

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
AUTOMÁTICO MONITOREADO MEDIANTE TECNOLOGÍA  
GSM, EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y  
AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**BENITO SONCCO HUISA**

**GUZMAN WARNER TICONA CCALLA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO  
MONITOREADO MEDIANTE TECNOLOGÍA GSM, EN EL LABORATORIO DE  
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME”**

TESIS PRESENTADA POR:

BENITO SONCCO HUISA

GUZMAN WARNER TICONA CCALLA

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



---

Ing. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

PRIMER MIEMBRO:



---

Ing. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO:



---

Ing. HENRY SHUTA LLOCLLA

DIRECTOR DE TESIS:



---

Ing. NORMAN JESÚS BELTRÁN CASTAÑÓN

ASESOR DE TESIS:



---

Ing. ELMER RODRIGO AQUINO LARICO

PUNO – PERÚ  
2014

## DEDICATORIA

Al finalizar mi carrera quiero rendir homenaje a:

### *Mi Padre Don Vivivano Soncco Huisa*

Mi gran amigo, por ser una persona de digno respeto junto a sus sabios consejos en cada momento de mi existencia,

### *Mi Madre Doña Victoria I. Huisa Surco*

A quien tanto quiero, por darme la vida y brindarme comprensión, aