serie de rutinas para el control y manejo de la información entre el PLC S7 200 y el modem MC45 terminal. Estas rutinas se debieron estructurar de la manera segmentada posible para así definir todas las estructuras fundamentales que conlleva la implementación de sistemas de control inalámbricos vía GSM.
5. También fue importante el diseño de todas aquellas rutinas de software que proporcionaran el adecuado manejo de los servicios celulares, como lo son: el envío de mensajes de texto, la recepción de mensajes de texto, el enlace de datos por medio de llamadas GSM, etc.

6. Se analizó un sistema real (que para este caso fue la planta de abastecimiento de agua de la Zona de Cahita en la provincia de Limón) con el fin de obtener los datos pertinentes a la relación entre el nivel del tanque y el consumo de agua por parte de la población de Cahuita.

7. Finalmente se construyeron dos módulos uno para funcionar como una estación central y otro como la remota. Con las cuales se pueden monitorear y controlar el estado actual del tanque de abastecimiento de Cahita.

Cabe destacar en este apartado que no fue necesario modificar las soluciones inicialmente propuestas.

Capítulo 5: Diseño e implementación de la solución

En el presente capítulo se presenta la descripción detallada de la solución empleada para la implementación del sistema de Monitoreo y Control, mediante la definición de la estructura del Hardware y Software que constituyen el sistema.

La solución del sistema se sustento en la implementación para la mediación del nivel del tanque de abastecimiento de agua potable de la zona de Cahuita, controlado por un PLC S7 200 como estación remota conectado a la red GSM mediante un módem GSM y empleando un sensor de nivel como señal de entrada hacia el micro PLC.

5.1 Análisis de la solución

Este apartado se desglosa en las siguientes etapas:

1. Interconexión y prueba GSM
2. Modelado del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita.
3. Diseño del panel demostrativo

5.1.1 Interconexión y prueba GSM

En la primera etapa lo que se quiere es realizar una transferencia de datos empleando la normativa de las funciones de configuración, inicialización y trabajo sobre la red GSM, se establece por ende comunicación entre:

- Un PLC S7 200 como estación remota y un módem GSM
- Un PLC S7 200 como estación Central y un módem GSM
- Estación Remota y Estación Central , para establecer así un enlace por la red GSM

Para realizar la comunicación entre el PLC S7 200 y el módem GSM MC45 terminal se deben considerar los aspectos de Hardware y Software necesarios para realizar la transferencia de datos por la red GSM, como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 5.1.

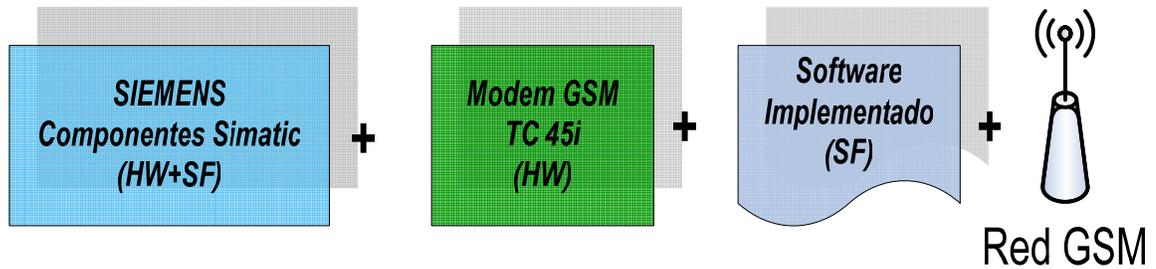


Figura 5.1 Diagrama de bloques de la solución general del problema.

El diagrama de bloques de la figura 5.1 muestra la lógica implementada para el diseño del sistema implementado. La lógica implementada consiste en integrar los componentes básicos del hardware (como se aprecia en la figura 5.2) necesarios para la solución del problema junto con el diseño específico del software para realizar el monitoreo y control de la planta a través de la red GSM actual del país.

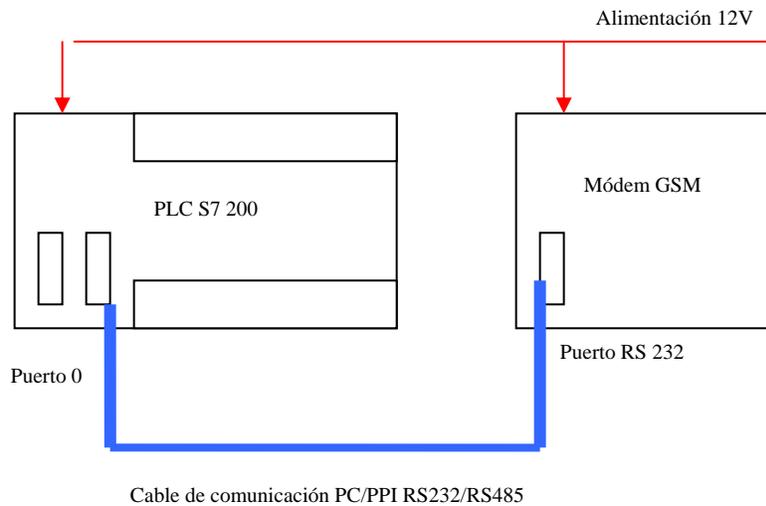


Figura 5.2 Conexión PLC S7 200 con módem GSM MC45 terminal.

Inicialmente se debe establecer la forma correcta en que se conectan físicamente los dispositivos para realizar un enlace inalámbrico por medio de la red GSM del país. Para establecer comunicación entre los dispositivos se le dio énfasis a:

- Un PLC S7 200 de Siemens
- Un Modem MC45 terminal fabricado por MC technologies con tecnología GSM
- Cable de comunicación por emplear y características requeridas.

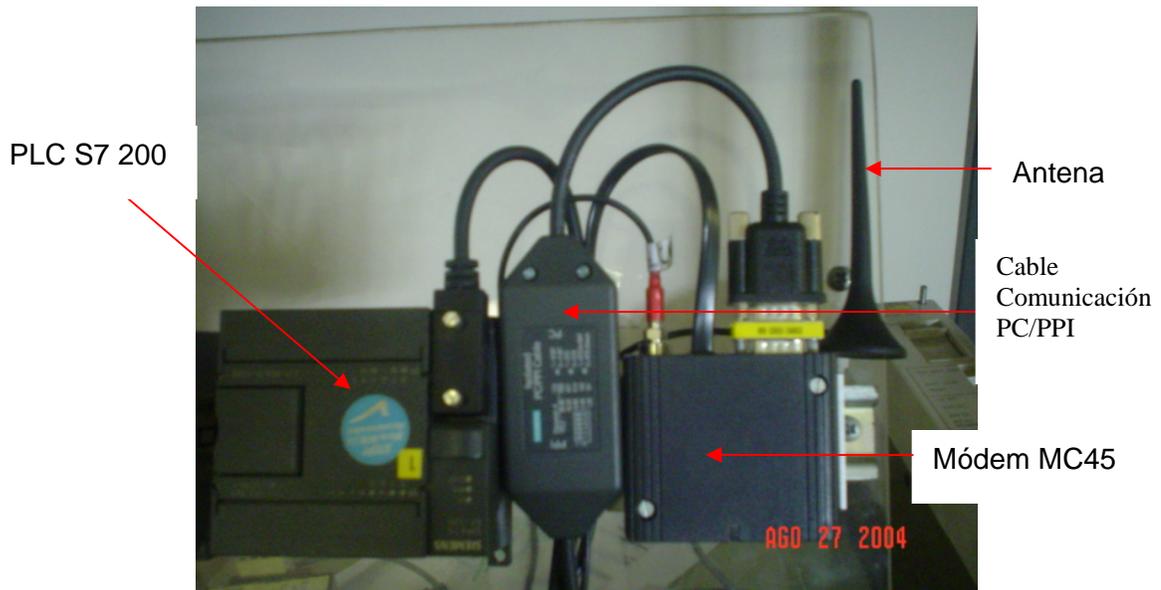


Figura 5.3 Sistema implementado para realizar monitoreo y control por GSM

La tabla 5.1 explica las principales características de cada elemento del hardware mediante las cuales se basó la utilización de estos componentes como parte esencial de la solución por Hardware. Esta tabla muestra un panorama general sobre la solución completa del sistema integrado de automatización telemétrica así como de las funciones específicas para cada componente.

Tabla 5.1 Función específica para componente integrado en el hardware de la solución completa.

No	Clasificación según figura 5.2	Tipo	Función principal
1	Sistema de Control	CPU S7 200	<ul style="list-style-type: none"> • Inicializa el modem MC45 • Transmite mensajes a teléfono móvil y e-mail. • Transmite datos vía llamada GSM. • Recibe y evalúa mensajes provenientes de un teléfono móvil.
2	Modem GSM	MC45 terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Establece la conexión a la red GSM. • Modula la información para transferencia de datos por radio GSM.
3	Enlace entre módulos	Cable PC/PPI	Permite la comunicación entre el S7 200 y el modem MC45 terminal
4	Proveedor GSM	I.C.E	<ul style="list-style-type: none"> • Direcciona los mensajes de texto. • Permite transferencia de datos vía llamada GSM
6	Cliente de correo		Recibe mensajes específicos del sistema de control

5.1.1.1 Cable de comunicación PC/PPI

El cable PC/PPI es el puente de comunicación por Hardware para que el MC45 Terminal GSM pueda ser conectado a través de su interfase serial con protocolo RS 232 al S7-200 con protocolo de comunicación RS 485. Por medio de esta conexión, se pueden intercambiar datos de forma serial entre los dos dispositivos.

La tabla 5.2 muestra la configuración realizada sobre el cable PC/PPI para establecer un puente de comunicación entre el módem GSM y el PLC S7 200, de acuerdo a las consideraciones hechas en el capítulo 3 del marco teórico apartado 3.3.2.3.

Tabla 5.2 Parámetros para el cable PC/PPI

Cambiar	1	2	3	4	5	6	7	8
ON/OFF	0	1	0	0	0	1	0	0

5.1.2 Medición de nivel del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita

Para demostración de que el prototipo implementado cumple con las descripciones anteriores se realizó un análisis del comportamiento de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita (ver figura 5.4) mediante el monitoreo y control telemétricos vía GSM.

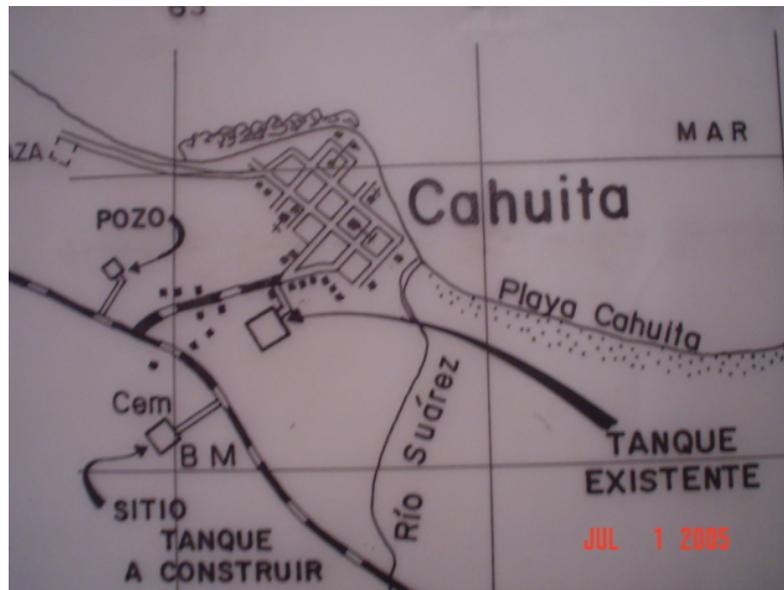


Figura 5.4 Plano de la planta de abastecimiento de agua para la zona de Cahuita

La representación gráfica de la planta de abastecimiento de agua se puede representar como lo muestra la figura 5.5.

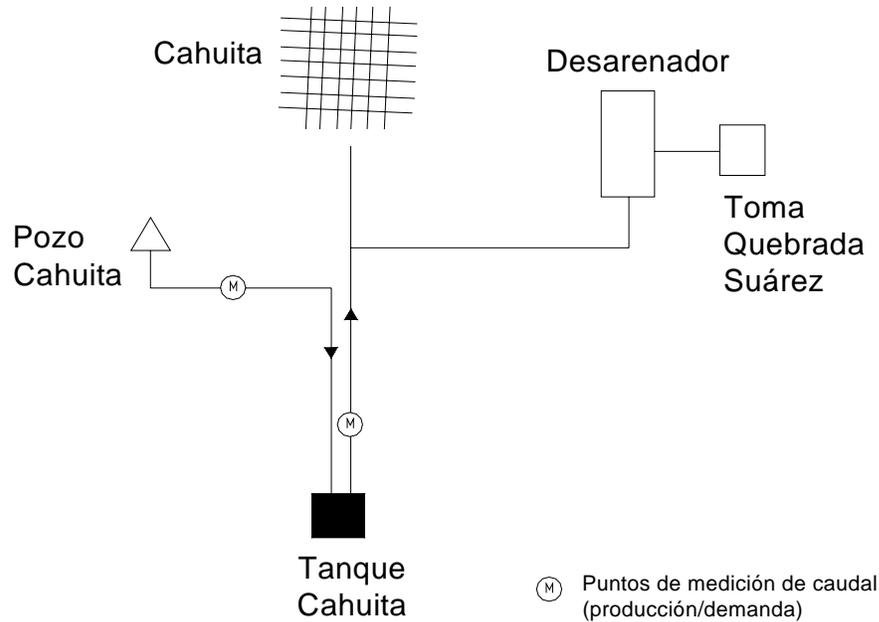


Figura 5.5 Representación de la planta de abastecimiento de la zona Cahuita.

Para lograr esto se siguieron dos pasos principales:

1. Modelado de la planta (tanque) de abastecimiento de la zona y
2. Monitoreo inalámbrico del nivel del tanque utilizando la red GSM

La idea de modelar matemáticamente el sistema o planta de abastecimiento de agua es para tener un comparativo de que los datos suministrados por el prototipo se asemejen al del modelado, lo cual aseguraría que el prototipo trabaja correctamente. Para realizar este modelado se utilizó el programa Water Cad descrito en el capítulo 3 del marco teórico, el cual es un software recientemente adquirido por AyA exclusivo para el estudio de sistemas hidráulicos.

Cabe destacar como un objetivo aparte de este proyecto el interés del modelado de la planta de abastecimiento de agua potable en Cahuita, ya que esto le permite al AyA no sólo predecir el comportamiento del sistema en tiempo real si no que también el comportamiento

para plantas de abastecimiento en otras zonas del país. El análisis del modelado le permitirá al AyA tener una base de que de acuerdo a la demanda (caudal) de agua de la zona en estudio, donde se podrá determinar de manera precisa si el tanque cumplirá con las necesidades de demanda, si el comportamiento del tanque es el mismo para todas las semanas, si la bomba utilizada es la adecuada, etc.

5.1.2.1 Modelado de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita

Para el modelado matemático del tanque de la zona de Cahuita de la provincia de Limón se recurrió a la utilización del programa Water Cad del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados de Costa Rica.

Para tener la información suficiente se recurrió a dos tipos de fuentes de información:

- Suministrada por los planos de la planta de abastecimiento de la zona y
- Datos provenientes de un estudio de campo para el consumo de caudal de la zona realizado por el Instituto nacional de Acueductos y Alcantarillados.

Los principales datos obtenidos de los planos fueron: las alturas de las distintas secciones de la planta con respecto al nivel del mar (ver apéndice 5.1), el tipo de material de las tuberías, las dimensiones del tanque de abastecimiento, la presión de agua de la bomba de agua donde se encuentra ubicado el pozo de abastecimiento, etc.

Para el caso de la medición de caudal de consumo de agua de la población de Cahuita se hizo un estudio de campo, realizando una serie de mediciones con los sensores de caudal marca Panametrics modelo PT868.

La medición del caudal consistió en la colocación de dos sensores en el tubo principal de abastecimiento de agua. Una vez colocados los dos sensores, por efecto dopler los sensores midieron los distintos valores de demanda de caudal de la población a períodos de tiempo

establecidos, los cuales fueron interpretados por un instrumento de medición llamado TransPort.

Los valores de medición de caudal obtenidos por el TransPort fueron tomados para un lapso de 24 horas y se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Demanda de caudal en porcentaje de la población de Cahuita en la provincia de Limón.

Hora	%FVH	Hora	%FVH
0	0.72	12	1.25
1	0.72	13	1.28
2	0.72	14	1.17
3	0.71	15	1.10
4	0.71	16	1.17
5	0.83	17	1.08
6	1.05	18	0.99
7	1.19	19	0.96
8	1.21	20	0.89
9	1.27	21	0.84
10	1.33	22	0.83
11	1.20	23	0.78

La tabla 5.3 muestra porcentualmente el comportamiento del consumo de caudal de agua potable en la región de Cahuita. Se puede notar que el consumo pico u hora pico se encuentra entre las 11:00 am y la 1:00 pm y el rango de consumo máximo se da entre las 6:00 am y las 5:00 pm.

Los valores de la tabla 5.3 se pueden analizar con mayor detalle utilizando la curva característica de la demanda de caudal para un día, como se muestra en la figura 5.6.

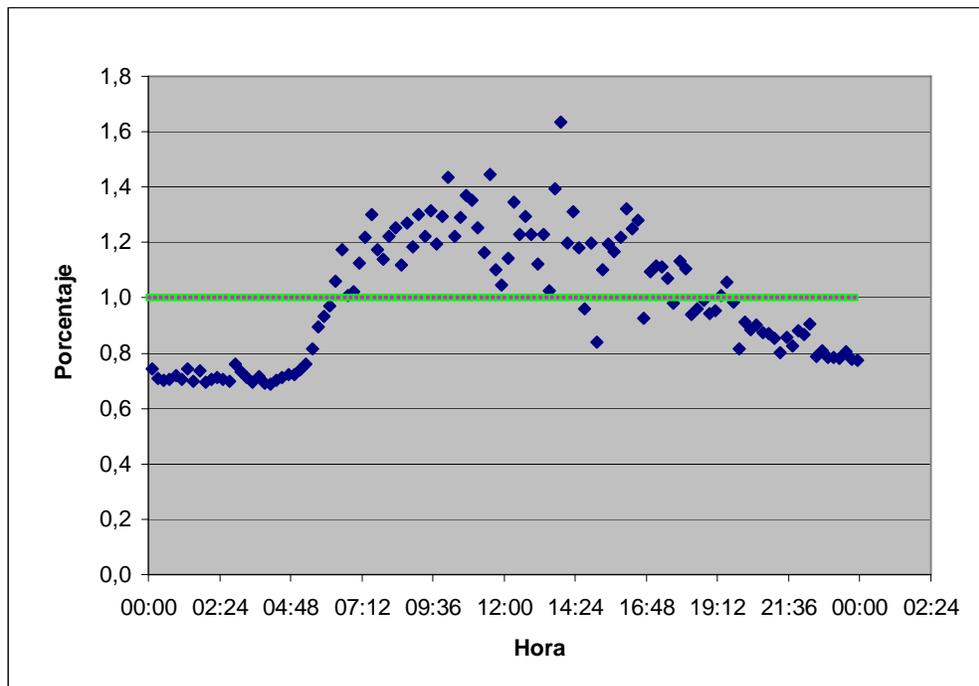


Figura 5.6 Curva característica de la demanda de caudal de la población de Cahuita.

Utilizando el programa Water Cad del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados el modelado gráfico de la planta de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita queda como se muestra en la figura 5.7.

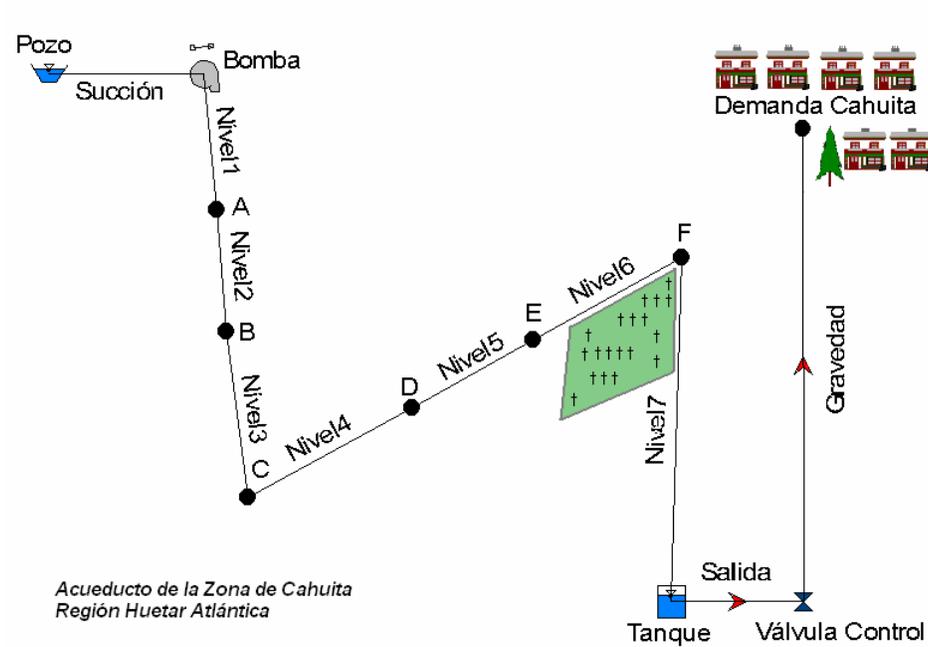


Figura 5.7 Modelado gráfico de la planta de abastecimiento de agua de Cahuita.

Como se puede apreciar en la figura 5.7 el modelado de la planta de abastecimiento de agua de Cahuita consiste de 5 puntos importantes a tomar en cuenta:

- El pozo de abastecimiento
- La bomba de agua que da suministro al tanque
- El tanque de abastecimiento
- La válvula de control y
- Nodo de demanda de la población de Cahuita

Todos estos puntos se encuentran unidos por las tuberías que transportan el agua mediante los nodos. Cada tramo de tubería se encuentra a diferentes alturas con respecto al nivel del mar, estas alturas fueron obtenidas de los planos ingenieriles de la planta de Cahuita suministrados por el AyA, como se muestra en el apéndice A.5.

Los datos porcentuales de caudal obtenidos mediante las mediciones de campo efectuadas fueron introducidas en el nodo llamado “demanda cahuita” como se muestra en la figura 5.7. Estos valores son sumamente importantes ya que son el comportamiento en tiempo real de la planta modelada.

Los valores porcentuales de acuerdo a la tabla 5.3 introducidos para el nodo de demanda de caudal de la zona de Cahuita se muestran en la figura 5.8.

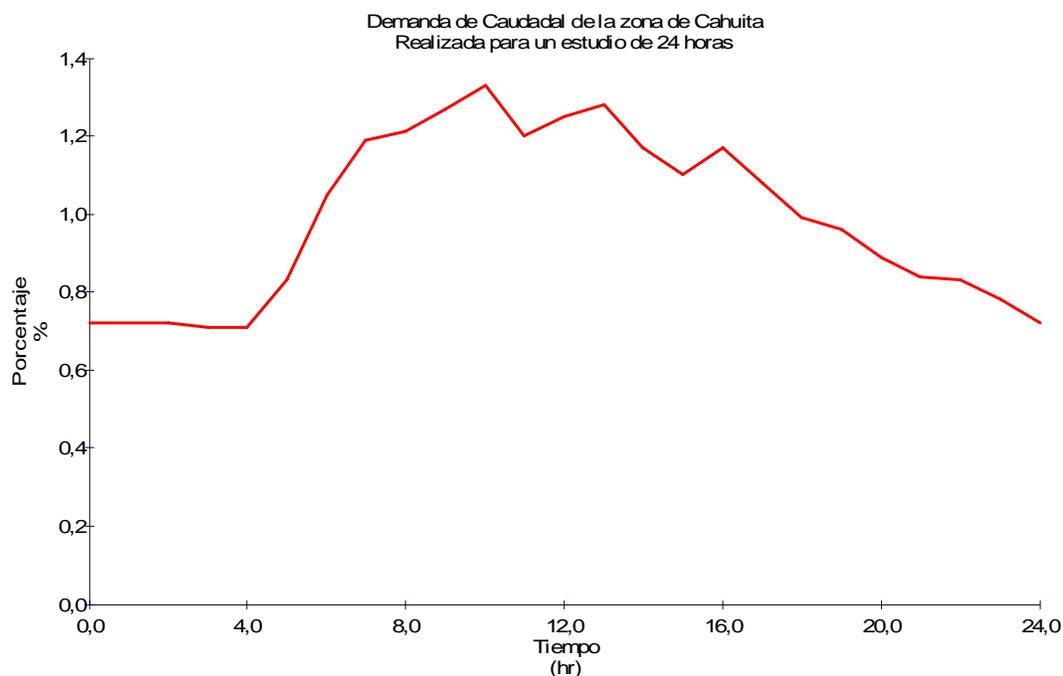


Figura 5.8 Demanda de caudal representados en el modelado matemático de la planta.

El siguiente paso es representar estos valores porcentuales en valores reales de consumo en unidades de litros por segundo. Para ello según los datos suministrados por el AYA el multiplicador correspondiente para este caso es de siete litros por segundo, por lo que los valores por hora para un lapso de 24 horas son como los que se muestran en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Valores de consumo de caudal en l/seg del nodo de demanda en el modelado matemático para la planta de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita.

Tiempo (hr)	Demanda (l/s)	Tiempo (hr)	Demanda (l/s)
0,00	5,04	13,00	8,57
1,00	5,04	14,00	7,95
2,00	5,01	15,00	7,95
3,00	4,97	16,00	7,88
4,00	5,39	17,00	7,24
5,00	6,58	18,00	6,83
6,00	7,84	18,03	6,83
7,00	8,40	19,00	6,48
8,00	8,68	20,00	6,06
9,00	9,10	21,00	5,85
10,00	8,86	22,00	5,64
11,00	8,57	23,00	5,25
12,00	8,86	24,00	5,04

Por lo que la gráfica correspondiente a la tabla 5.4 es como se muestra en la siguiente figura:

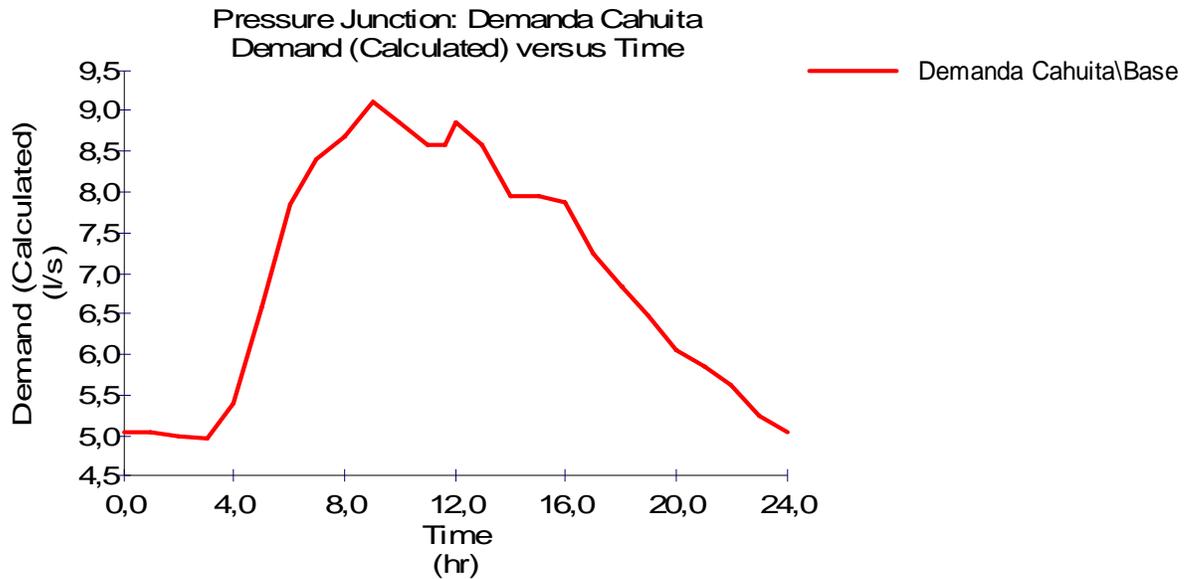


Figura 5.9 Gráfica del nodo de demanda de caudal en litros por segundo

Según los objetivos planteados, el hecho de realizar un modelado matemático sobre la planta de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita fue con el fin de realizar un análisis del comportamiento del tanque de abastecimiento a construir en la zona para así poder estar seguros que el prototipo GSM diseñado para el monitoreo del mismo no tendrá ningún problema.

A partir de esto, los datos más importantes a configurar en el programa Water Cad para el caso del tanque son los que se muestran en la figura 5.10.

Tank: Tanque

General | Demand | Section | Quality | Capital Cost | User Data | Messages

Section

Section: Constant Area

Inactive Volume: 0,00 m³

Total Active Volume: 500,25 m³

Cross Section

Cross Section: Non-Circular

Average Area: 145,0 m²

Operating Range

Elevations (m) Levels (m)

Maximum:	60,50	3,50
Initial:	60,50	3,50
Minimum:	57,05	0,05
Base:	57,00	0,00

Diagram labels: Maximum, Initial, Minimum, Base Elevation, Inactive Volume, Datum Elevation = 0, Levels, Elevations

Figura 5.10 Ingreso de los valores más relevantes para el modelado matemático del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita.

Según los valores introducidos en el programa de acuerdo a los datos observados en los planos del tanque, la curva característica del tanque es una recta lineal, como se muestra en la figura 5.11. Esto simplemente refleja que el volumen del tanque para todos sus segmentos es directamente a la altura del mismo.

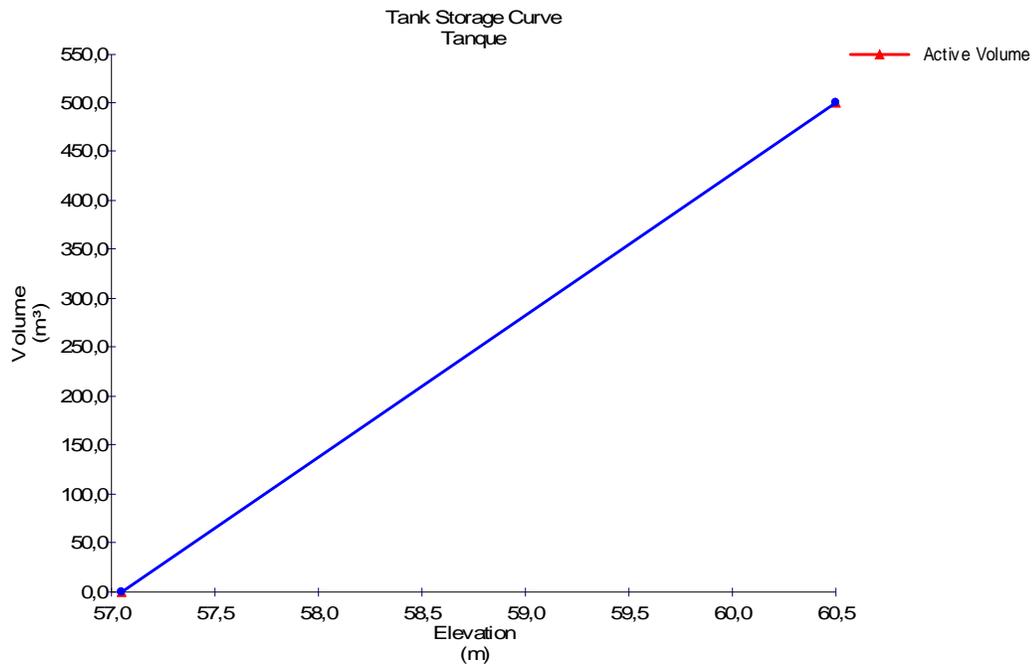


Figura 5.11 Representación gráfica del volumen con respecto a la elevación del tanque.

La tabla 5.5 representa los valores de cambio del nivel del tanque de abastecimiento con respecto a un lapso de tiempo de 24 horas, una vez realizada la simulación matemática de la planta de agua de Cahuita.

Los valores marcados en azul representan los valores máximos y mínimos del tanque. Estos puntos son los puntos críticos de medición que debe monitorear el sistema implementado de GSM.

Para este caso la simulación se realizó programando que para el valor mínimo de nivel del tanque correspondiente a 1.5 metros la bomba de abastecimiento de agua entre el pozo y el tanque comenzara a funcionar hasta que el nivel del tanque alcance un valor de 3.4 metros de altura.

Tabla 5.5 Valores obtenidos del nivel del tanque para un período de 24 horas de acuerdo a la demanda de caudal de la zona de cahuita.

Tiempo (hr)	Nivel (m)	Tiempo (hr)	Nivel (m)
0,00	3,50	13,00	1,89
1,00	3,37	14,00	2,18
2,00	3,25	15,00	2,48
3,00	3,13	16,00	2,78
4,00	3,00	17,00	3,08
5,00	2,87	18,00	3,39
6,00	2,70	18,03	3,40
7,00	2,51	19,00	3,24
8,00	2,30	20,00	3,07
9,00	2,09	21,00	2,92
10,00	1,86	22,00	2,78
11,00	1,64	23,00	2,64
11,56	1,50	24,00	2,51
12,00	1,60		

La figura 5.12 muestra la curva característica del nivel del tanque de abastecimiento para un período de 24 horas de acuerdo a los valores registrados en la tabla 5.5. Según esta gráfica para la primera hora de trabajo el tanque empieza a un nivel máximo (suponiendo que el tanque estaba lleno), conforme pasan las horas el nivel del tanque tiene una caída pronunciada hasta llegar al nivel mínimo aproximadamente a las 11:50 horas de la mañana.

Inmediatamente el nivel del tanque empieza a subir linealmente ya que la bomba para ese momento ha empezado a trabajar. Seis horas después de haber empezado a funcionar la bomba el tanque encuentra su valor máximo, lo que implica que la bomba se desconecta y deje de bombear agua del pozo al tanque para volver a obtener el mismo comportamiento en la curva de nivel del tanque según la demanda de caudal de la población de la zona de Cahuita Limón.

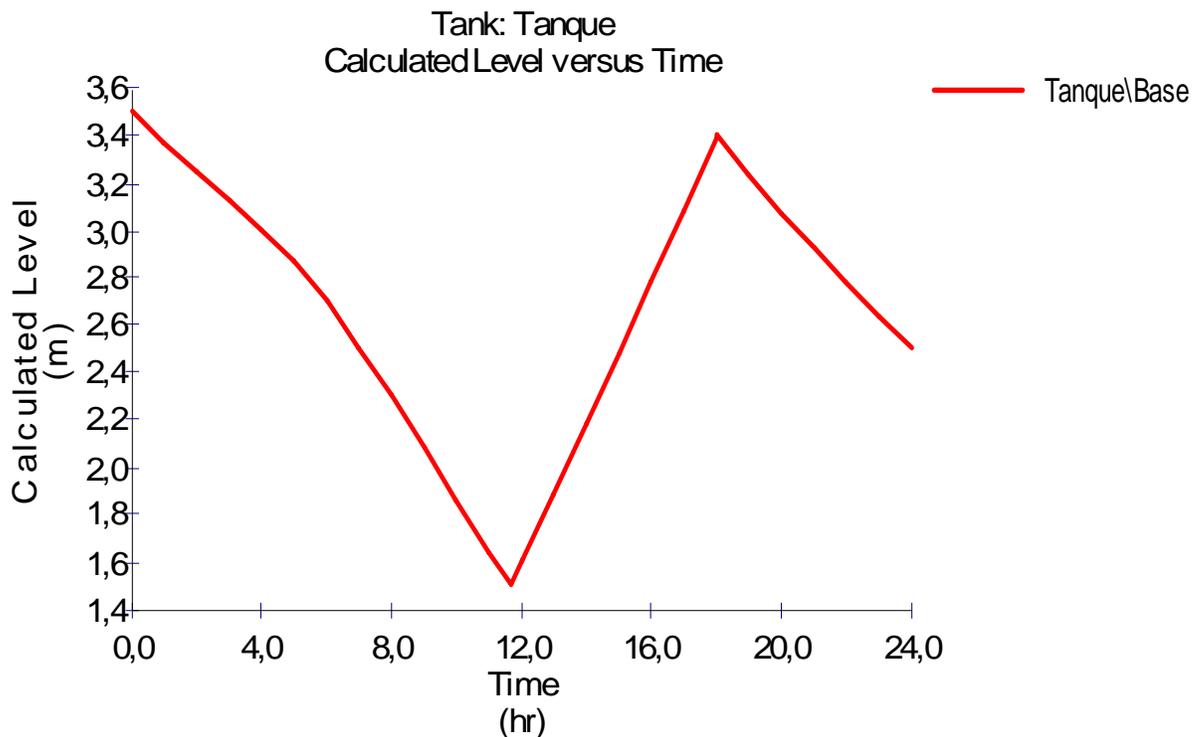


Figura 5.12 Comportamiento del nivel del tanque en un día según la demanda de caudal.

Para estar seguros que el comportamiento del nivel del tanque será continuo el resto de los días se simuló este para un período de 72 horas es decir tres días. Según la gráfica obtenida se puede comprobar con toda certeza que la planta de abastecimiento tendrá siempre el mismo comportamiento.

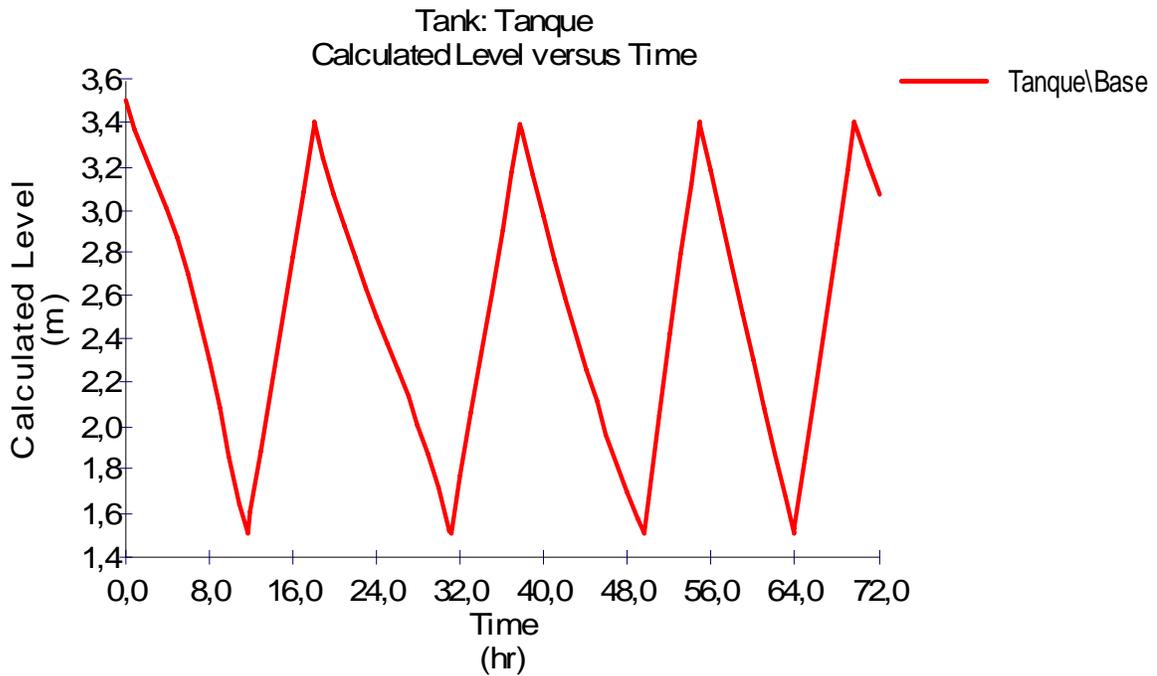


Figura 5.13 Comportamiento del nivel del tanque según la demanda de caudal.

Todos los valores obtenidos para el modelado de la planta de abastecimiento de agua para la zona de Cahuita se pueden observar en el apéndice A.4 del presente informe.

5.1.3 Diseño de los paneles para transferencia de datos vía GSM

Para integrar la idea de la solución al problema se construyeron dos módulos, uno de los módulos tiene como función principal monitorear la información que genera el segundo módulo conectado al tanque de abastecimiento de agua, como se muestra en la figura 5.14. Ambos módulos se implementaron utilizando PLC de la familia S7 200 de Siemens los cuales se comunican por puerto serie protocolo RS 245/232 con módems MC45 de tecnología GSM fabricados por la empresa MC-Technologies.

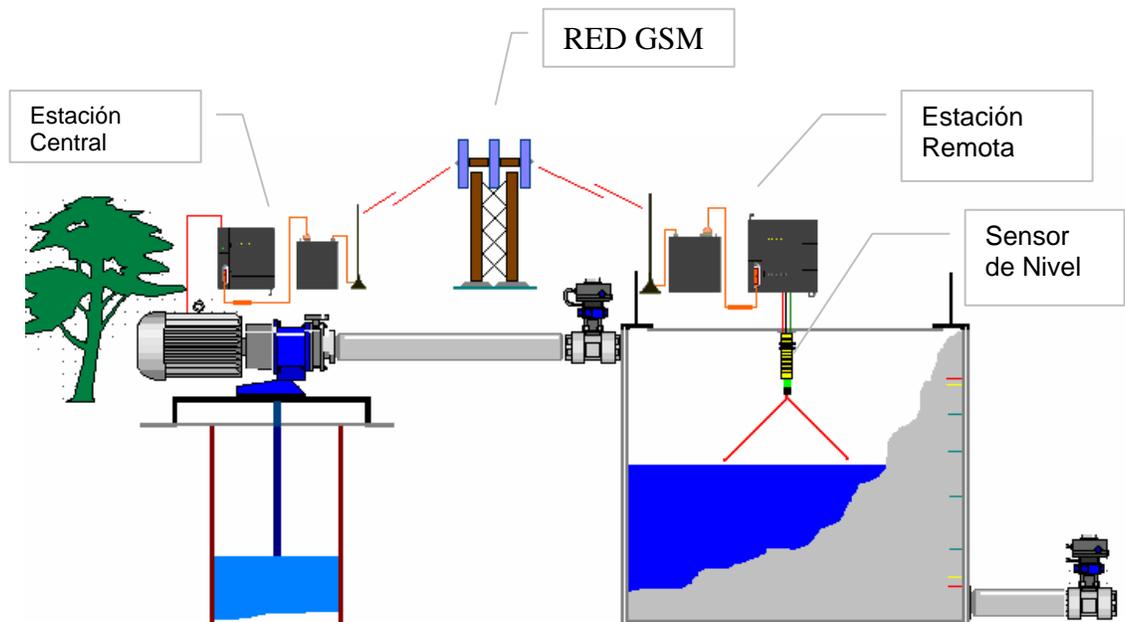


Figura 5.14 Representación de dos módulos para el control y monitoreo de un tanque de agua.

Como se muestra en la representación de la figura 5.14, hay un módulo (estación remota) en la planta de abastecimiento para el control y monitoreo del tanque el cual toma los datos del sensor de nivel (ver anexo B.2) obtenidas en unidades de frecuencia y los interpretará en unidades de metros como referencia para el usuario, para luego ser transmitidas en lapsos de una hora para un día completo por la red GSM (mediante una llamada de datos) hacia otro módulo (estación central) la cual se encarga de recibir e interpretar la información recibida vía GSM. La estación central toma decisiones con respecto a la información recolectada, es decir si por ejemplo empieza a bombear agua en el tanque cuando el nivel del mismo es mínimo, o si por ejemplo manda algún mensaje de texto a algún usuario en caso de

que el tanque se encuentre en un nivel de llenado máximo, etc y a la vez finalizar el enlace cuando esta sabe que ha recibido todos los datos necesarios.

Los dos paneles se diseñaron en hierro negro de 2.5 mm de espesor para albergar los diferentes componentes del sistema. Uno de los paneles representa a la estación remota la cual toma las mediciones del nivel del tanque de abastecimiento y el segundo panel se utiliza como estación central, el cual recolecta la información y la visualiza en una pantalla gráfica.

El Panel se constituye de componentes adicionales a los PLCs S7 200, a los módems GSM MC 45 Terminal y al sensor de nivel como lo son:

- Botones pulsadores luminosos
- Soporte de Riel DIN
- Bornes de control
- Cable THHN
- Conectores hembra/hembra RS 232

Alguno de estos componentes se puede apreciar en las figuras 5.15 y 5.16 que muestra los planos de distribución de la estación remota y central respectivamente. Por supuesto también se disponen de los componentes que simulan la estación central y remota para el monitoreo del nivel del tanque de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita.

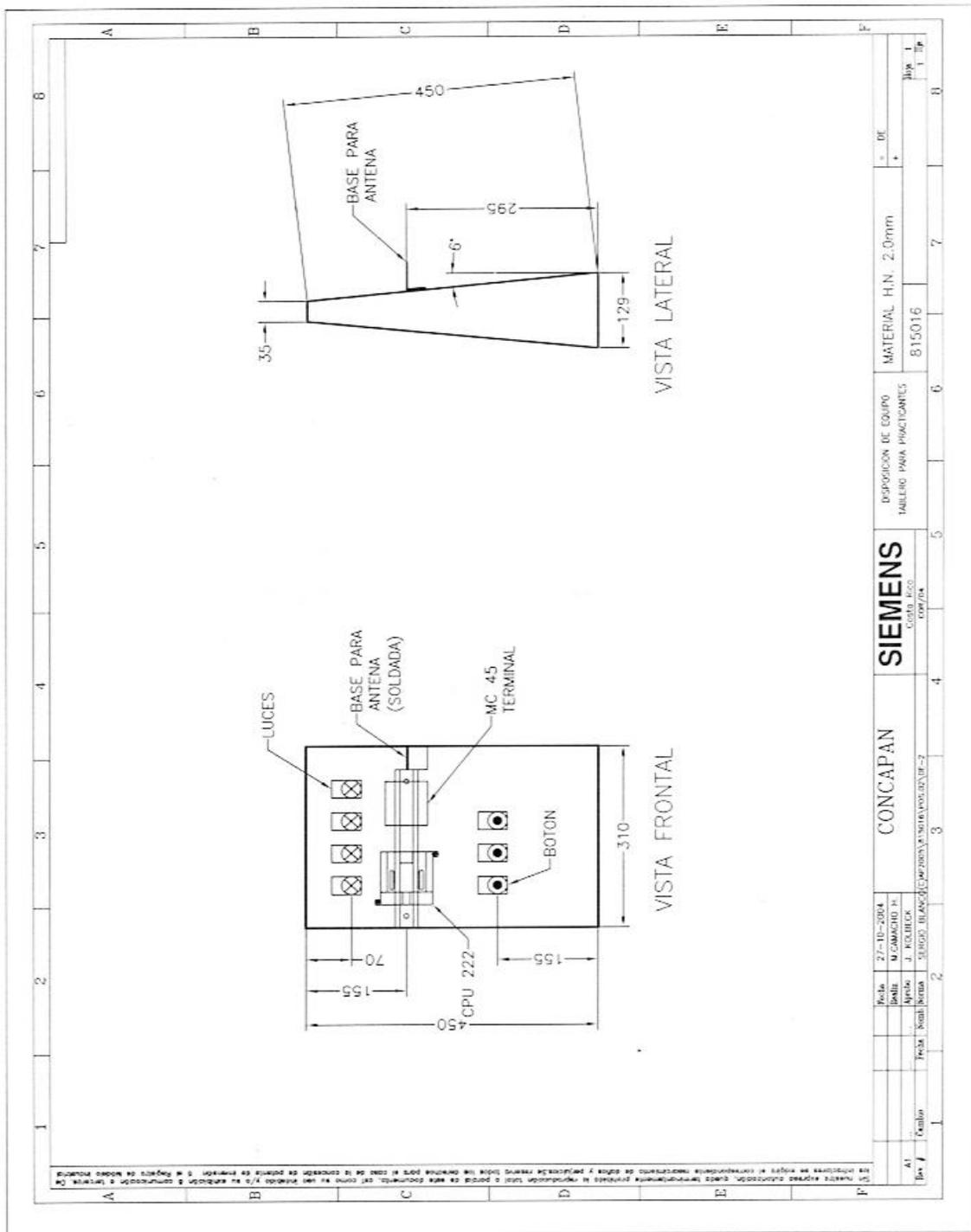


Figura 5.15 Plano de disposición del Panel demostrador para la estación remota.

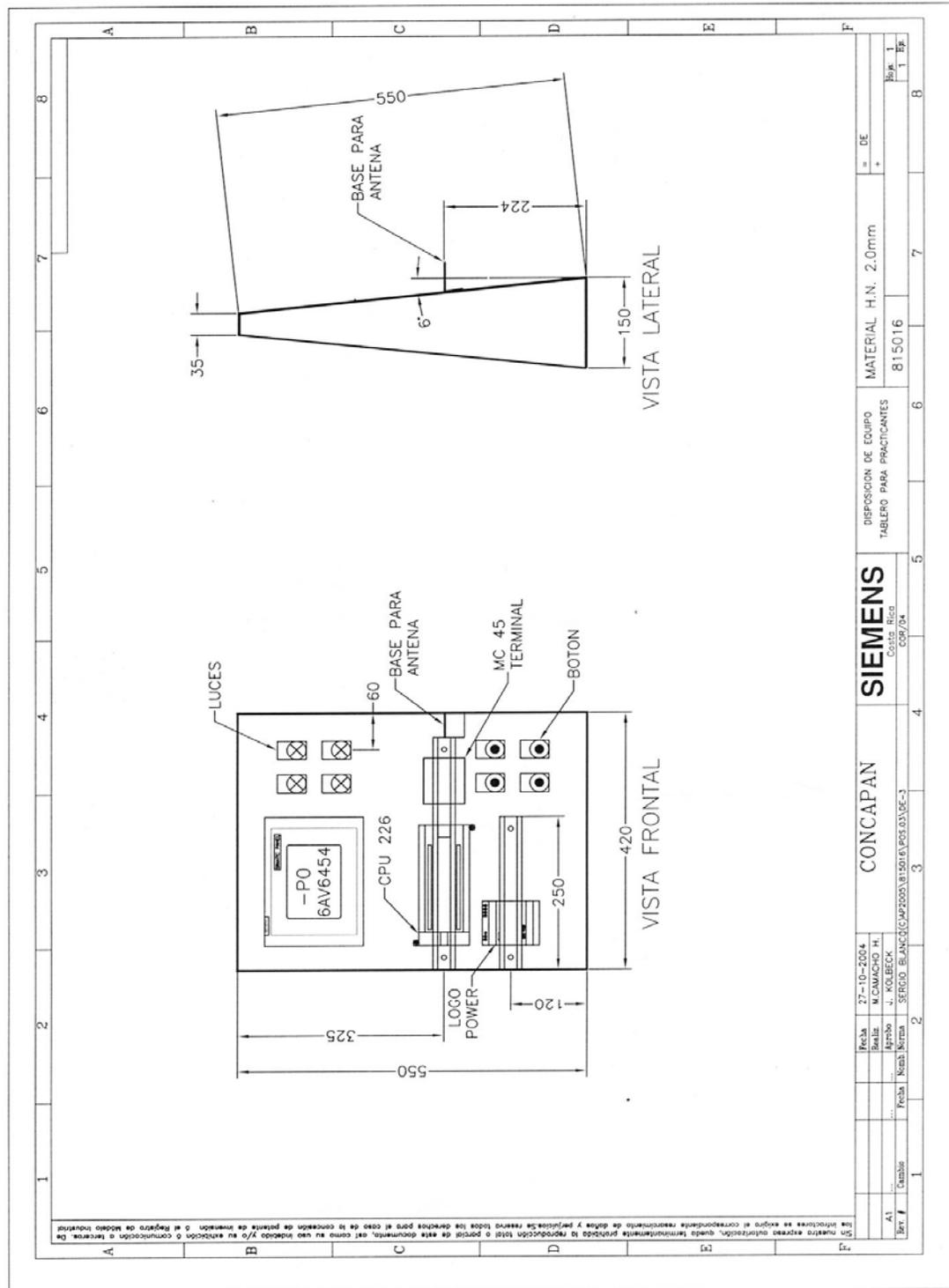


Figura 5.16 Plano de disposición del Panel demostrador para la estación central.

Al lograr integrar el PLC S7 200 con el módem MC45 terminal por medio del cable de comunicación PC/PPI utilizando protocolo de comunicación RS 485/ RS 232 se puede acceder a las funciones vitales del sistema elaborado para contar con los servicios del GSM. Estos servicios satisfacen los requerimientos necesarios para lograr realizar el control y monitoreo de la planta de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita y a la vez muestran la lógica utilizada para la implementación e integración del Hardware utilizado, la cual se mencionan a continuación:

Tabla 5.6 Servicio para el envío de mensajes de texto SMS a un teléfono móvil

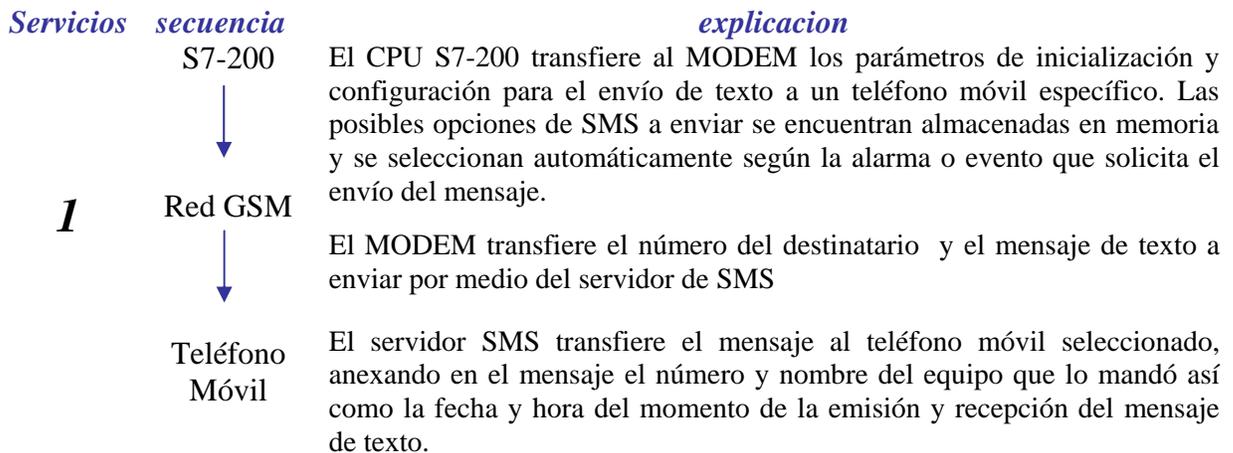


Tabla 5.7 Servicio para el envío de SMS a una estación remota

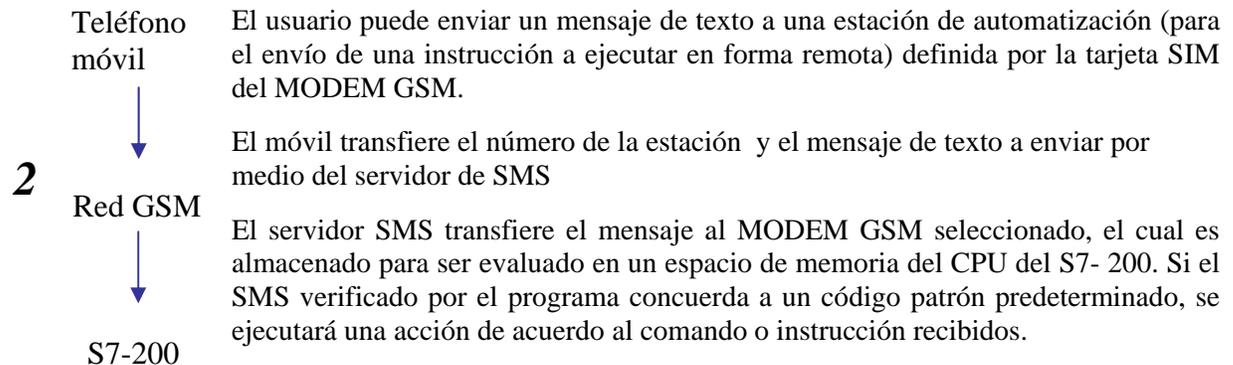


Tabla 5.8 Envío de SMS de una estación remota a un correo electrónico

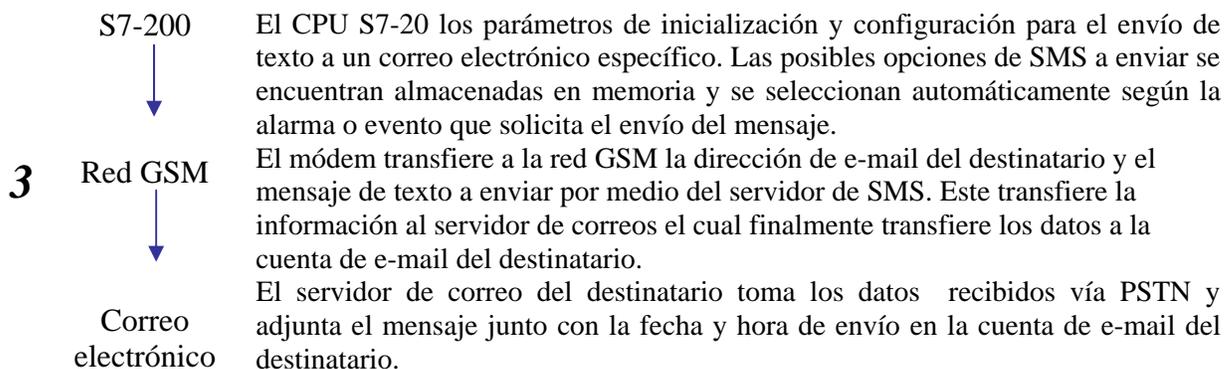
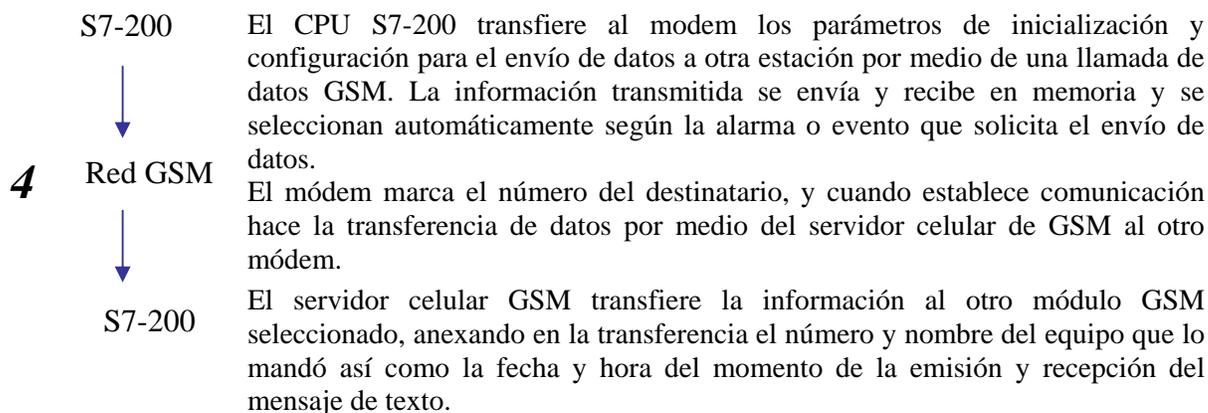


Tabla 5.9 Servicio para la transferencia de datos de una estación remota a otra



5.2 Descripción del Software Implementado

Para facilitar el modo de programación y tener un mejor manejo de la información, el programa realizado en Step7 se dividió en varias rutinas con funciones específicas de trabajo.

El programa realizado en StepS7 se divide de manera principal en el programa principal (el cual envía operaciones y evalúa los datos recibidos provenientes del tanque de agua) y un programa de interrupciones (el cual identifica y encuentra los caracteres recibidos), esto se ilustra en la figura 5.17.

Cuando el CPU arranca el programa principal es procesado, cuando esto sucede cierta parte del código es asignado al reconocimiento de ciertos eventos (descritos en mayor detalle más adelante) los cuales son autorizados para trabajar en cualquier que un evento específico ocurra; es decir, cuando sucede un evento específico previamente programado se produce una interrupción la cual suspende la continuidad de el procedimiento usual del programa, para dar atención a la solicitud del evento.

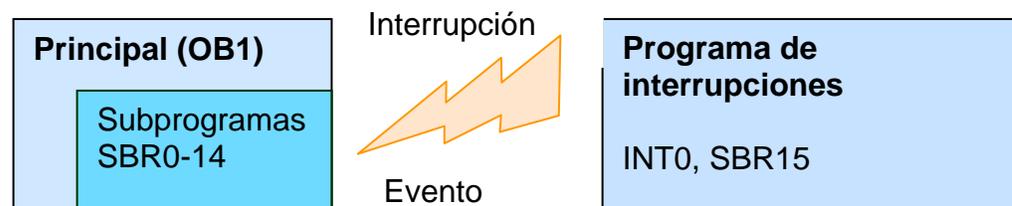


Figura 5.17 Diseño básico del programa realizado en micro/Win

5.2.1 Descripción del programa para el control y monitoreo del tanque

Cuando el programa inicia por primera vez, la interfase serial del CPU S7 200 se inicializa en modo libre para ASCII. Seguidamente, el MC45 terminal es inicializado con los parámetros necesarios de configuración para envío de SMS, recepción de SMS y transferencia y recepción de datos vía llamada GSM.

Todos los caracteres son transmitidos por el puerto 0 del PLC S7 200, los cuales a su vez con interpretados por el módem como una secuencia de comandos AT, es decir un “string” de caracteres. Cuando el módem interpreta cada comando devuelve una respuesta inmediata al PLC el cual mediante una subrutina de interrupciones interpreta si el comando fue configurado correctamente o no, lo cual le permite al programa decidir si ejecuta la siguiente instrucción o no.

De igual forma el programa posee una sección de memoria para la recepción de caracteres sea vía SMS o por transferencia de datos vía llamada GSM. El programa mediante la rutina de interrupciones es capaz de interpretar cuando el mensaje ha sido recibido en su totalidad, permitiendo que la llamada vía GSM solo dure el tiempo de transferencia de la información.

CAPITULO 6: Descripción detallada de diseño del Software.

6.1 El programa principal (OB1)

En el OB1, todos los subprogramas del primer nivel de prioridad son llamados y procesados. Estos subprogramas son las rutinas principales para las funciones más importantes que se realizan dentro del programa.

Cada subprograma tiene una función específica, esto facilita que el diseño del programa pueda ser estructurado en forma modular. Esta estructuración modular ayuda a que si alguna de las rutinas en un subprograma falla no afecte a las demás subrutinas de trabajo, aparte de que si se desea mejorar o cambiar alguna parte del código fuente, podrá hacerse mayor facilidad.

Para lograr una mayor eficiencia en la elaboración del programa, todos los parámetros necesarios a utilizar se dan solamente en los dos primeros subprogramas INIC_PTO (SBR0) he INIC_MODEM (SBR1).

La lógica utilizada para la elaboración del programa general del manejo del prototipo se puede seguir mediante el diagrama de flujo elaborado en la figura 6.1, la cual se explica a continuación.

Una vez que el programa empieza a correr mediante la opción por hardware del PLS7 200, se declaran las variables programadas tanto globales y temporales para el manejo del programa, y a la vez se reconocen las interrupciones programadas para el manejo del programa las cuales se explicarán posteriormente.

Inmediatamente el programa configura el puerto de comunicación del PLC S7 200 para lograr el envío y recepción de caracteres ASCII a una velocidad de 9.6 Kbytes/segundo.

Una vez configurado el protocolo de comunicación para la transmisión de datos y chequeando que el puerto se encuentra habilitado se procede a habilitar la rutina de Configuración de parámetros para la inicialización del módem MC45.

Esto se logra mediante el envío de comandos AT en “string” de caracteres los cuales son reconocidos por el módem una vez que ingresa el carácter de control explicado en el apartado 3.4.5.1.

Cada vez que el módem reconoce un comando se procede a su respectiva evaluación siguiendo de forma que si el módem detecta un error en el comando enviado por el PLC S7 200 envía a este el número 2 especificando un error de comando; de no ser así, el módem MC45 envía al módem el carácter del número 0 el cual significa que el comando a sido reconocido y se ha ejecutado la función específica correspondiente al contenido del comando AT.

Cuando el PLC S7 200 configura todas las rutinas de inicialización necesarias de manera efectiva el programa activa todas las rutinas de manejo y control del prototipo incluyendo en ellas las encargadas para el manejo de los servicios del GSM proporcionados por el país. Cabe señalar también de acuerdo al diagrama de bloques de la figura 6.1 que antes de activar las rutinas de trabajo del programa se desactiva automáticamente la rutina de inicialización del módem, esto con el fin de proporcionar al usuario una garantía de que se enviaran comandos AT de inicialización en algún otro momento.

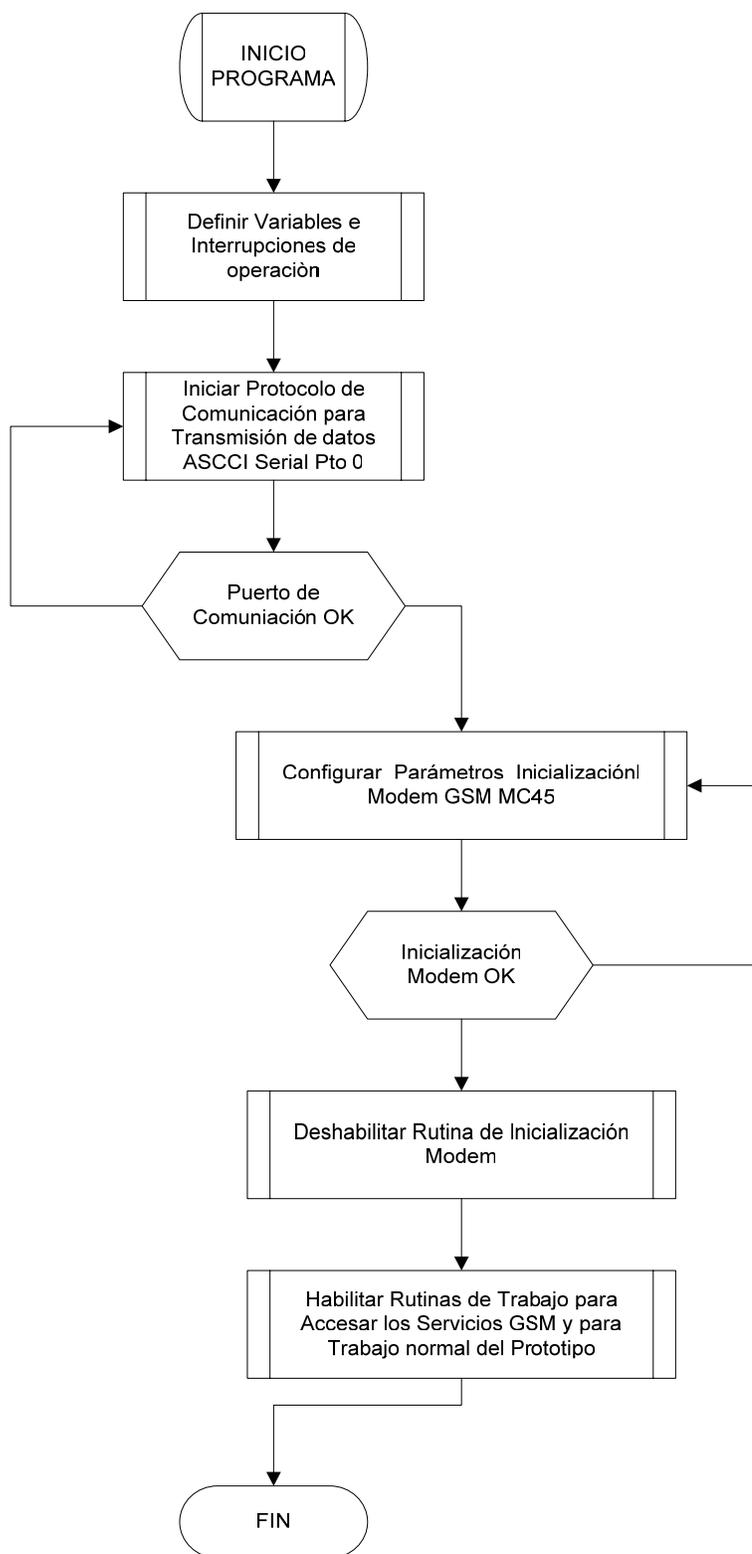


Figura 6.1 Diagrama de bloques implementado para el programa principal.

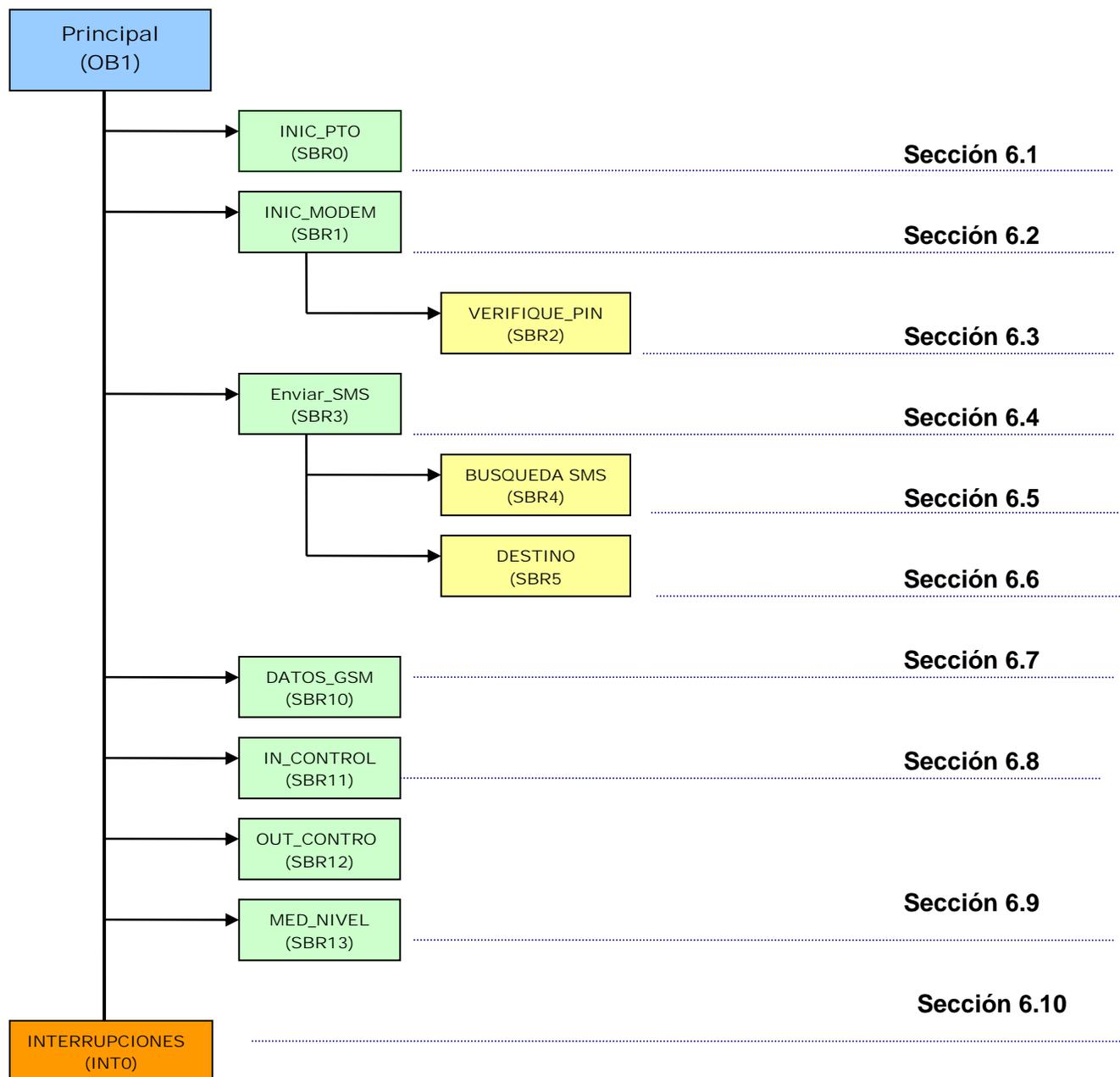


Figura 6.2 Guía para las descripciones del código y algoritmos implementados

La figura 6.2 desglosa los distintos apartados en los cuales se dará un énfasis principal en cuanto a la elaboración del software realizado en micro win/step7 para el manejo de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita en la provincia de Limón Costa Rica.

6.2 Inicialización de Puerto

La inicialización del puerto es una de las partes más importantes del software implementado, ya que es esta rutina es la encargada de configurar el protocolo de comunicación por el cuál el PLC S7 200 tendrá la capacidad de intercambiar información con el módem GSM TC45 terminal, con lo cual se podrán utilizar todos los servicios en cuanto a GSM que se ofrecen actualmente en el país.

La figura 6.3 muestra el diagrama de flujo seguido para realizar la configuración de todos los aspectos necesarios para la inicialización del puerto de comunicación serial RS 232.



Figura 6.3 Diagrama de flujo para la configuración del puerto en modo "free port".

Apenas el programa empieza a correr en el PLC S7 200, se llama a la rutina denominada INIC_PTO (ver figura 6.4), la cual es la encargada de establecer los parámetros necesarios para definir el protocolo de comunicación entre el módem MC45 terminal y el PLC S7 200. También es la encargada de activar las interrupciones que serán utilizadas por el programa para el manejo de envío y transferencia de caracteres.

Una vez que la rutina SBR0 se ha ejecutado correctamente, activa la marca de control M0.0 la cual es la encargada de activar todas las Rutinas de trabajo del programa.

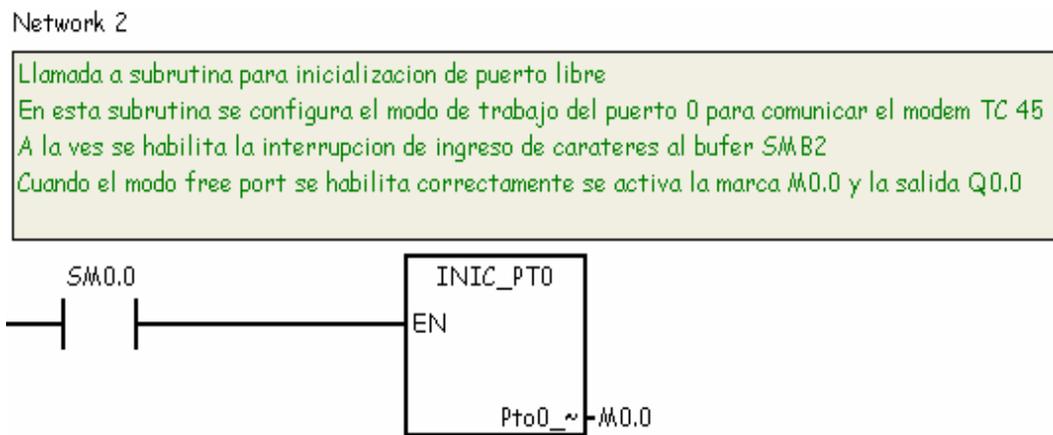


Figura 6.4 Bloque para la configuración del protocolo de comunicación.

6.2.1 Configuración del protocolo de comunicación “free port”

Se eligió el modo de puerto de libre conocido como configuración libre por el usuario, el cual es un protocolo de comunicación en el cual se definen los parámetros necesarios para lograr intercambiar datos en forma serial entre los dos dispositivos como los son la velocidad de transferencia, los bits por carácter, la paridad y el protocolo, como se explicó en el apartado 3.4.3 del marco teórico correspondiente a los protocolos de comunicación para un PLC S7 200.

Utilizando como referencia la tabla 3.5 del apartado 3.4.3.1 del marco teórico y de acuerdo a las características del módem, la configuración para el modo de puerto libre queda de acuerdo a la tabla 5.4 que se muestra a continuación.

El contacto normalmente abierto con el nombre de la etiqueta SM0.1 es un bit que se activa sólo en el primer ciclo, lo cual permite inicializar el protocolo para puerto libre para el primer ciclo en el que el programa inicia su ejecución en el sistema. El pseudo código utilizado para la inicialización del puerto 0 se muestra a continuación:

```
LD ON_primer_ciclo//      activar señal solo para primer ciclo de trabajo
MOVB 16#09, SMS30//      mover el valor 09 hexadecimal a la marca SMS30
LD SM4.5//                Visualizar la marca de que el Puerto ha sido configurado
LD ON_primer_ciclo activar señal solo para primer ciclo de trabajo
```

ATCH INTERRUPTIONES, 8// Definir rutina llamada interrupciones para eventos de transmisión o recepción de caracteres de manera serial.

```
ENI//                    // habilitar la ejecución de todos los eventos asociados.
```

El bloque del programa definido como interrupciones la cual se describirá más adelante son controladas por el evento 8 descrito en la tabla 3.8 del capítulo 3 correspondiente al apartado de los tipos de interrupciones de comunicación.

Para llamar a esta rutina de interrupción fue preciso establecer un enlace entre el evento de interrupción y la parte del programa que se desea ejecutar cuando se presente el evento. La operación Asociar interrupción (ATCH) sirvió para asignar este evento de interrupción (indicado por el número de evento) a una parte del programa (indicada por el número de la rutina de interrupción). Cuando se asocia el evento 8 a la rutina de interrupción, se habilita automáticamente el evento.

Con esto se garantiza que siempre que el módem reciba información sea por mensajes de texto o mediante la transmisión de datos mediante una llamada de GSM, el PLC S7 tendrá la capacidad de recibir esta información en memoria y tomar las acciones necesarias de acuerdo al tipo de mensaje o información recibida.

6.3 Inicialización de módem

La inicialización del módem requiere de una serie de comandos AT para lograr acceder a los servicios del GSM que ofrece el país. La secuencia de comandos para configurar el módem de manera correcta se explica en mayor detalle en el diagrama de flujo de la figura 6.6.

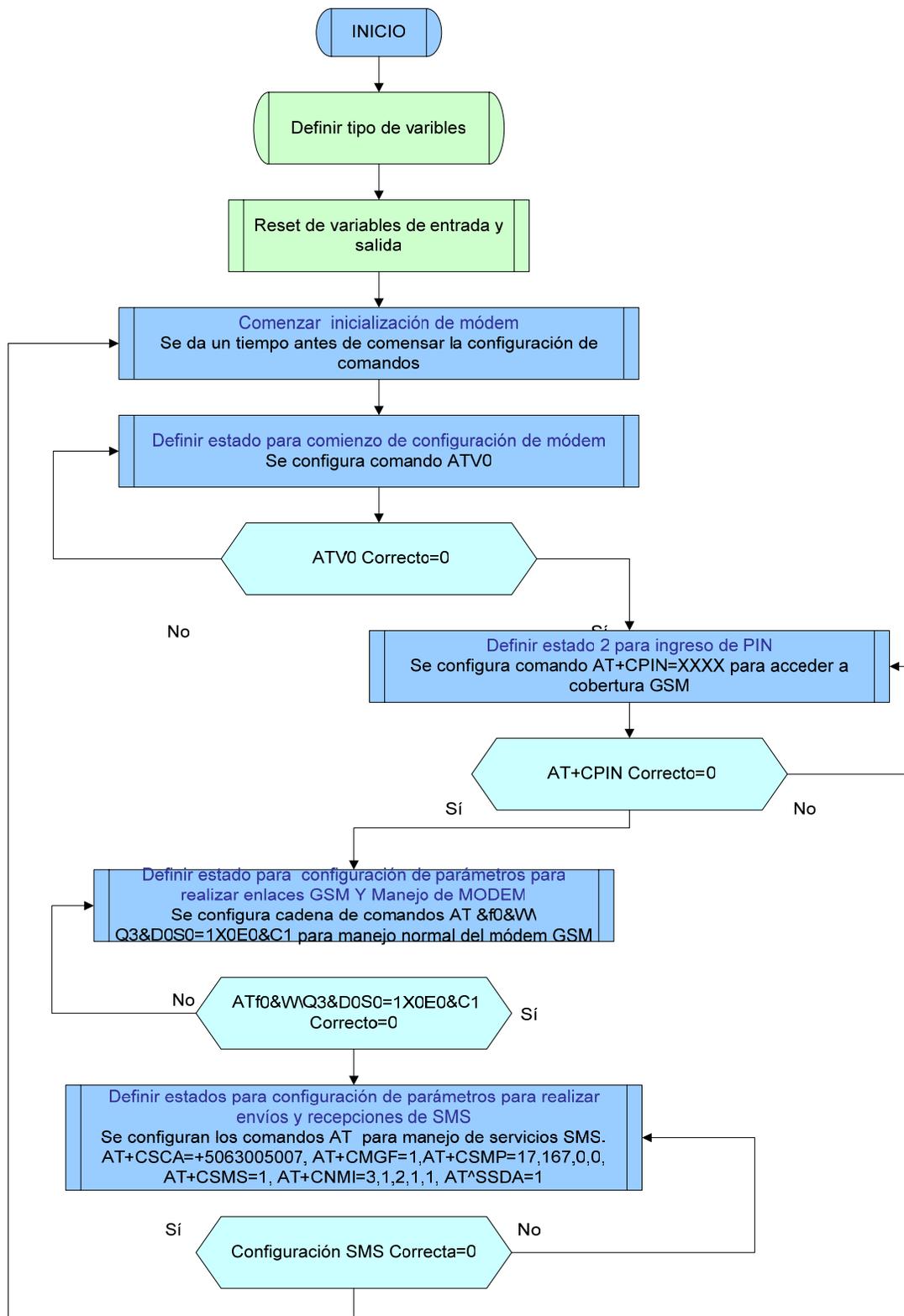


Figura 6.6 Diagrama de flujo para la inicialización del módem TC45 terminal.

El bloque de llamada a la rutina Inic_modem como se muestra en la figura 6.7 es el encargado de configurar en el módem MC45 terminal todos los parámetros de inicialización necesarios para el envío y recepción de SMS, así como las transferencias de datos vía llamadas GSM.

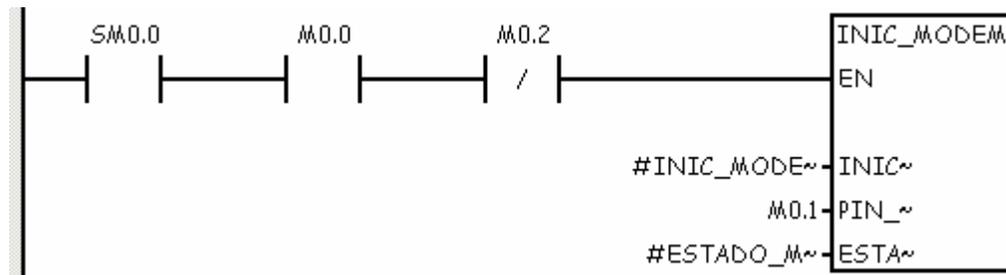


Figura 6.7 Bloque para la configuración e inicialización del módem MC45.

Cuando la rutina de inicialización del módem GSM empieza realiza una secuencia de ocho estados, los cuales se pueden verificar mediante la marca de control Estado_Modem. Esta marca fue programada con la finalidad de confirmar que todos los estados necesarios para la inicialización fueron reconocidos por el módem, de no ser así, se logra chequear en cual estado existió un error de configuración, por ejemplo el estado de reconocimiento de ingreso de PIN, como se muestra en la figura 6.8.

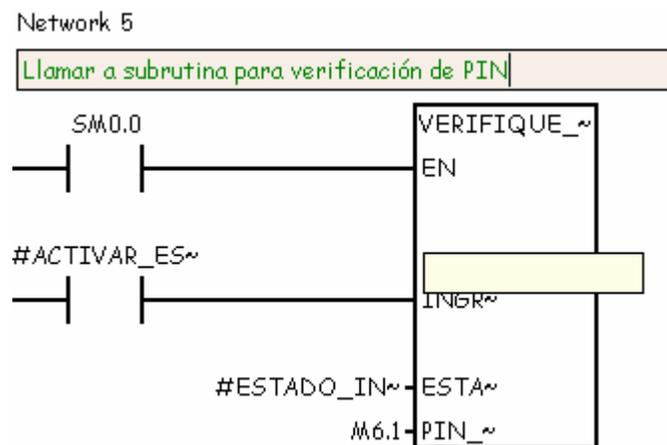


Figura 6.8 Bloque para el ingreso y verificación del PIN en el módem MC45.

La rutina de verificación de PIN tiene como objetivo principal ingresar el número de PIN correspondiente a la tarjeta SIM que contiene el módem. De no ser correcto el número de PIN introducido el programa como parte de un sistema de seguridad termina la inicialización y devuelve el proceso al principio, dejando al programador con otras dos opciones de configuración de PIN.

La subrutina de verificación de PIN como se aprecia en la figura 6.6, contiene dos marcas de control:

- Estado_inic_modem: muestra si el estado dos se realizó satisfactoriamente
- M6.1: indica con valor booleano de uno si el PIN fue aceptado por el módem

La configuración óptima del módem corresponde a la configuración de 18 comandos AT definidos en ocho estados de trabajo de la rutina de inicialización de módem. Las tablas 6.2, 6.3 y 6.4 describen la configuración de los comandos AT necesarios para la inicialización del módem TC45 terminal, de acuerdo a las propiedades propias para cada uno de ellos (ver anexo B.4) y según las características propias del servicio de GSM que brinda el país.

Tabla 6.2 Comandos AT estándar categoría V.25ter

Comando	Configuración	Descripción
ATV	ATV0	Verificar mensajes abreviados en forma de número. (ver anexo B.5)
AT&F	AT&F0	Resetear los ajustes estándar.
AT&W	AT&W0	Define que todas las configuraciones a realizar queden en memoria
AT/Qn	AT/Q3	Configura el control de flujo de datos por hardware RTS/CTS
AT&D	AT&D0	Se ignora la señal DTR
ATS0	ATS0=1	Contestar después del primer timbre.
ATE	ATE0	Eliminar eco del módem
ATX	ATX0	Ignorar tono de marcación/Ignorar señal 'ocupado'
AT&C	AT&C1	Desactivar control de flujo de datos
ATDT	ATDT	Realizar llamada GSM para transferencia de datos
ATH0	ATH0	Terminar llamada GSM
+++	+++	Finalizar transmisión de caracteres

Los comandos AT de la tabla 6.3 corresponden a los comandos estándar para cualquier tipo de módem de acuerdo a las normas del ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication sector) documento V.25ter.

Tabla 6.3 Comandos AT para servicio GSM 07.07

Comando	Configuración	Descripción
AT+CPIN	AT+CPIN=XXXX	Configura el número de la tarjeta SIM insertada en el módem, el número debe ser de 4 caracteres.

El comando AT de la tabla 6.4 está en la categoría de servicio GSM 07.07 para módems GSM de acuerdo a las normas del ETSI (European Telecommunications Standards Institute) documento GSM 07.07.

Tabla 6.4 Comandos AT para servicio GSM 07.07

Comando	Configuración	Descripción
AT+CMGF	AT+CMGF=1	Define formato de texto para el SMS
AT+CSMP	AT+CSMP=17,167,0,0	Derechos reservados
AT+CSCA	AT+CSCA=+5063005007	Configura el número del servidor para envío de SMS
AT+CSMS	AT+CSMS=1	Derechos Reservados
AT+CNMI	AT+CNMI=3,1,2,1,1	Derechos Reservados
AT^SSDA	AT^SSDA=1	El módem es capaz de desplegar el mensaje de texto
AT+CMGR	AT+CMGR=1	Leer mensaje recibido
AT+CMGD	AT+CMGD=1	Borrar mensaje recibido

Los comandos AT de la tabla 6.4 están en la categoría de servicio GSM 07.05 para SMS de acuerdo a las normas del ETSI (European Telecommunications Standards Institute) documento GSM 07.05.

6.4 Verificación de PIN

Como se mencionó en el apartado 6.2.3 del capítulo anterior la rutina de inicialización de módem contiene una subrutina para la configuración del PIN, la cual se encarga de configurar el PIN programado en el bloque de datos de memoria correspondiente a la tarjeta SIM introducida en el módem (ver anexo B.1).

Este paso es sumamente importante ya que no sólo permite que el módem se incorpore a la red celular del país, sino que también, permite que el módem pueda ejecutar comandos de trabajo como por ejemplo el envío y recepción de SMS, conexión entre módems mediante llamada de tonos, etc. Estos comandos para los cuales se requiere la configuración del PIN se pueden observar en el anexo B.6.

Para que el módem TC45 terminal reconozca el SIM introducido, el PLC S7 200 debe enviar el comando `AT+CPIN="XXXX"`, donde el espacio dado entre comillas corresponde al número de identificación personal correspondiente al SIM. Cuando se introduce este comando con el respectivo "PIN", el módem TC 45 queda preparado para poder trabajar con la red GSM del país.

La lógica implementada para el reconocimiento e inspección del PIN configurado se muestra en la figura 7.5 Si el número de identificación introducido por el PLC s7 200 concuerda con el número específico del SIM, el módem manda una respuesta de "OK", de no ser así manda el valor 4 el cual corresponde a mensaje de error.

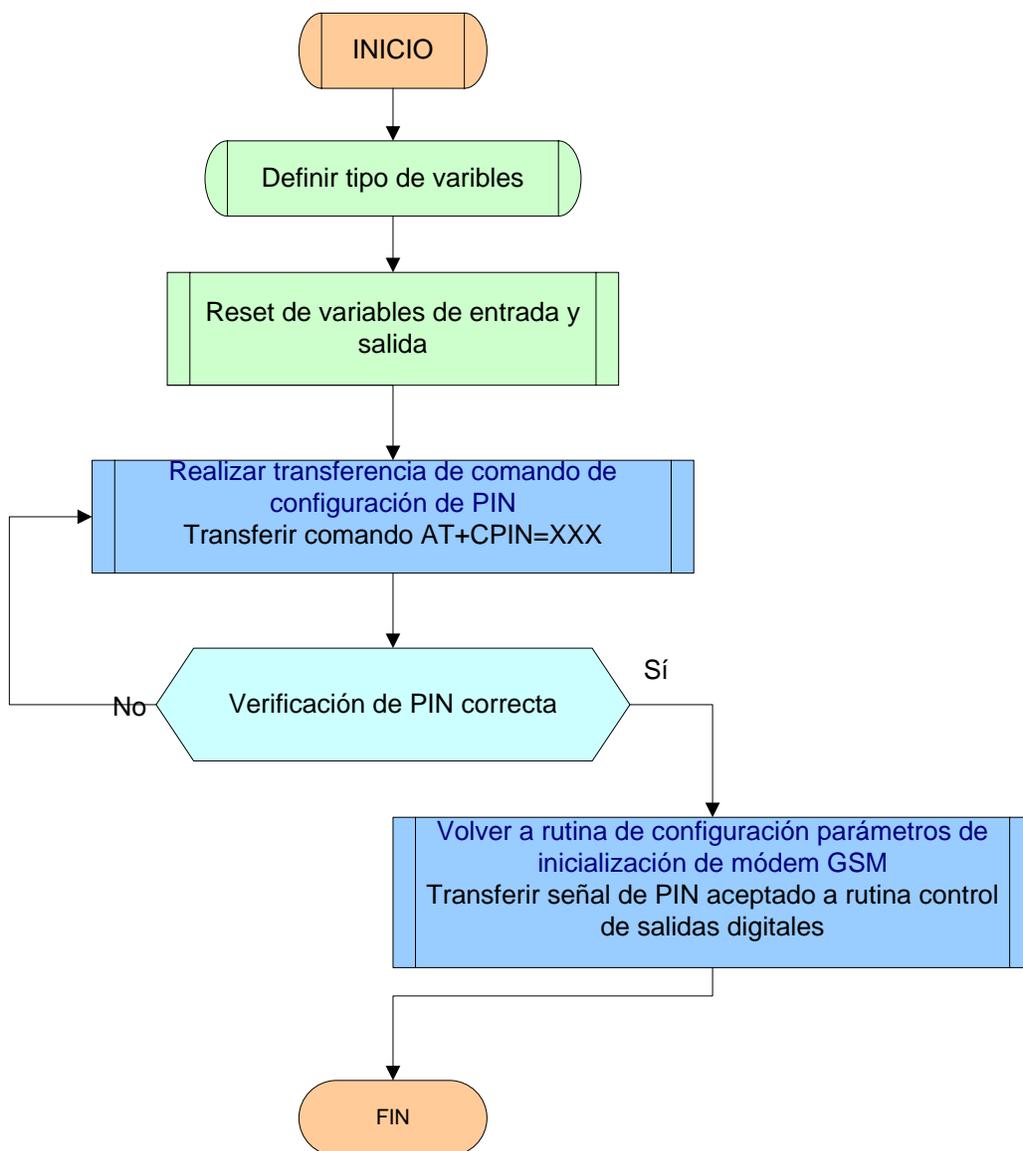


Figura 6.9 Diagrama de flujo para la configuración del número de PIN

Otro aspecto importante a resaltar como se observa en la figura 6.9 es que si la rutina de configuración de PIN detecta que el PIN no fue reconocido por la red celular de manera correcta la rutina procede a hacer dos intentos más. Si en estos dos intentos el PIN fue incorrecto el sistema de una señal de alarma como protección del sistema ante usuarios no autorizados para manejar el sistema.

De lo mencionado anteriormente si el sistema realizó tres intentos para configurar el PIN de la tarjeta SIM y no se tuvo éxito, la única manera de restaurar el sistema para volver a intentarlo es mediante la configuración del PUK el cual es un número de seguridad dado para cada usuario de telefonía celular en particular.

El pseudo código implementado de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 5.30 queda determinado de la siguiente manera:

```

LD    #INGRESAR_PIN // Activar señal para enviar comando de configuración de PIN
XMT   VBXX, 0 // transmitir la posición de memoria donde esta almacenado el comando
AT+CPIN=XXXX por el puerto 0
S     #PIN_INGRESADO, 1//activar señal de transmisión de comando AT
TON   #PIN_INGRESADO, 3.5 SEGUNDOS// Mantener señal de PIN_Ingresado durante 3.5
segundos, tiempo de mientras módem interpreta el número enviado
=     #VERIFIQUE_PIN// activar señal de verificación a los 3.5 después
LD    SMB2// cargar el valor registrado por la marca especial de lectura de
character SMB2
IF SMB2 = 16#30 THEN //si el valor registrado por la marco corresponde a 30
hexadecimal configurar PIN como correcto
#VERIFIQUE_PIN=1
R     VERIFIQUE_PIN// reset señal de verificación de PIN
ELSE
#VERIFIQUE_PIN=0// PIN incorrecto

```

El pseudo código anterior lo que busca es un sistema confiable y seguro, mediante el cual el PLC S7 200 pueda trabajar con el módem únicamente con el PIN específico previamente programado en el PLC de la tarjeta SIM escogida para el módem TC 45.

6.5 Enviar SMS

Para el envío de mensajes de texto se siguió la lógica implementada en el diagrama de flujo de flujo que se muestra en la figura 6.10.

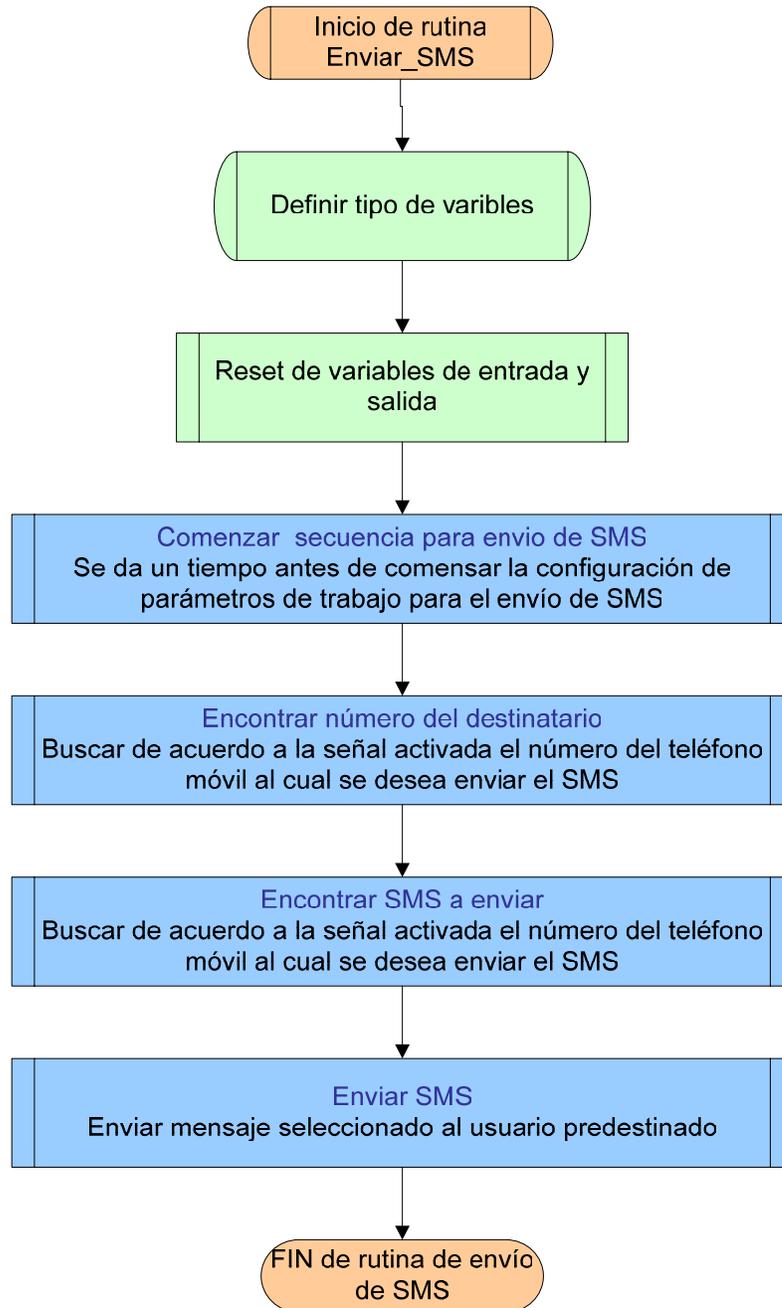


Figura 6.10 Diagrama de flujo para lógica de programación implementada para el envío de SMS.

De acuerdo al diagrama de flujo anterior se pueden encontrar tres segmentos principales:

- Búsqueda del mensaje
- Búsqueda del número de teléfono móvil a enviar y
- Rutina para enviar el mensaje escogido al número seleccionado

La figura 6.11 muestra la subrutina para el llamado del subprograma Envío_SMS. Esta rutina tiene como objetivo principal el envío de mensajes de texto a un o varios teléfonos móviles de destinatarios finales o para el envío de SMS a correos electrónicos configurados previamente.

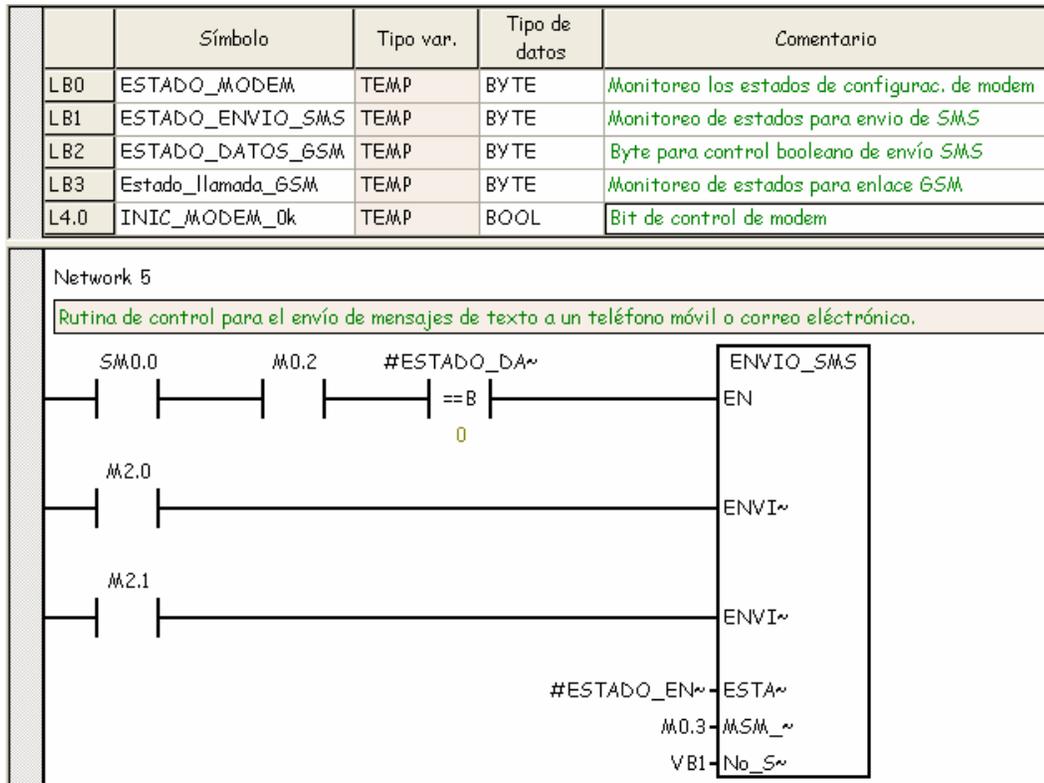


Figura 6.11 Subrutina para el envío de mensajes de texto.

Cuando se activa la marca M2.0 se produce una solicitud para envío de SMS a un teléfono móvil o correo electrónico. Cuando esto sucede la rutina envío_SMS tiene que cumplir con dos necesidades fundamentales, las cuales son:

- Búsqueda del mensaje de texto de acuerdo al evento acontecido dado por la variable de control VB1 y
- Búsqueda número telefónico del usuario final al cual el sistema debe enviar el mensaje de texto.

6.6 Búsqueda de mensaje

Para buscar el mensaje a transferir se llama a rutina de control de llamadas explicada más adelante, la cual monitorea el estado de las entradas digitales donde se produjo la solicitud de envío del mensaje. Este transfiere un valor dado a la rutina de búsqueda de mensajes el cual corresponde al mensaje de texto a seleccionar y lo transfiere a una posición de memoria para luego ser mandado mediante el comando AT apropiado para esa función.

El pseudo implementado para este caso se muestra a continuación:

```
LD   #Seleccionar_SMS // activar señal de búsqueda de mensaje de texto
AB=  #No_SM, X // asignar el valor de mensaje a seleccionar dentro de la lista programada
EU   //activar pulso para transferencia de mensaje a memoria
BMB  VBXX, VBXX,41 //almacenar bloque de 41 bytes comenzando desde la primera
posición de inicio del mensaje de texto.
```

La lista de mensajes de texto se programaron previamente en un bloque de memoria definido entre los bytes VB700 hasta el byte VB1200 para dar una capacidad de respuesta de 10 mensajes de texto a elegir, configurables por el usuario.

Para la búsqueda del mensaje de texto el subprograma envío_SMS hace una llamada a la subrutina búsqueda de mensaje de texto como se aprecia en la figura 6.12.

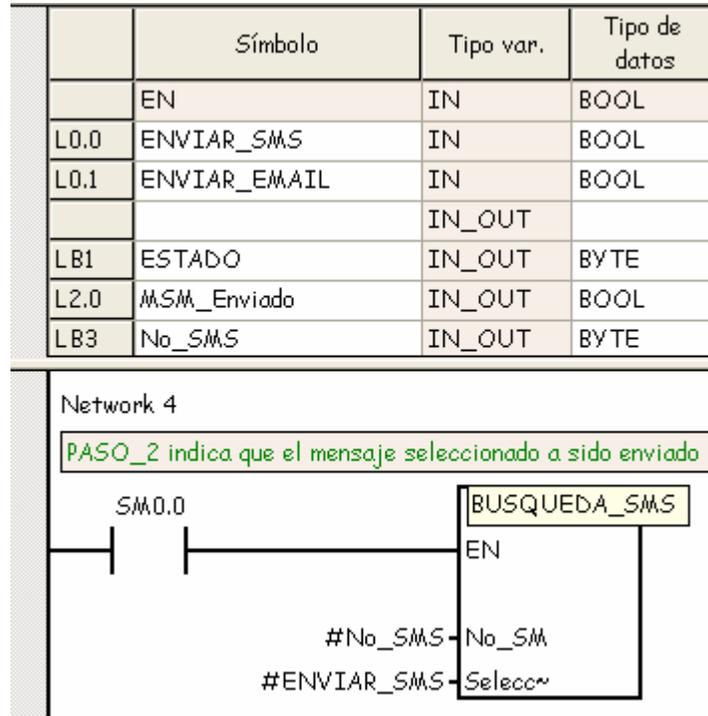


Figura 6.12 Subrutina para la búsqueda de mensaje de texto.

Esta rutina escoge de acuerdo al valor asignado en la variable temporal LB3 (ver figura 6.8) el mensaje de texto a escoger de acuerdo a la programación realizada en el bloque de datos de memoria del programa como se muestra en la figura 6.13.

```

-----
VB750 'SIEMENS.'
VB758 ' Planta B. Alerta-1. Bomba1 fallo' //mensaje 1
VB800 'Planta A.Alerta 1: Nivel Tanque maximo !!' //mensaje 2
VB850 'SIEMENS. Planta B. Alerta-3. Bomba3 fallo' //mensaje 3
//.....
VB900 'SIEMENS. Telemetrias GSM. Visitante #' //mensaje 4
VB937 '0'
VB938 '0'
VB939 '0'
VB940 '0'
//.....
VB950 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 05' //mensaje 5
VB1000 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 06' //mensaje 6
VB1050 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 07' //mensaje 7
VB1100 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 08' //mensaje 8
VB1150 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 09' //mensaje 9
VB1200 'SIEMENS. Este es el mensaje no. 10' //mensaje 10
//.....

```

Figura 6.13 Bloque de memoria asignado para la programación de diez mensajes de texto.

6.7 Destino del mensaje de texto a enviar

La lógica utilizada es la misma que para la rutina de búsqueda del mensaje de texto. Según el valor proporcionado por la rutina de control de entradas digitales la rutina de búsqueda de número teléfono busca dentro de una lista de números el número correspondiente al evento seleccionado.

El pseudo código queda definido como se muestra a continuación:

```

LD #SELEC_TEL //activar señal de búsqueda de teléfono móvil
AB= #No_SMS, X //seleccionar el número de teléfono de acuerdo al evento seleccionado
BMB VBXX, VBXX, 7 //transferir el número seleccionado de la lista a una posición dada de
memoria
XMT VB600, 0 //transferir el comando AT+CMGS para envío de SMS con el número
del teléfono móvil seleccionado.
S #TEL_OK, 1// activar señal de número encontrado y configurado.

```

La lista de números telefónos móviles se programaron previamente en un bloque de memoria definido entre los bytes VB600 hasta el byte VB690 para así dar una capacidad de respuesta de 10 números diferentes, configurables por el usuario.

Una vez que la subrutina de búsqueda de SMS a escogido el mensaje de texto correspondiente al evento seleccionado, se procede a seleccionar el número de teléfono del usuario al cual se quiere llegue la alarma o mensaje. Para ello el subprograma envío de SMS posee la subrutina de búsqueda de número telefónico como se muestra en la figura 6.14.

Esta subrutina al igual que la de búsqueda de mensaje cuenta con la variable temporal LB3, la cual contiene el valor a elegir de los diferentes números de teléfono programados previamente en el bloque da datos de memoria al cual se necesita enviar el SMS.

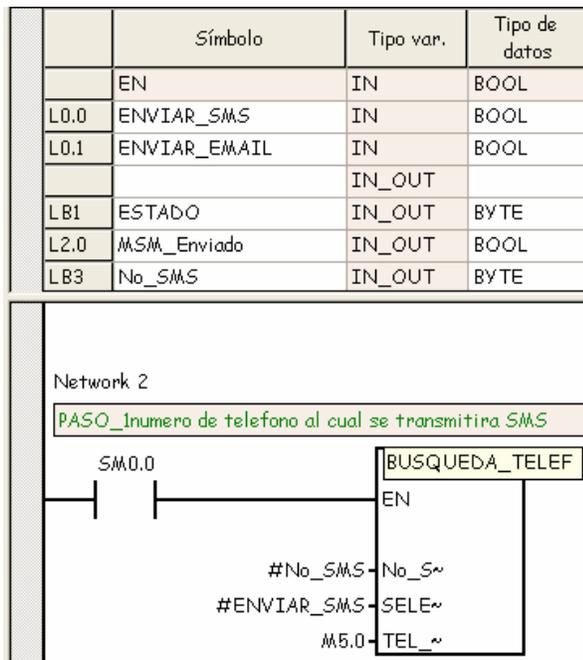


Figura 6.14 Subrutina para la búsqueda del número teléfono al cual se desea llegue el mensaje de texto.

```

//
VB620 '8359427' //Telefono movil 1
VB630 '8359427' //Telefono movil 2
//.....
//.....Telefono Movil Concapan.....
VB640 //1 numero digitado desde TP 070
VB641 //2 numero digitado desde TP 070
VB642 //3 numero digitado desde TP 070
VB643 //4 numero digitado desde TP 070
VB644 //5 numero digitado desde TP 070
VB645 //6 numero digitado desde TP 070
VB646 //7 numero digitado desde TP 070
//.....
VB650 '8359427' //Telefono movil 4
VB660 'XXXXXXXX' //Telefono movil 5
VB670 'XXXXXXXX' //Telefono movil 6
VB680 'XXXXXXXX'
VB690 'XXXXXXXX'
//+++++

```

Figura 6.15 Programación de diez números telefónicos de telefonía móvil en memoria.

Una vez que han sido seleccionados tanto el mensaje de texto como el número del teléfono móvil, la retina de envio_SMS se encarga de llamar a la surutina enviar_SMS la cual se encarga de configurar los comandos AT para el envío de mensajes de texto al teléfono móvil final. Esta rutina se muestra en la figura 6.16.

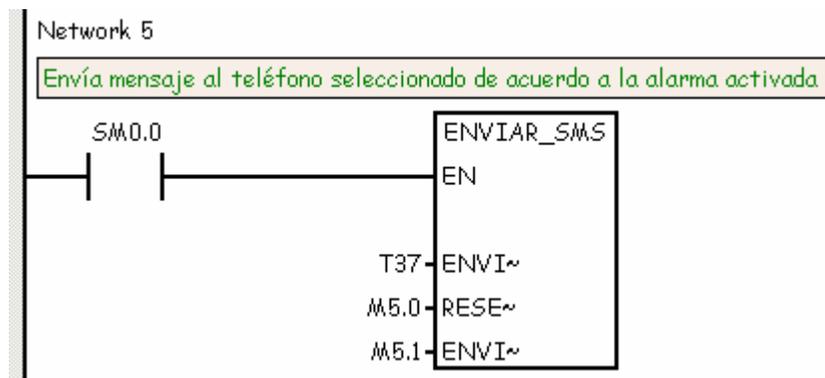


Figura 6.16 Subrutina para el envío del mensaje de texto.

El mismo procedimiento es aplicable para el envío de mensaje de texto a un correo electrónico donde el número telefónico siempre es el mismo, el cual corresponde al número 1000 (puerto de SMS para correos electrónicos).

El sistema también tiene la posibilidad de que el usuario pueda enviar un mensaje de texto a un usuario definidor por él utilizando la pantalla táctil del TP 070, como se muestra en la figura 6.17.



Figura 6.17 Subrutina para el envío de mensaje de texto desde el TP 070.

Para ello se programó en el TP 070 un sistema tanto para el monitoreo de un tanque en tiempo real, así como la opción de enviar mensajes de texto a un teléfono móvil cualquiera, como se muestra en la figura 6.18.

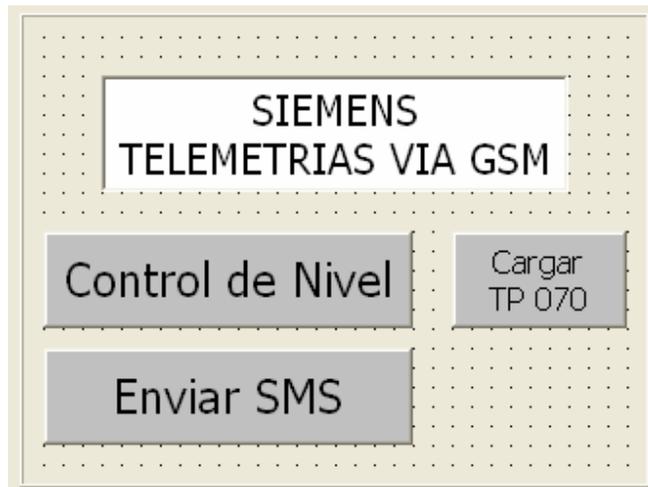


Figura 6.18 Programación del TP 070 para opción de un menú de control.

Cuando el usuario selecciona el botón Enviar SMS se abre una pantalla similar a la de un teléfono móvil, para que este pueda seleccionar el número al cual desea enviar el mensaje de texto, como se muestra en la figura 6.19.

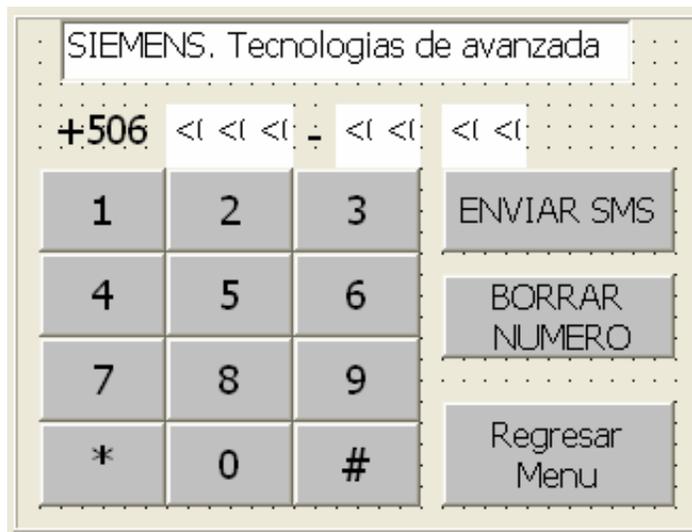


Figura 6.19 Programación en el TP 070 para la posibilidad de enviar un SMS a un número de teléfono móvil definido por el usuario.

6.8 Subprograma IN_Control (SBR11)

La subrutina como se puede observar en la figura 6.20 es la encargada de monitorear y controlar las entradas digitales del PLC S7 200.

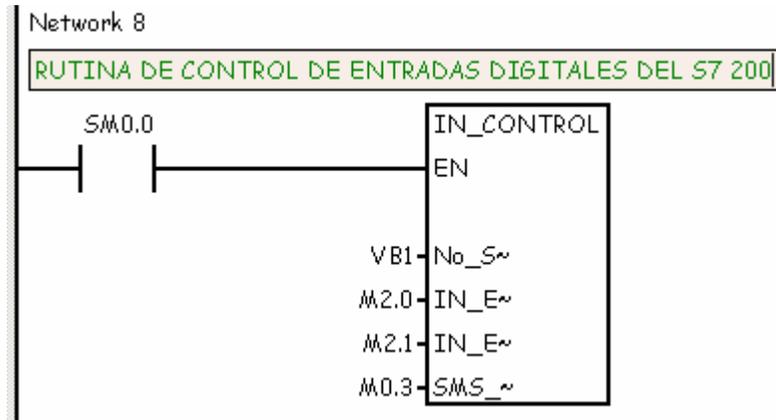


Figura 6.20 Subrutina para el control de las entradas digitales del PLC S7 200.

Cada vez que alguna de la entradas reporta un uno en la entrada esta subrutina se encarga de definir la acción que debe realizar el sistema, es decir, si se debe enviar un mensaje de texto a un teléfono móvil o a un correo, cuál es el mensaje y número a escoger o si lo que se requiere es el envío de información mediante un enlace de llamada GSM, etc.

Cabe mencionar también que el sistema de control IN_Control posee un algoritmo de retroalimentación lo que le permite mantener la entrada de solicitud activa aún cuando esta ella sido sólo un pulso hasta que se hallan ejecutado todas las acciones concernientes a la entrada activada.

6.9 Subprograma Out_Control (SBR12)

La rutina Out_Control como se aprecia en la figura 6.21 simplemente tiene una labor de monitoreo de las acciones que el sistema se encuentre realizando en ese momento. Las principales acciones que realiza este bloque se citan a continuación:

- Activa salida Q0.0 si el protocolo de comunicación free port se configuró correctamente.
- Activa salida Q0.1 si el PIN se ha configura correctamente.
- Activa salida Q0.2 si todos los estados de inicialización del módem TC45 terminal se han configurado correctamente.
- Activa salida Q0.3 para señalar que el mensaje de texto se está enviando.
- Activa salida Q0.4 si el sistema está recibiendo algún mensaje de texto.
- Activa salida Q0.4 para indicar que se a confirmado por el ICE la transferencia de datos mediante un enlace vía GSM.

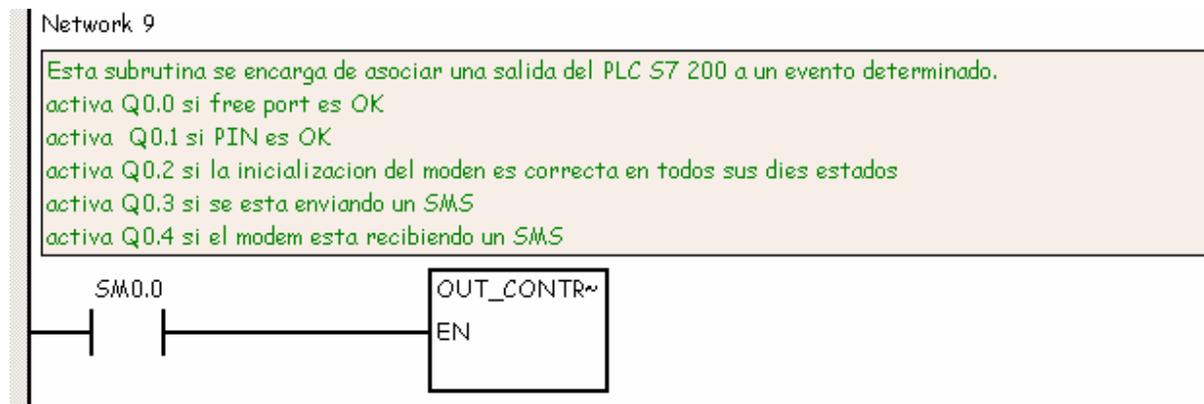


Figura 6.21 Subrutina Out_Control para el control de las salidas del S7 200.

6.10 Transferencia de datos mediante llamada GSM

El subprograma Datos_GSM como se muestra en la figura 6.22 es el encargado de poder realizar enlaces telemétricos para la transmisión de datos vía GSM a una velocidad de transmisión de 9.6 Kbytes/segundo.

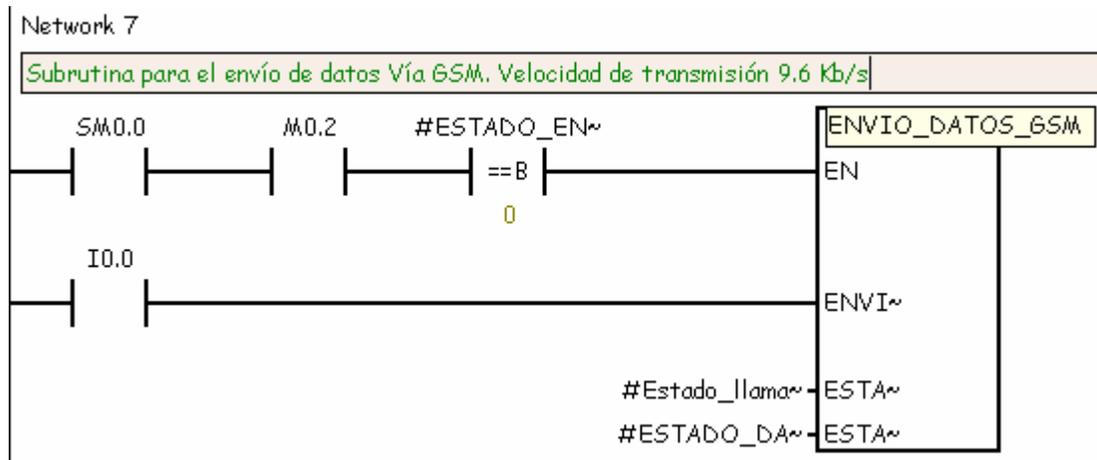


Figura 6.22 Subrutina para la transmisión de datos vía GSM.

La lógica implementada para realizar la rutina para la transmisión de datos vía llamada GSM se hizo de acuerdo al diagrama de flujo de flujo de la figura 6.23 que se muestra a continuación:

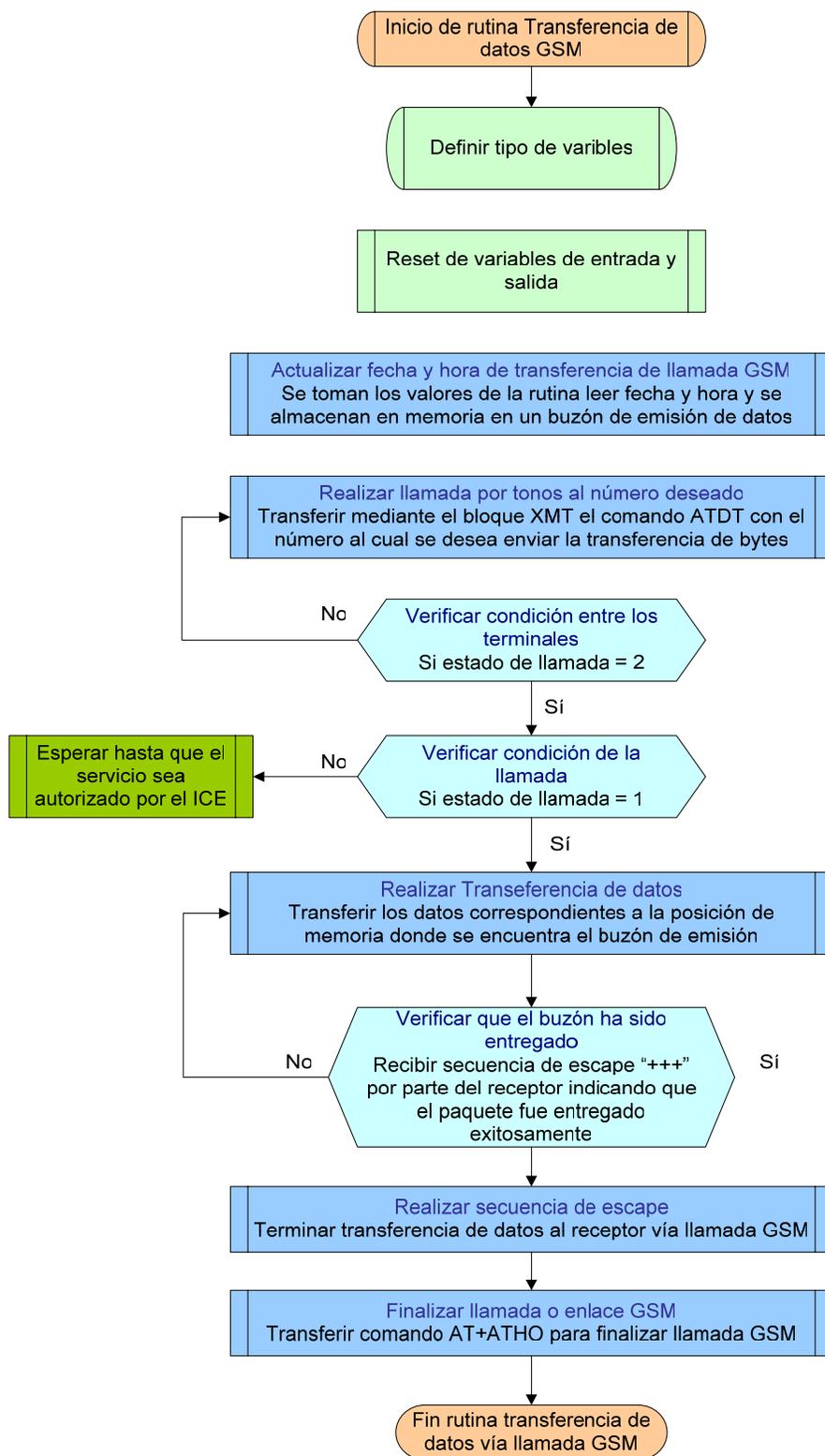


Figura 6.23 Diagrama de flujo para transferencia de datos mediante llamada GSM

De la figura 6.23 se pueden rescatar 7 estados importantes necesarios para realizar un enlace telemétrico vía GSM los cuales son:

1. Actualizar fecha y hora de emisión de datos
2. Realizar la llamada por tonos hacia el numero deseado
3. Verificar conexión entre terminales (Estado_llamada=2)
4. Verificar condición de llamada (Estado de llamada=1)
5. Realizar transmisión de datos
6. Realizar secuencia de escape
7. Enviar comando para fin de llamada

Para actualizar la fecha y hora se procedió a utilizar el bloque de programación Read-RTC como se muestra en la figura 6.24.

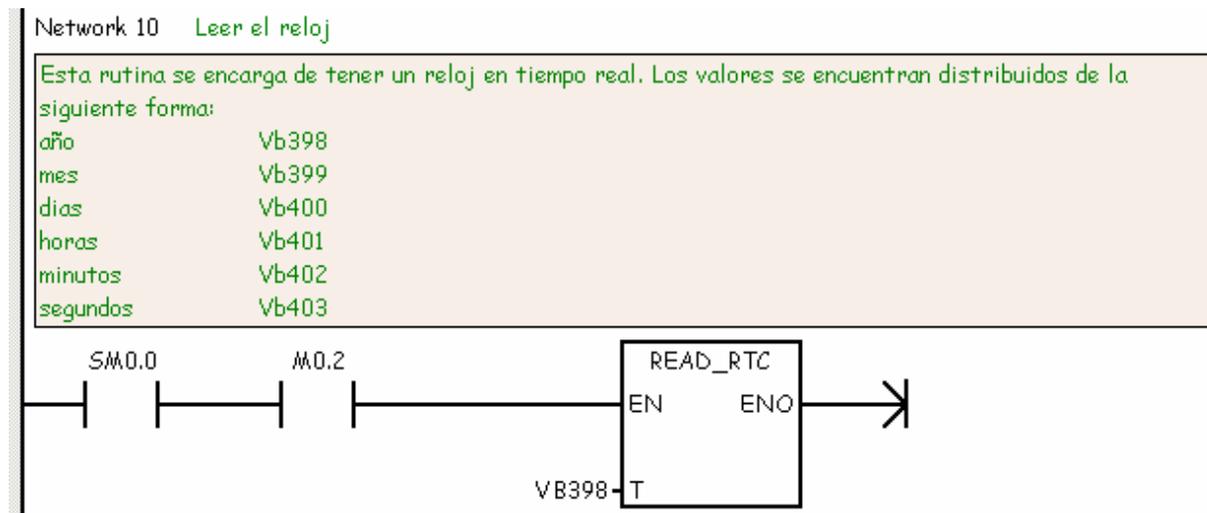


Figura 6.24 Rutina para actualizar la fecha y hora para el bloque de emisión

La lógica implementada para acceder al año, mes, día, hora, minutos y segundos se muestra en la figura 6.25.

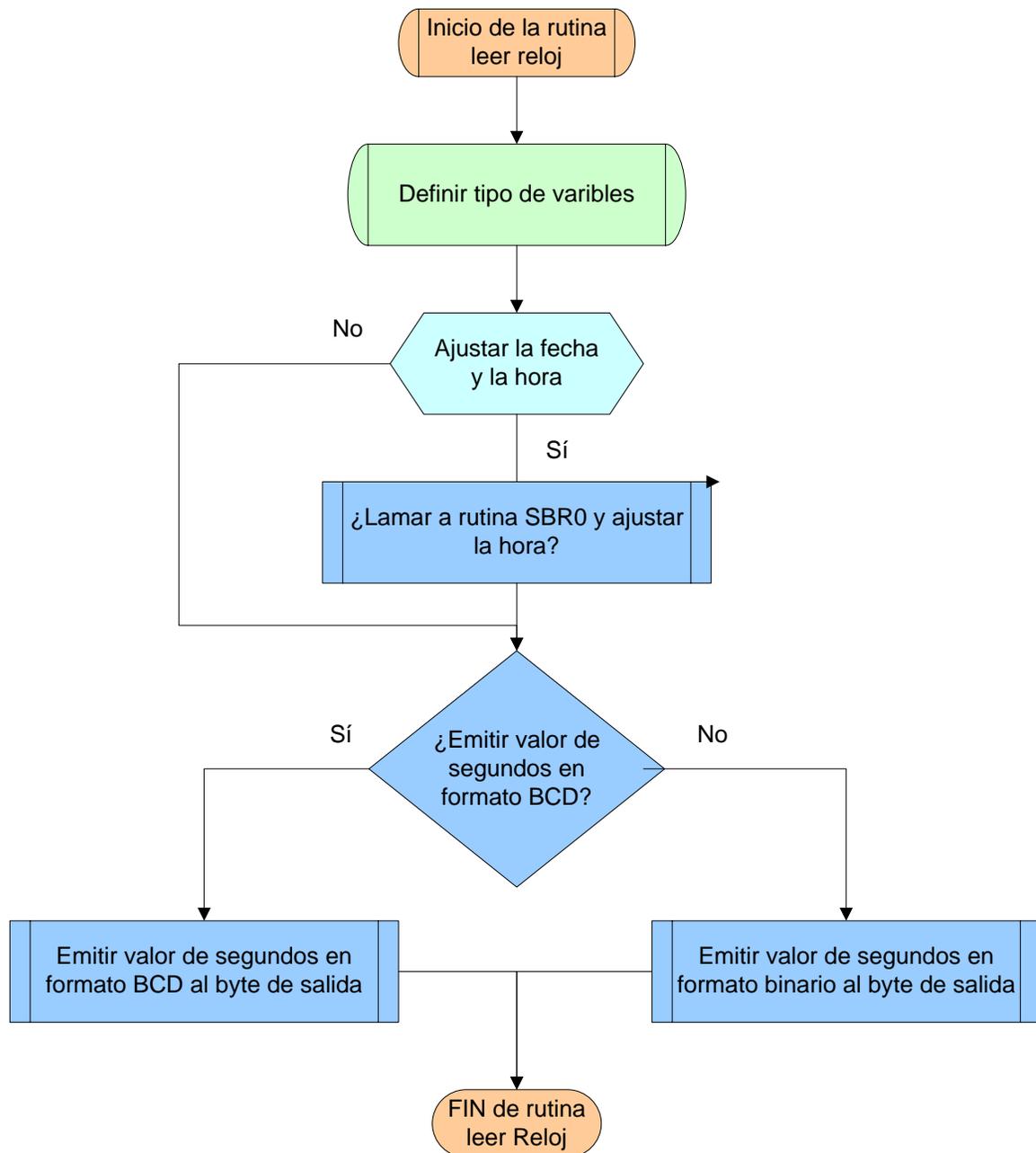


Figura 6.25 Diagrama de flujo para la rutina de configuración de fecha y hora

La rutina SBR0 representa la parte del programa (la cual para este caso es la rutina de transferencia de datos vía llamada GSM) donde se toman los valores de memoria donde se encuentran almacenados todos los valores de la fecha y hora para ser transferidos al bloque de memoria donde se encuentra programado el bloque de emisión de datos. Esta rutina se puede comprender siguiendo la idea del diagrama de flujo que se muestra a continuación:

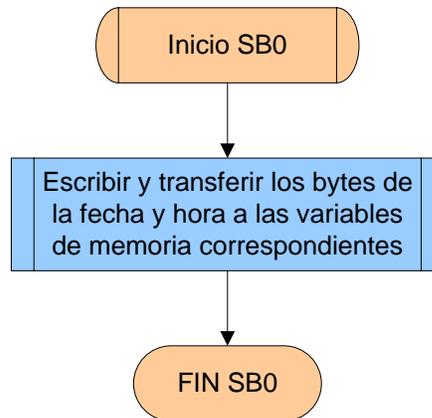


Figura 6.26 Diagrama de flujo para pasar los datos del bloque de lectura de reloj al buzón de emisión.

Como se mencionó en el capítulo 3 correspondiente al marco teórico la operación leer reloj de tiempo real (TODR) lee la hora y fecha actuales del reloj de hardware y carga ambas en un búfer de tiempo de 8 bytes (que comienza en la dirección T) y la operación ajustar reloj de tiempo real (TODW) escribe en el reloj de hardware la hora y fecha actuales que están cargadas en un búfer de tiempo de 8 bytes (que comienza en la dirección T).

Todos los valores de la fecha y la hora se codificaron en BCD (por ejemplo, 16#05 para el año 2005) como se muestra a continuación.

Formato del búfer de tiempo de 8 bytes (T)

T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6
Año	Mes	Día	Horas	Minutos	Segundos	0
00 a 99	01 a 12	01 a 31	00 a 23	00 a 59	00 a 59	00 a 59

T+7

Día de la semana 0 a 7*

1= Domingo, 7= Sábado

0= desactiva el día de la semana

El buzón programado para la emisión de datos consiste en un buzón de emisión de datos como se muestra en la figura 6.27.

```

//
//BUZON DE EMISION DE DATOS GSM.
//La transmision se realiza a una velocidad de 9.6Kbs de acuerdo
//a la informacion suministrada por el ICE. La tarifa se cobra
//por minuto de llamada.
//
VB410 44
VB411 '<' //Caracter inicial de transmision
VB412 '.Planta A.' //Texto del mensaje 25 caracteres
VB422 'reporte'
VB429 '' //dia en que se envia el dato //bit 400
VB430 '/'
VB431 '' //mes en que se envia el dato //bit 399
VB432 '/'
VB433 '' //año en que se envia el dato //bit 398
VB434 '-'
VB435 '' //hora de envio GSM
VB436 '/'
VB437 '' //minuto de envio GSM
VB438 '/'
VB439 '' //segundo de envio GSM
VB440 'Nivel.'
VD446 //valor del nivel de tanque
VD450 //valor de la distancia del nivel con el sensor
VB454 '>' //Caracter final de transmision
//
//BUZON DE RECEPCION DE DATOS GSM.
//
VB500 //
//-----FIN DE SECUENCIA ENVIO DE DATOS-----

```

Figura 6.27 Bloque de memoria programado para la emisión de datos hacia un receptor

Como se puede observar de la figura 6.27 el buzón de emisión consiste en una sección de memoria dedicada a guardar el valor de la fecha y hora en que se realiza la transferencia

definido por los bytes VB429 hasta VB439 y otra sección de memoria dedica a almacenar el valor en tiempo real que se está registrando en la medición de nivel.

Los bytes VB411 y VB454 son bytes contienen los caracteres correspondientes al inicio y final del bloque de emisión de datos. Es decir el receptor apenas recibe el carácter de inicio de transmisión de datos empieza a almacenar en memoria toda la información que el emisor transmite en ese momento, cuando el receptor recibe el carácter de final de transferencia envía una secuencia de escape para que el emisor termine la llamada GSM.

Esto garantiza que el receptor siempre recibirá toda la información que desea enviar el receptor y que la llamada no terminará ni se interrumpirá hasta que todo el paquete de datos sea transmitido. El buzón de recepción está determinado por el byte VB500 hasta el byte VB599 lo que permite almacenar en memoria el mensaje transmitido lo cual es muy importante si el mensaje a partir de la información recibida se necesita realizar algún tipo de acción, como el encendido como apagado de un motor, etc

El pseudo código utilizado para implementar este algoritmo de emisión de datos se muestra a continuación:

```
LD #ENVIAR_DATOS_GSM // activar señal de envío de datos por llamada GSM
MOVB VBXX, VBYY // transferir valores de lectura de reloj al buzón de emisión
XMT ATDT "XXXXXXXX", 0 // transferir por el puerto hacia el módem el comando de inicio de llamada GSM al número del receptor.
XMT Buzón de emisión, 0 // transferir información del buzón de emisión al buzón de recepción del segundo módulo.
MOVB 0, #ESTADO_PROCESO // identificar estado de la llamada
IF XMT = +++ then
XMT ATH0, 0 // transmitir comando de finalización de llamada
```

6.11 Lectura de nivel de agua del tanque

La rutina medición_nivel como se observa en la figura 6.20 tiene como función principal monitorear el nivel de un tanque en tiempo real. Para ello esta rutina toma los pulsos de frecuencia de la entrada digital I0.3 dados por el sensor de nivel Sonar Bero 3RG6014 - 3RS00 para luego interpretarlos para así deducir el valor actual del nivel del tanque.

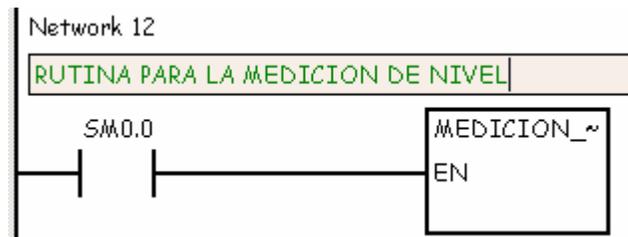


Figura 6.28 Subrutina encargada de medir el nivel de un tanque.

Como se mencionó al principio de este informe el software contiene una aplicación para el monitoreo y control del nivel de agua del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita. Para ello se toma la información proveniente de un sensor de nivel la cual es captada por entrada digital que posteriormente es interpretada por la rutina de medición de nivel para evaluar el estado del tanque.

El algoritmo utilizado en la programación de la lectura del nivel del tanque de agua se basó en el diagrama de flujo de la figura 6.29.

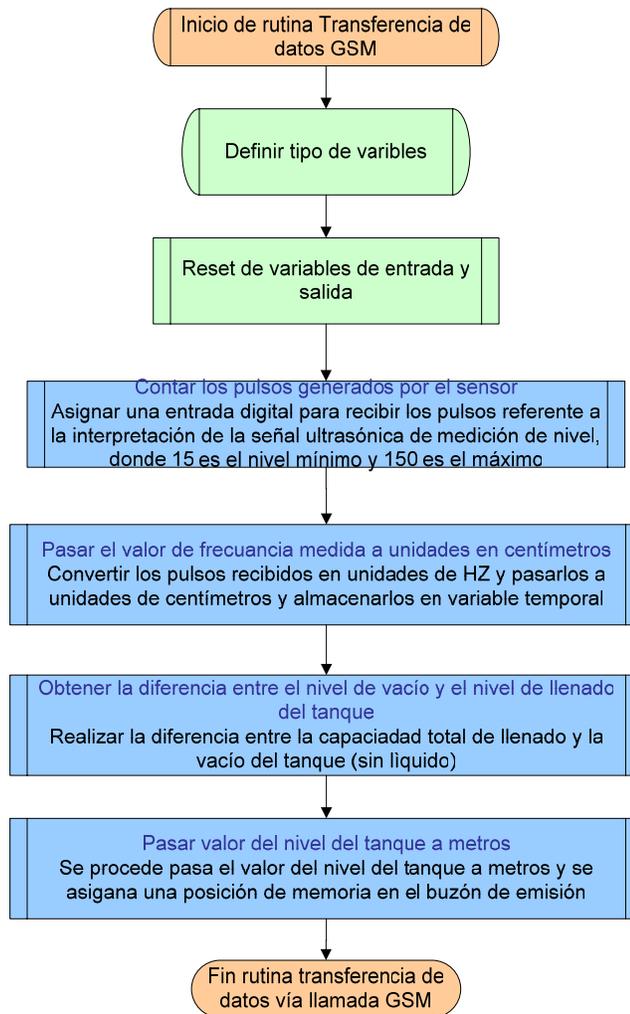


Figura 6.29 Diagrama de flujo para la medición de nivel de un tanque de agua

Para la medición de nivel el sensor Bero manda una onda ultrasónica sobre la superficie del agua, cuando esta onda choca contra la superficie se refleja una segunda a una frecuencia distinta de la original. Esta frecuencia depende de la distancia a la cual se encuentra el sensor de nivel y la superficie de agua del tanque, y es directamente proporcional a esta distancia.

Según los datos suministrados del sensor de nivel mostrados en el anexo B.3 para las distancias mínimas y máximas de alcance, se realizó una pequeña ecuación matemática que

relaciona la frecuencia recibida por el sensor y la el estado real del nivel del tanque. Esta ecuación se muestra a continuación.

Puesto que la frecuencia obtenida por el sensor (entre los rangos de 15Hz y 150Hz) es directamente proporcional a la distancia de rebote de la onda emitida, la ecuación se puede resumir con la ecuación de una simple recta como se muestra en la siguiente figura.

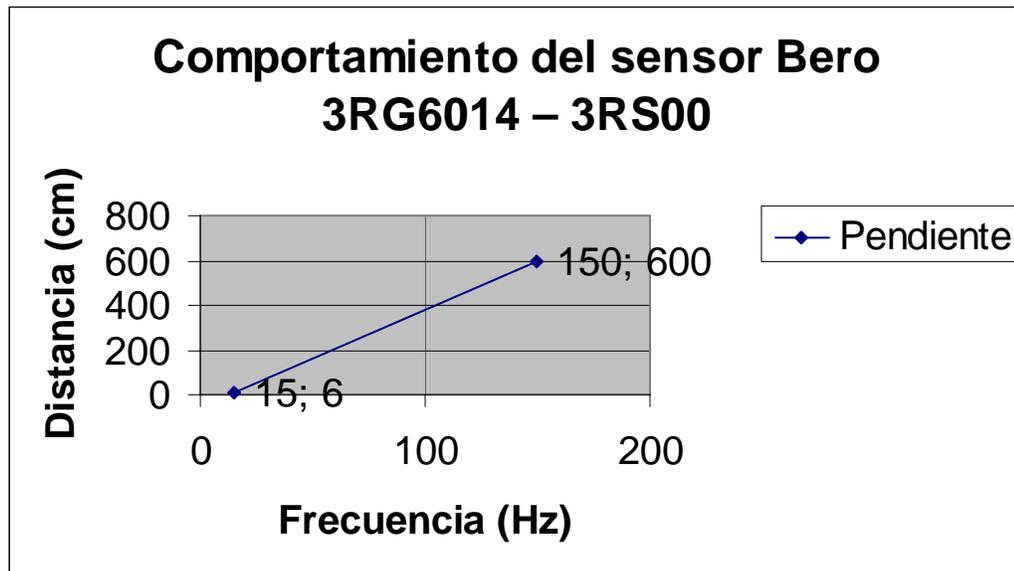


Figura 6.30 Relación entre distancia y frecuencia de un sensor Bero 3RG6014 - 3RS00

La recta queda definida por la siguiente ecuación:

$$y = m \cdot x + b \tag{7.1}$$

Donde:

y = distancia (cm)

x = frecuencia (Hz)

m = pendiente de la recta

La pendiente se encuentra de la siguiente forma:

$$m = \frac{Y_F - Y_i}{X_F - X_i} = \frac{600 - 60}{150 - 15} = \frac{540}{135} = 4 \tag{7.2}$$

Como $b=0$ y $m = 4$ la ecuación queda como se muestra a continuación

$$y = 4 \cdot x \quad (7.3)$$

Como se puede observar de la ecuación 3 el comportamiento de la función es lineal por lo que para cualquier valor de frecuencia dada por el sensor Bero 3RG6014 – 3RS00 para un rango entre 15 y 150 Hz se puede encontrar con toda seguridad la posición en centímetros que el sensor registra respecto al nivel de referencia.

Para hallar el valor de la distancia en centímetros basta simplemente con multiplicar la frecuencia dado por el sensor por un factor de 4. Este valor no es el nivel de llenado del tanque sino el valor en centímetros de lo que no está llenado, como se muestra en la figura 6.31.

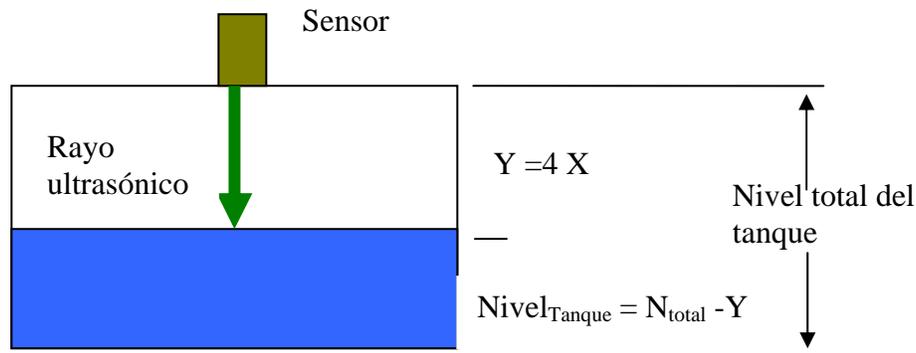


Figura 6.31 Valores necesarios para obtener el nivel de agua de un tanque con un sensor Bero

Para obtener el nivel real de agua en el tanque basta con hacer la diferencia entre el nivel total del tanque y valor que tenga la ecuación 3.

Para que la transferencia de información del estado del nivel del tanque pueda ser visualizada por un usuario, se incorporó al prototipo una pantalla táctil TP 070 de Siemens, donde se puede obtener la representación en tiempo real del nivel del tanque, como se muestra en la figura 6.32.

De esta forma cada vez que la estación remota transmite mediante un enlace GSM el nivel del tanque el operario podrá visualizarlo de forma tal que puede ver las variaciones en el nivel talque así como el reporte del nivel de vacío, de llenado y la fecha y hora en la cual se realizó la transmisión de información.

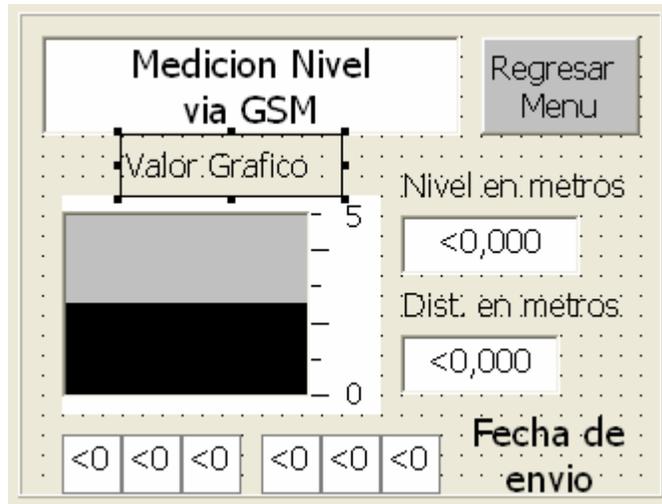


Figura 6.32 Programación gráfica del TP 070.

Para conseguir trasladar la información al TP 070 del PLC S7 200 se configuraron las variables de memoria de la pantalla de manera que asociaran con las bytes del bloque de memoria correspondiente al buzón de recepción de datos, como se muestra en la figura 6.33.

Nombre	Tipo	Dirección	Ciclos
Borrar	BOOL	M16.3	5
CERO_E	BOOL	M15.0	5
CINCO_E	BOOL	M15.5	5
CUATRO_E	BOOL	M15.4	5
DOS_E	BOOL	M15.2	5
ENVIAR_SMS	BOOL	M16.2	5
NUEVE_E	BOOL	M16.1	5
OCHO_E	BOOL	M16.0	5
P_Uno	BYTE	VB37	5
P_cinco	BYTE	VB33	5
P_cuatro	BYTE	VB34	5
P_dos	BYTE	VB36	5
P_seis	BYTE	VB32	5
P_siete	BYTE	VB31	5
P_tres	BYTE	VB35	5
SEIS_E	BOOL	M15.6	5
SIETE_E	BOOL	M15.7	5
TRES_E	BOOL	M15.3	5
UNO_E	BOOL	M15.1	5
distancia_m	REAL	VD538	5
fecha_ano	BYTE	VB517	5
fecha_dia	BYTE	VB521	5
fecha_hora	BYTE	VB523	5
fecha_mes	BYTE	VB519	5
fecha_minuto	BYTE	VB525	5
fecha_seg	BYTE	VB527	5
nivel_en_m	REAL	VD534	5

Figura 6.33 Variables de estado del TP 070.

6.12 Rutina de programación de interrupciones

La rutina de interrupciones es uno de los motores del programa. Cada vez que la rutina interpreta que se da está dando el evento 8 programado en la rutina de inicialización de puerto, activa una serie de algoritmos de programación para la recepción de caracteres sean debido a la emisión de mensajes de texto o a la transferencia de un bloque de información mediante una llamada GSM.

La lógica implementada para el almacenamiento de los bytes recibidos a una velocidad de 9.6 K se basa siguiendo el diagrama de flujo de la figura 6.33.

CAPITULO 7: Análisis de Resultados

7.1 Resultados obtenidos por el prototipo implementado.

En esta sección del informe final se presentan los resultados obtenidos en la implementación y diseño llevados a cabo para la construcción del prototipo para el monitoreo y control continuo de los procesos industriales automáticos por telemetría mediante el uso de la tecnología GSM.

Para determinar que el software implementado logra cargar los comandos AT necesarios para la inicialización e instrucciones de trabajo para el módem GSM TC45 terminal, se verificaron los bytes asignados a cada comando que componen la instrucción completa. Para lograr esto se recurre a la tabla de estados del programa STEP7 de microWin, mediante la lectura del puntero del byte de inicio para cada comando AT requerido como se muestra en la figura 7.1.

	Dirección	Formato	Valor actual	Nuevo valor
1	VB1	Hexadecima I	16#00	
2	VB100	Cadena	"ATV0\$R"	
3	VB107	Cadena	"AT+CPIN=7631\$R"	
4	VB122	Cadena	"AT&f0&w\Q3&D0S0=1X0 E0&C1\$R"	
5	VB149	Cadena	"AT+CSCA=+5063005007 \$R"	
6	VB171	Cadena	"AT+CMGF=1\$R"	
7	VB183	Cadena	"AT+CSMP=17,167,0,0\$R "	
8	VB204	Cadena	"AT+CSMS=1\$R"	
9	VB216	Cadena	"AT+CNMI=3,1,2,1,1\$R"	
10	VB236	Cadena	"AT^SSDA=1\$R"	
11	VB248	Cadena	"AT+CMGR=1\$R"	
12	VB260	Cadena	"AT+CMGD=1\$R"	
13	VB272	Cadena	"ATDT8359427\$R"	
14	VB286	Cadena	"++"	
15	VB391	Cadena	"ATH0\$R"	

Figura 7.1 Verificación de la tabla de estado de algunos de los registros que contienen los comandos AT de inicialización y operación.

muestra los datos recibidos por la estación de control de acuerdo a los datos transmitidos de la estación remota.

VB398	Hexadecimal	16#05
VB399	Hexadecimal	16#07
VB400	Hexadecimal	16#25
VB401	Hexadecimal	16#18
VB402	Hexadecimal	16#21
VB403	Hexadecimal	16#15
VB500	Cadena	"Planta A.reportel/\$07/\$05-#/A/)Nivel.@.\$14{?£×\$N>\$00\$00\$00\$00"
VB517	Hexadecimal	16#21
VB519	Hexadecimal	16#07
VB521	Hexadecimal	16#05
VB523	Hexadecimal	16#23
VB525	Hexadecimal	16#41
VB527	Hexadecimal	16#29
VD534	Coma flotante	2.72
VD538	Coma flotante	1.28

Figura 7.4 Tabla de estado de los registros del buzón de recepción de los datos transmitidos vía llamada GSM por la estación remota.

La tabla 7.1 muestra los datos recibidos del nivel de un tanque por el PLC S7 200 de la estación base de monitoreo y control ubicada en la Uruca transmitidos por la estación remota situada en la zona de Cahuita para un lapso de 14 horas.

Tabla 7.1 Mediciones del buzón de recepción con respecto al nivel del tanque de la zona de Cahuita Limón.

Tiempo (hr)	Nivel VB538(m)
7,00 AM	2,52
8,00 AM	2,38
9,00 AM	2,01
10,00 AM	2,00
11,00 AM	1,54
11,42 AM	1,50
12,00 PM	1,61
1,00PM	1,73
2,00 PM	1,99
3,00 PM	2,45
4,00 PM	2,66
5,00 PM	3,23
6,00 PM	3,39
6,14 PM	3,40

La gráfica resultante con respecto a la tabla 6.1 se muestran en la figura 7.5.

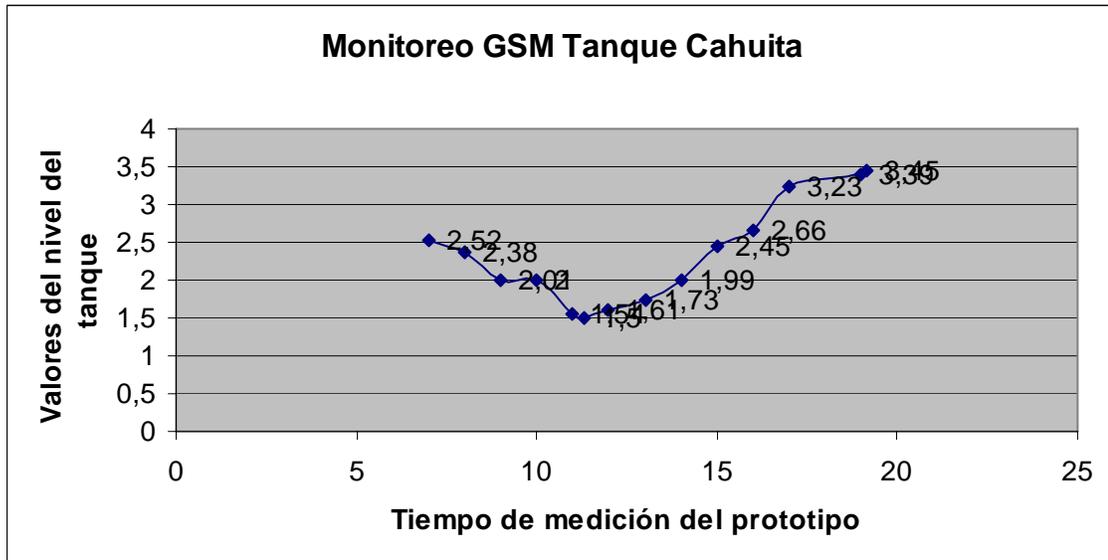


Figura 7.5 Gráfica de las mediciones del nivel del tanque de Cahuita transmitidas vía GSM por la unidad remota hacia la unidad base de monitoreo y control.

Para verificar y hacer constar en este informe que el prototipo implementado tiene la capacidad de enviar SMS a usuarios finales, se adjuntó en la figura 7.6 y 7.7 el resultado obtenido al mandar un SMS por parte del prototipo a un correo electrónico.



Figura 7.6 Recepción de un mensaje de texto a un correo electrónico.



Figura 7.7 Mensaje SMS transmitido ha un correo electrónico.

7.2 Análisis de resultados

7.2.1 Operación del sistema implementado

De la figura 7.1 se logra ver que los comandos AT necesarios para que el módem GSM MC45 terminal logre operar adecuadamente quedaron correctamente programados en memoria de programa y estos a la vez quedaron programados con el comando correspondiente para la ejecución de esa instrucción.

De la tabla de estados mostrada en la figura 7.2 se aprecia que la rutina de programación de envío de SMS trabaja correctamente, es decir de acuerdo al evento seleccionado por la alarma así es el mensaje y el número del teléfono móvil seleccionados.

Un aspecto importante a recalcar es la transmisión de información mediante una llamada de datos vía GSM. La figura 7.4 muestra los registros de lectura y escritura del estado del nivel del tanque de la zona de Cahuita según la información suministrada por la planta remota.

De la figura 7.4 los valores de los bytes VB517 al VB527 corresponden la hora y fecha en la cual la estación remota envió la información del estado del nivel del tanque, lo que permite que el usuario pueda monitorear y controlar en tiempo real el estado actual de la planta de abastecimiento de agua.

Los bytes VB398 al VB402 corresponden la hora y fecha de la estación base, tiempo en el cual la estación base recibe la información de la planta remota, lo cual permite tener un control del tiempo real desde que se empezó el enlace GSM hasta que finalizó la llamada.

Los bytes VB534 y VB538 representan los registros de almacenamiento y lectura del estado real del nivel del tanque, donde el primero representa el valor del tanque sin llenarse y el segundo el nivel real del agua dentro del tanque de abastecimiento de la zona de Cahuita.

Tanto los valores de los registros de la hora y fecha como los valores del nivel del tanque son leídos por el TP070 como se explicó en el capítulo anterior, los cuales en tiempo real son graficados en pantalla, con lo cual el usuario puede monitorear y controlar de forma gráfica el nivel actual del tanque.

7.2.2 Diseño de los paneles demostradores

El desarrollo del panel demostrador fue el resultado de un esfuerzo conjunto que demandó imaginación, creatividad, diseño, trabajos de laminado, selección de materiales y componentes adecuados a fin de presentar un foco de atención en una feria internacional de alta importancia para la empresa debido al tipo de asistentes.

Sus visitantes son por lo general ingenieros de compañías de electrificación de Centroamérica, incluyendo al ICE y CNFL. Así como ingenieros de AyA los cuales se identifican con este tipo de aplicaciones de bombeo de agua. En el apéndice A.5 se muestran fotografías de la feria CONCAPAN en la que se participó con la presentación del panel.

7.2.3 Análisis de resultados

De acuerdo a la gráfica 7.5 obtenida mediante la tabla 7.1 se puede notar que las mediciones realizadas por el prototipo de la estación remota son casi parecidos a los valores del estado de nivel tomados del resultado del modelado matemático de la planta de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita. Los valores críticos se dan a las 11:30 de la mañana y 7:14 de la noche con desfase de casi 15 minutos de los valores críticos obtenidos en el modelado de la planta. Este desfase corresponde a las variables y factores que el modelado no puede calcular en su totalidad, pero aún así la aproximación es casi exacta.

Se puede apreciar que el comportamiento del nivel del tanque con respecto a la demanda de caudal de la población de Cahuita posee el mismo comportamiento que el simulado de acuerdo al modelado matemático. Esto nos asegura que el comportamiento del tanque en el tiempo tendrá el mismo comportamiento, asegurando así que no se tendrán

problemas de abastecimiento para la población y que el bombeo de agua hacia el tanque será la óptima para que el proceso sea continuo.

En cuanto a la construcción del prototipo como se mencionó anteriormente cuanta de dos sistemas, uno como estación base o de control y el otro como estación remota. Ambos módulos poseen luces de señalización para los procesos que pueda ejecutar el PLC S7200 con respecto a las operaciones GSM que realicen en un momento determinado.

Las principales luces de señalización corresponden a las configuraciones de inicialización y comunicación que se realizan entre el PLC y el módem GSM MC45 terminal. Estas son:

- Una señalización con luz verde de que el puerto ha sido configurado correctamente para que tanto el PLC S7200 como el módem GSM MC45 puedan intercambiar información.
- Una señalización con luz verde de que el número PIN configurado específico a la tarjeta SIM introducida en el módem es correcto, de no ser así el módulo no enciende la luz y detiene el proceso de inicialización.
- Una señalización con luz verde de que el módem GSM MC45 terminal ha sido inicializado correctamente y se encuentra en la capacidad de acceder a los servicios GSM que ofrece el país.
- Una señalización con luz roja que indica que el sistema ha recibido una instrucción por medio de un SMS transmitido por un usuario. La misma luz indica también que el módem está realizando una transferencia de información por medio de una llamada de datos vía GSM, para este caso la luz queda encendida el tiempo que dura la llamada.

Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones más relevantes

8.1 Conclusiones

- Para poder utilizar los servicios de telefonía celular GSM que ofrece el país en aplicaciones de control y monitoreos telemétricos se utiliza un módem GSM el cual necesita ser inicializado y configurado por los comandos AT adecuados. Estos comandos deben cumplir con las normas y estándares fijados por la ITU (Internacional Telecommunication Union) y el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con respecto al manejo de datos vía GSM.
- La configuración de comandos AT en un módem AT MC45 terminal de tecnología GSM se realiza mediante la transmisión serial de todos los caracteres que componen al comando seguido del carácter de control de comando, el cual se encarga de decirle al módem que ejecute la instrucción indicada por comando recibido.
- El tiempo de configuración y acción de los comandos AT de inicialización y trabajo con excepción del comando de configuración de PIN en un módem MC45 terminal transmitidos por un controlador lógico programable es de aproximadamente de 1 segundo, desde que el comando es transmitido por el PLC hasta que este recibe de vuelta la respuesta de acción dada por el módem.
- El tiempo de configuración del comando de reconocimiento de PIN en un módem MC45 terminal es de aproximadamente 3.5 segundos. Esto debido al tiempo de espera del módem, para recibir respuesta de la red de servicios celulares de que el número de la tarjeta SIM está habilitado.

- La integración entre un controlador lógico programable S7 200 y un módem GSM MC45 terminal se logra mediante la implementación adecuada del hardware y el software que componen el sistema, utilizando como canal de comunicación el cable PC/PPI para acoplar el protocolo RS485 del puerto de comunicación del PLC con el protocolo RS 232 del puerto de comunicación del módem.
- Para la comunicación entre un PLC S7 200 y un módem MC45 terminal de tecnología GSM, se necesita establecer un protocolo de comunicación que sea reconocido por ambos módulos. Este protocolo se conoce como configuración de puerto libre definido por el usuario, el cual se configura de acuerdo a las características y parámetros que posee el puerto de comunicación del módem mediante la marca especial SMB30 correspondiente a la posición de memoria de control del puerto 0 de salida del PLC S7 200 con un valor de 09 hexadecimal.
- El sistema implementado en la realización de este proyecto cuenta con la capacidad para el envío y recepción de mensajes de texto, lo que le permite al usuario conocer los datos instantáneos de su estación desde cualquier lugar donde se encuentre, a través de su teléfono móvil y a la vez realizar acciones por medio del mismo.
- El sistema construido tiene la capacidad de realizar monitoreos y controles telemétricos del tanque de abastecimiento de agua de la zona de Cahuita mediante la transmisión de información por llamada de datos utilizando la cobertura de la tecnología GSM a una velocidad de 9.6 Kbytes por segundo.
- El usuario mediante el sistema implementado puede conectarse en cualquier momento en tiempo real con la planta de abastecimiento, y ver en la pantalla de una PC u otro sistema de visualización, la evolución de los sensores del sistema de medición de nivel y de su estado general.

- Los datos de cada emplazamiento se pueden descargar de forma remota. El proceso es rápido, simple y eficaz incluso en zonas con escasa cobertura GSM.
- El modelado matemático de la planta de abastecimiento de agua de Cahuita mediante la utilización del programa Water Cad, logró determinar con anterioridad el comportamiento en tiempo real de la planta, permitiendo el análisis de los tiempos críticos de demanda y llenado del tanque.
- El comportamiento en el tiempo de la planta de abastecimiento de la zona de Cahuita según los datos obtenidos en la simulación del modelado del sistema de acuerdo al consumo real de la población, indican que el nivel mínimo de agua en el tanque para cada día será aproximadamente a las 11:50 de la mañana y el nivel máximo de llenado será 5 horas después

8.2 Recomendaciones

- Puesto que el sistema quedó implementado para admitir posteriores mejoras, sería de mucho provecho realizar una rutina de programación para el manejo de los servicios de GPRS que actualmente ofrece el ICE. Esto no sólo permitiría aumentar la gama de servicios que brinda el prototipo sino también que abriría una gama más amplia de posibilidades para las aplicaciones industriales de monitoreo y control telemétricos.
- Para lograr aumentar la capacidad del programa en cuanto a memoria útil de programación se refiere, se pueden convertir las rutinas de trabajo destinadas al manejo de los servicios celulares en librerías predefinidas. Es decir una librería para el envío de SMS, otra para las llamadas de Datos vía llamada GSM, etc.
- El proveedor de servicios celulares de Costa Rica ICE debe mejorar tanto la cobertura GSM como el servicio en sí, para que el sistema implementado tenga la posibilidad de incorporarse en procesos de control inmediatos de alta prioridad.

Bibliografía

[1] Cesario, A. Lee. *Modeling, Analysis, and Design of water Distribution Systems*, AWWA, 1995.

[2] Díaz, A. *Análisis de Sistemas Lineales*, Apuntes del Profesor. ITCR, Cartago, 2002

[3] *Essential Hydraulics and Hydrology*, Waterbury, Connecticut, Haestad Methods, 2000.

[4] Haestad Methods. *Water Cad V6 “Water Distribution Modeling Software”*. Haestad methods, Inc. Waterbury USA, 2002.

[5] Ileana Atan Chan. *Diagnóstico de sistemas de agua Potable 2002-2004*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Departamento de Optimización de Sistemas. San José, Octubre de 2004.

[6] Loría, G. *Modelado y Análisis de Sistemas Dinámicos*, Editorial de la UCR, San José, 1989

[7] Manual de ayuda del Software Micro Win 4.0

[8] Ogata, K. *Ingeniería de Control Moderna*. Prentice Hall

[9] Panametrics, inc. *Liquid transducer installation Guide*. Shannon Industrial Estate. Process Control Instrument Division. Ireland, Noviembre del 2000.

[10] Panametrics, inc. *Transport Model PT868 Portable Flowmeter User’s Manual*. Control Instrument Division. USA, abril de 1996.

[11] Roberson, John A. And Clayton T. Crowe, *Engineering Fluid Mechanics*. 4 th Edición,. Houghton Mifflin Company, Massachussetts, 1990.

[12] Siemens. *Manual de Controladores Lógicos S7-200*. Mexico, 2002

[13] Siemens. *Hojas de datos para Comandos AT del MC 45 Termina en PDFI*.

[14] Siemens. *Hojas de datos del Hardware del MC 45 Terminal en PDF*.

[15] www.ice.co.cr

Información general sobre los servicios que ofrece el ICE para telefonía celular GSM y TDMA así como de conceptos básicos relacionados al GSM.

[16] www.cassarsystems.com/public/drivers/Xircom/xBEM56G100/ES/HELP/usage.htm

Descripción y uso de los comandos AT

[17] www.Xircom/CardBus/Ethernet+Módem/Usodeel módem.html

Uso de los comandos AT, velocidades y protocolos de un módem.

[18] www.informaticaycomputaciónaplicada.com

Estándares y protocolos para coordinar el proceso de envío y recepción de datos para permitir comunicación entre módems.

[19] www1.hp.com/athome/presariohelp/sp/MODEMS/modatcr.html

Referencia de comandos AT para manejo de módems.

[20] www.tecnotopia.com.mx/mecatronica/modem.htm

Información y descripción de funcionamiento general de los módems

[21] www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA/gsmqa_sp.cfm

Preguntas y respuestas del GSM, tarjetas SIM, etc.

Apéndices

A.1 Criterios de diseño considerados en la elaboración del proyecto¹⁰

Un punto importante a destacar para la elaboración de este prototipo es que se deben cumplir con una serie de normas y estándares fijados por la ITU (Internacional Telecommunication Union) y el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) con respecto al manejo de datos vía GSM. Por ello el desarrollo del prototipo debió cumplir con los siguientes requisitos:

- Transmisión de datos de información entre controladores.
- Opción de enviar mensajes de texto (SMS) a otros destinatarios que utilicen tecnología GSM, como por ejemplo: teléfono celular, fax, e-mail, etc.
- Cumplimiento de las normas internacionales y especificaciones de regulación para GSM TR 100 350 V7.0.0 (1999-98) y GSM 01.04 V7.0.0 (1998).
- Soporte de sets de caracteres GSM 03.38 (7 bit, también referidos al alfabeto del SMS) y UCS2 (16 bit, referente a ISO/IEC 10646).
- Utilización de comandos AT de acuerdo a las regulaciones ITU-T (Internacional Telecommunication Union, Telecommunication Sector) documento V25ter.
- Utilización de comandos AT para GSM y GPRS de acuerdo a las especificaciones de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) documento GSM 07.07.
- Utilización de comandos AT referentes al manejo de SMS de acuerdo a las especificaciones de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) documento GSM 07.5.

¹⁰ Información tomada de las hojas de datos del MC 45 terminal para manejo de comandos AT.

A.2 Abreviaturas

Abreviación	Descripción Inglés
ADC	Analog to Digital Converter
BTS	Base Tranceiver Station
CE	Conformité Européene (European Conformity)
CB o CBM	Cell Broadcast Message
CPU	Central Processing Unit
CSD	Circuit Switched Data
CTS	Clear to Send
DAC	Digital to Analog Converter
DCS 1800	Digital Celtular System, also referred to as PCN
DSP	Digital Signal Processor
DSR	Data Set Ready
DTE	Data Terminal Equipment (typically computer, terminal, printer or, for example, GSM application)
DTR	Data Terminal Ready
DTX	Discontinuous Transmission
EGSM	Enhanced GSM
ETS	European Telecommunication Standard
FCC	Federal Communications Commission (U.S)
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FR	Full Rate
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global Standard for Mobile Communications
HR	Half Rate
ISO	International Standards Organization
ITU	International Telecommunications Union
MMI	Man Machine Interface
MO	Mobile Originated
MS	Mobile Station (GSM engine), also referred to as TE
MT	Mobile Terminated
PDU	Protocol Data Unit
PPP	Point-to-point protocol
R&TTE	Radio and Telecommunication Terminal Equipment
SIM	Subscriber Identification Module
SMS	Short Message Service
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment, also referred to as DTE

A.3 Descripción de la empresa Siemens

En este apéndice se hace referencia a los principales rasgos que describen a la empresa Siemens de Costa Rica, así como al departamento de automatización y soluciones industriales en donde se desarrolló el prototipo para implementar los sistemas de monitoreo y control automáticos por telemetría vía GSM.

A.3.1 Descripción General de Siemens¹¹

Siemens fue fundada por el señor Werner Von Siemens, hace 154 años, con la meta principal de lograr la acción sostenida desde sistemas de informática y comunicaciones, soluciones de automatización y sistemas de transporte hasta tecnología médica, sistemas de generación de energía y equipos de alumbrado.

Actualmente Siemens es una red global en más de 190 países de todo el mundo: con conocimientos fundados de los deseos del cliente, con soluciones innovadoras en los campos de la electrotecnia y la electrónica.

A.3.2 Siemens Costa Rica

Siemens se encuentra operando en Costa Rica desde el año 1924, al colaborar en la construcción de la Planta Hidroeléctrica de Orosi (Río Macho).

No obstante, es hasta el año 1956 en que se inician las actividades directas con la fundación de Siemens SA con sede en la zona industrial de la Uruca San José, 200 metros este de la plaza de deportes, donde se consolidaron sus servicios de ventas, fabricación y ensamblaje de equipo eléctrico industrial.

¹¹ Fuente: www.siemens.com

A.3.3 Descripción del departamento de soluciones y servicios industriales

El departamento de automatización y servicios industriales cuenta con la experiencia y equipos necesarios que cubren desde la simple maniobra y control de un elemento de campo, hasta la gestión de datos al nivel de dirección. Este departamento se subdivide en varias áreas de trabajo: desarrollo de proyectos, montaje, capacitación y servicio; lo cual hace posible satisfacer la demanda en sectores como el alimenticio, acero, químico, petroquímico, manufactura, tratamiento de aguas y energía, entre otros.

Las soluciones industriales y los servicios técnicos utilizan la tecnología de punta en automatización e información, para así optimizar los procesos en la producción industrial de diferentes productos, ofreciendo a la vez soluciones y servicios innovadores que logran perfeccionar los procesos en la industria y en los medios de la infraestructura.

Automatización y soluciones industriales cuenta con un equipo de trabajo especializado al mando del Ing. Francisco Quesada (jefe del área de automatización) y por el Ing. Francisco Mora (jefe del área de soluciones y servicios). Este equipo de trabajo se conforma por 8 técnicos capacitados para el montaje, puesta en marcha y mantenimiento de equipos industriales, 4 ingenieros encargados del desarrollo de proyectos y montaje de los mismos, y finalmente por dos ingenieros encargados del sector de ventas y servicios.

A.4 Reporte detallado del modelado del tanque realizado en Water Cad.

Scenario Summary			
Scenario	Base		
Active Topology	Base-Active		
Alternative	Topology		
Physical Alternative	Base-Physical		
Demand Alternative	Base-Demand		
Initial Settings	Base-Initial		
Alternative	Settings		
Operational Alternative	Base-Operational		
Age Alternative	Base-Age		
	Alternative		
Constituent Alternative	Base-Constituent		
Trace Alternative	Base-Trace		
	Alternative		
Fire Flow Alternative	Base-Fire Flow		
Capital Cost Alternative	Base-Capital		
	Cost		
Energy Cost Alternative	Base-Energy		
	Cost		
User Data Alternative	Base-User Data		
Geometric Summary			
X	3.073,45 m	Elevation	57,00 m
Y	3.035,44 m	Zone	Zone
Demand Summary			
Operating Range Summary			
Maximum Elevation	60,50 m	Maximum Level	3,50 m
Initial HGL	60,50 m	Initial Level	3,50 m
Minimum Elevation	57,05 m	Minimum Level	0,05 m
Base Elevation	57,00 m		
Storage			
Section Type	Constant	Circular Tank Shape?	false
	Area		
Diameter	N/A m	Average Area	145,0 m ²
Inactive Volume	0,00 m ³	Total Active Volume	500,25 m ³

Calculated Results Summary								
Time (hr)	Calculated Hydraulic Grade (m)	Calculated Level (m)	Pressure (kPa)	Calculated Percent Full (%)	Calculated Volume (m ³)	Inflow (l/s)	Outflow (l/s)	Current Status
0,00	60,50	3,50	34,25	100,0	500,25	-5,04	5,04	Draining
1,00	60,37	3,37	33,03	96,4	482,11	-5,04	5,04	Draining
2,00	60,25	3,25	31,80	92,7	463,96	-5,01	5,01	Draining
3,00	60,13	3,13	30,59	89,1	445,94	-4,97	4,97	Draining
4,00	60,00	3,00	29,38	85,6	428,05	-5,39	5,39	Draining
5,00	59,87	2,87	28,07	81,7	408,65	-6,58	6,58	Draining
6,00	59,70	2,70	26,47	77,0	384,96	-7,84	7,84	Draining
7,00	59,51	2,51	24,57	71,3	356,74	-8,40	8,40	Draining
8,00	59,30	2,30	22,53	65,3	326,49	-8,68	8,68	Draining
9,00	59,09	2,09	20,42	59,0	295,25	-9,10	9,10	Draining
10,00	58,86	1,86	18,21	52,5	262,49	-8,86	8,86	Draining
11,00	58,64	1,64	16,05	46,1	230,61	-8,58	8,58	Draining
11,66	58,50	1,50	14,68	42,0	210,25	11,92	-11,92	Filling
12,00	58,60	1,60	15,67	45,0	224,87	11,59	-11,59	Filling
13,00	58,89	1,89	18,48	53,3	266,61	11,74	-11,74	Filling
14,00	59,18	2,18	21,34	61,7	308,86	12,23	-12,23	Filling
15,00	59,48	2,48	24,31	70,5	352,87	12,08	-12,08	Filling
16,00	59,78	2,78	27,24	79,2	396,35	12,00	-12,00	Filling
17,00	60,08	3,08	30,16	87,9	439,55	12,48	-12,48	Filling
18,00	60,39	3,39	33,19	96,9	484,49	12,75	-12,75	Filling
18,03	60,40	3,40	33,28	97,1	485,76	-6,83	6,83	Draining
19,00	60,24	3,24	31,66	92,3	461,86	-6,48	6,48	Draining
20,00	60,07	3,07	30,09	87,7	438,55	-6,06	6,06	Draining
21,00	59,92	2,92	28,62	83,3	416,75	-5,85	5,85	Draining
22,00	59,78	2,78	27,20	79,1	395,71	-5,64	5,64	Draining
23,00	59,64	2,64	25,83	75,0	375,42	-5,25	5,25	Draining
24,00	59,51	2,51	24,55	71,3	356,52	-5,04	5,04	Draining

A.5 Diseño Panel Mostrador

A continuación en las figuras A5.1, se muestran fotografías alusivas a CONCAPAN y al Panel Mostrador implementado.



Figura A5.1 Página CONCAPAN 2004

El funcionamiento del panel demostrativo se presentó en varios congresos, dentro de estos el más destacado fue el congreso CONCAPAN de la IEEE. Posteriormente se expuso en el Colegio de Ingenieros y Arquitectos en un seminario de electricistas.



Figura A5.2 Paneles demostrativos

A.6 Estudio de Propagación de Ondas de Radio en la Banda de 450-470 MHZ" para la Transmisión de Datos en sus Sistemas SCADA , realizado el 28 de julio del 2000 por el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

AREA DE LIMON Y PUNTARENAS

VALORES DE SEÑALES REALES RECIBIDAS EN CADA PUNTO (RSSI) A PARTIR DE TOPOLOGIA DEFINIDA.

#	NOMBRE	VOLTAJE DC (VOLTIOS)	I DC AMPS.	Temp. Celcius.	Nivel señal (dBm)	Pot.salida Watts	Reflejada (Watts)	Retorno del enlace	Eficiencia. enlace.	Pot.	
LIMON											
76	Tanque corales	13.7 V	4,8	38	-51	4,8	0	200	100 %		
77	Tanque Pacuare	13.7 v	4,8	40	-51	5,1	0,1	200	100 %		
78	Tanque Vinas del Mar	13.7 V	4,8	40	-51	5,1	0,1	200	100 %		
79	Cahuita	No se estableció comunicación.									
80	Booster Santa Rosa	13.7 V	4,8	42	-51	5,1	0,1	199	99 %		
81	Plta. Tratamiento	11.9 V	5	45	-128	4,1	1,4	24	14 %		
82	Pozo la Bomba 1,2,3,4,5,6	No se estableció comunicación.									
83	Tanque Rio Bananito	No se estableció comunicación.									
84	Las Pilas	13.7 V	4,8	38	CC	4,8	1	C.C	C.C		

A.6 Tecnología GSM¹²

“GSM en español significa Sistema Global para Comunicaciones Móviles. Es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados por circuitos en una amplia gama de bandas de espectro, entre ellas las de 450, 850, 900, 1800 y 1900 Mhz. GSM es una tecnología digital o "PCS", además de utilizarse "GSM" como modo genérico para denominar a una familia de tecnologías que incluye GPRS, EDGE y UMTS/WCDMA, que provee una evolución fluida y costo-efectiva a la tercera generación (3G).

GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio debido a una técnica llamada multiplexado por división de tiempo (TDM), mediante la cual un canal se divide en seis ranuras de tiempo. Para la transmisión, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás. Este diseño garantiza un uso efectivo del espectro y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología analógica o "AMPS", que es una tecnología de primera generación (1G). GSM también utiliza una técnica llamada "frequency hopping" (salto de frecuencias) que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que las escuchas no autorizadas sean virtualmente imposibles”.

¹² Tomado de www.3gamericas.org/Technology_Center/QA/gsmqa_sp.cfm

A6.1 Servicio de SMS¹³

“En el Standard GSM hay especificados dos tipos diferentes de SMS:

- SMS Point to Point (**SMS/PP**)
- SMS Cell Broadcast (**SMS/CB**)

El primer tipo permite enviar un mensaje de texto de un teléfono GSM a otro, mientras **SMS/CB** permite enviar uno o más mensajes contemporáneamente (broadcast) a todos los teléfonos que estén dentro de una determinada zona de cobertura de una o más emisores de señal radio. El mensaje Cell Broadcast puede contener un máximo de 93 caracteres, pero es posible enlazar hasta 15 mensajes para formar un macro-mensaje.

El envío de un **SMS PP** desde un teléfono GSM a otro tiene que ser considerado como la concatenación de dos operaciones diferentes: la transmisión del mensaje desde el teléfono móvil a una entidad especial del network, llamada **SMSC** (*Short Message Service Centre*), y luego desde el **SMSC** hasta el teléfono receptor. La primera operación se denomina **SMS-MO** (*SMS Mobile Originated*), mientras que la segunda se conoce como **SMS-MT** (*SMS Mobile Terminated*):

- **SMS MT**: Permite recibir al usuario mensajes de texto hasta 160 caracteres en la pantalla del propio teléfono GSM.
- **SMS MO**: Permite al abonado enviar mensajes de texto hasta 160 caracteres a otro terminal GSM, a un fax o a una dirección de correo electrónico en internet”.

¹³ Tomado de www.3gamericas.org/Technology_Center/QA/gsmqa_sp.cfm

A.7 Costo total de los dispositivos utilizados

SIEMENS

Señores:

Atención: Luis Delgado Fernández
E-mail:
Tel.: 2742164
Fax:
Presente

Name/nombre Ing. Sergio Blanco
Abteilung/dpto. División Industria
Standort/lugar San José, Costa Rica
Telefon/Tel. +(506)287-5251
Fax +(506)287-5295
E-mail: sergio.benavides@siemens.com
Nuestra Referencia UNSAVED
Datum/Fecha: Martes, 10 de Agosto de 2004

Asunto: Equipo Simatic
Tenemos el agrado de ofrecerle lo siguiente:

Pos.	Cant.	Código	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	2	6AG1011-1BC00-0AA0	GSM-MODEM MC45 TERMINAL W. MAGNETIC ANTENNA, CURRENT AND ANT. ADAPTER, DATA TRANSM. CABLE; FOR DIN RAIL MOUNTING	US\$601.00	US\$1,202.00
2	2	6ES7214-2BD23-0XB0	SIMATIC S7-200, CPU 224XP COMPACT UNIT, AC POWER SUPPLY 14DI DC/10DO RELAY, 2AI, 1AO, 12/16 KB CODE/10 KB DATA, 2 PP/IFREEPORT PORTS	US\$467.00	US\$934.00
3	2	6ES7901-3CB30-0XA0	SIMATIC S7-200, PC/PPI CABLE MM MULTIMASTER, FOR CONNECTING S7-200 TO SERIAL PORT OF PC, SUPPORTS FREEPORT AND GSM MODEMS	US\$108.00	US\$216.00
4	2	6ES7810-2BC02-0YX0	SIMATIC S7, STEP7-MICROWIN32 V3.2 + SPX, 32 BIT, SINGLE LICENSE F.1 INSTALLATION E-SW, SW AND DOCU. ON CD, CLASS A,5 LANG. (G,E,F,I,S,C) EXECUTABLE UNDER WIN95/98/ME, WINNT/2000/XP, REFERENCE-HW:SIMATIC S7-200	US\$369.00	US\$738.00
Subtotal:				US\$3,090.00	
13% I.V.:				US\$401.70	
Total I.V.I.:				US\$3,491.70	

Condiciones comerciales:

Plazo de entrega: 4 - 6 semanas. Los plazos indicados rigen a partir de la recepción de la orden de compra y el pago del anticipo.

Precio: Neto en dólares estadounidenses, exbodega, más impuestos de ventas.

Forma de pago: 30% de anticipo, 70% contra entrega de los equipos, pudiéndose realizar el pago en colones costarricenses, al tipo de cambio de referencia de venta vigente en el Banco Central de Costa Rica, a la fecha de efectuarse el pago.

Validez de la oferta: 30 días a partir de esta fecha, después de este tiempo se entiende sin compromiso.

Garantía: Un año por defectos de fabricación, a partir de la fecha de nuestra factura.

Cédula jurídica de Siemens S.A.: 3-101-005831-29

En espera que esta oferta sea de su agrado y conveniencia, le saludamos.

Atentamente,
SIEMENS S.A.
División Industria

Ing. Sergio Blanco
A&D AS/SD
Apartado: 10022-1000
San José, Costa Rica

SIEMENS

200 mts. este de la
Plaza de Deportes, La
Uruca

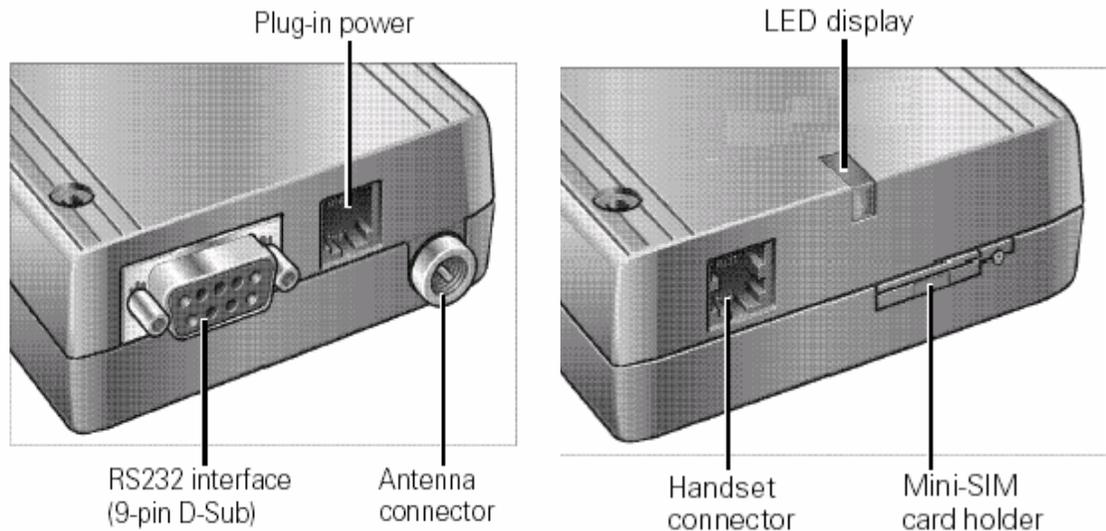
Tel.: (506) 287 5111
Fax: (506) 287 5295

ANEXOS

Anexo B.1 Hojas de datos del módem MC45 terminal

Overview

Front view



Product description

The TC35 Terminal is a compact GSM modem for the transfer of data, voice, SMS and faxes in GSM networks. Industrial standard interfaces and an integrated SIM card reader mean it can be used rapidly, easily and universally as a dual band GSM Terminal. Its performance band width and the robust housing make it easier to quickly implement new applications in areas such as telemetry and telematics.

The features, functions and interfaces of the GSM Terminal TC35 T are described below.

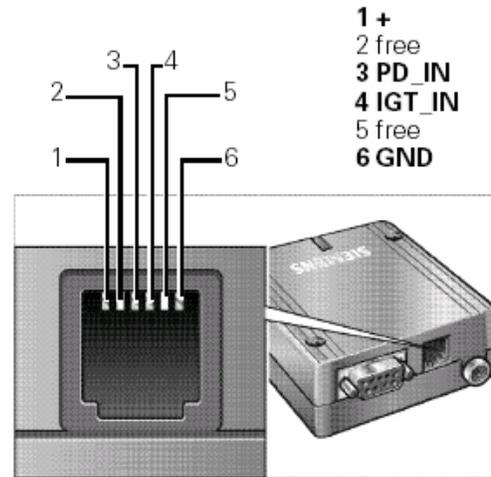
The functionality of the Terminal corresponds to the features of the TC35 module, to which a SIM card reader, an RS232 interface, an analog interface for the handset interface and a greater supply voltage range have been added.

All the external interfaces of the GSM Terminal TC35 T are integrated permanently in the housing. The plug-in connections are standardised and suitable for use under vibration.

Features

- | | |
|----------------------|---|
| Product data | <ul style="list-style-type: none">• Dual-band EGSM900 and GSM• Certified in accordance with GS phase2/2+• Output performance:<ul style="list-style-type: none">– Class 4 (2 W) for EGSM900– Class 1 (1 W) for GSM1800• Control via AT commands• Input voltage range +8V ... +30V• Dimensions: 65 x 74 x 33mm• Weight: approx. 130g |
| Certification | <ul style="list-style-type: none">• R&TTE approval• GCF approval |
| Audio | <ul style="list-style-type: none">• Half rate (HR)• Full rate (FR)• Enhanced full rate (EFR) |
| SMS | <ul style="list-style-type: none">• Point-to-point MT and MO• SMS cell broadcast• Text and PDU mode |
| Data | <ul style="list-style-type: none">• CSD up to 14.4kbps• USSD• Non-transparent mode• V.110, V.32 |
| Fax | <ul style="list-style-type: none">• Group 3, classes 1, 2 |

Connector for the plug-in power supply unit



Interface description

Purpose of the connectors/connections

Signal name	PIN	I/O	Description	Parameters
+	1	I	Positive supply voltage connection	+8V...+30V max. 33V for 1 min
	2		Free	
PD_IN	3	I	Reset input <i>high active</i>	$U_{IH} > +5V$ (>3.5s) $U_{IL} < +2V$
IGT_IN	4	I	Ignition input <i>high active</i>	$U_{IH} > +5V$ (>200ms) $U_{IL} < +2V$
	5		Free	
GND	6	I	Negative supply voltage connection Reference potential for PD_IN and IGT_IN	0V

Use and operation

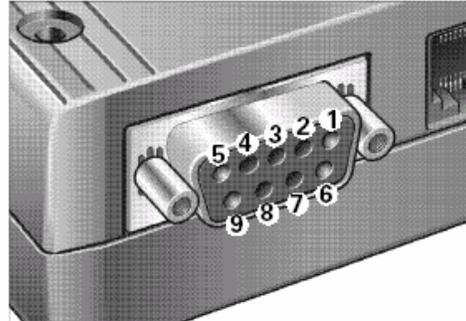
The power supply is implemented by the +- and the GND wire. To switch the TC35 Terminal on, proceed as follows:

- Either activate the DTR control line via the RS232 interface

Interface description

RS232 interface The RS232 interface is the interface for the application software and the connection to the PC. The customer application communicates with the TC35 Terminal or the TC35 GSM engine by means of ATcellular commands. The RS232 interface is implemented as a 9-pin D-Sub socket with a screw fitting.

RS232 interface – 9-pin D-Sub

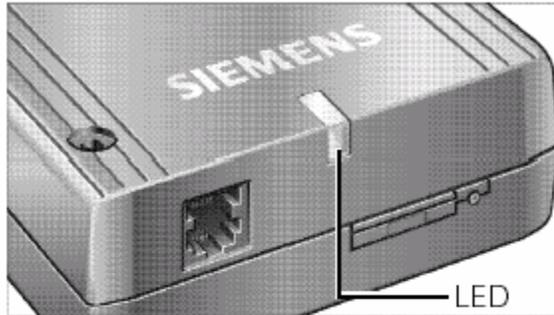


Interface description

Purpose of the connectors/connections

Signal name	PIN	I/O	Description	Parameters
DCD	1	O	The functions correspond to those of a serial interface on the basis of a V.24 protocol.	active high >5V low <-5V
RXD	2	O		logical 1=low <-5V logical 0=high >+5V
TXD	3	I		active high >2.4V low <1.8V
DTR	4	I		active high >2.4V low <1.8V
GND	5			0V
DSR	6	O		active high >5V low <-5V
RTS	7	I		active high >2.4V low <1.8V
CTS	8	O		active high >5V low <-5V
RI	9	O		active high >5V low <-5V

Operating states / LED



The LEDs display the following operating states of the Terminal:

Operating state	LED
After connecting the plug-in power supply unit	On for 2 s
POWER DOWN	Off
– Network search or – no SIM card is inserted or – no PIN is entered (via PC) or – no GSM network is available	Flashes rapidly
STANDBY (registered in the network)	Flashes slowly
Connection (TALK)	On

Anexo B.2 Hojas de datos del Sonar Bero.

SIEMENS

Sonar-BERO Kompaktreihe I, II, III

3RG6

Sonar-BERO Compact Series I, II, III
 Sonar-BERO Série compacte I, II, III
 Sonar-BERO Serie compacta I, II, III
 Sonar-BERO Serie compatta I, II, III
 Sonar-BERO Série compacta I, II, III



DIN VDE 0660 Teil / part / partie / parte / 208

Betriebsanleitung/Operating instructions

Bestell-Nr./Order No.: 3ZX1012-0RG60-3CA1

I

3RG6□12-
3RG6□13-

3RG6□15-

3RG6□14-

3RG6□22-
3RG6□23-

3RG6□25-

3RG6□24-

III

1: L+ 20 .. 30 V DC
 3: L- 0 V

	2	4	5
3RG6□□□-3□C□□	S		
3RG6□□□-3□D□□		S	
3RG6□□□-3□E□□	S	XI	
3RG6□□□-3□F□□	XI	S	
3RG6□□□-3□G□□	S	XI	Sx
3RG6□□□-3□H□□	XI	S	Sx
3RG6□□□-3RS□□	XI	F _A	
3RG61□□-3□E□□	S	XI	I _A /U _A
3RG61□□-3□F□□	XI	S	I _A /U _A

XI: Enable /sync S: Output
 I_A/U_A: Analog output Sx: Blocking output
 F_A: Frequency output

II

	x [mm]
3RG6□□2-	60
3RG6□□3-	300
3RG6□□4-	600
3RG6□□5-	600

Anexo B.2.1 Instrucciones del Sonar Bero

Instrucciones		Español	
	¡Debido a condicionantes físicos, los Sonar-BERO no deben utilizarse para la protección de personas o para funciones de parada de emergencia!	Error en punto de conmutación	0,17%/K (3RG600-30C/D00)
Fig. I:	Para dimensiones (en mm).	Tensión asignada de servicio	U_n 24 V DC
Fig. II:	Mantener libre de objetos perturbadores la distancia "x" alrededor del eje del cono de radiación. La desviación angular de 3° rige para superficies lisas.	Margen de tensión de servicio	U_n 20 a 30 V DC (con 12 a 20 V DC, sensibilidad reducida en hasta un 20 %)
Fig. III:	Conexión. Las conexiones están protegidas contra la permutación de polos y son resistentes a los cortocircuitos y a las sobrecargas. Se recomienda emplear cables apantallados si hay fuertes perturbaciones eléctricas.	Ondulación residual admisible	10 %
Fig. IV:	Zona operativa A: Inicio zona operativa E: Final zona operativa	Corriente en vacío	I_0 <50 mA
Fig. V:	Sincronización: Uniendo los pines XI máx. 10 BERO.	Salida de conmutación / Salida analógica(FA):	
Desbloqueo	Mientras no está aplicada la señal de desbloqueo (XI), permanece memorizado el último estado de conmutación. Cuando se aplica nuevamente la señal de desbloqueo, la salida se actualiza.	Intensidad a signada de servicio	I_G ≤300 mA
Datos técnicos		Caída de tensión	U_G ≤3 V a 300 mA
Grado de protección	IP 65	Salida analógica(UA / IA):	
Peso	máx. 240 g (3RG6014)	Margen de corriente	3RG6100-3CE/F00: 0 a 20 mA 3RG6100-3BE/F00: 4 a 20 mA
Temperatura ambiente	-25 a 70 °C	Carga	0 a 500 Ω
Error en punto de conmutación	±1,5 % (-25 a 70 °C)	Spannungsbereich	3RG6100-3GE/F00: 0 a 10 V
		Carga	>2 kΩ
		Precisión	1,5 %
		Entrada de desbloqueo	
		Detector activo	5 a 30 V ó alto valor óhmico Corriente de entrada I_E máx. 16 mA
		Detector inactivo	0 a 3 V. Corriente de entrada I_E máx. -11 mA
		Para más detalles sobre programación y accesorios, ver el catálogo NS-Bero ref. E6060-K1803-A101 o visitar la web http://www.siemens.de/bero	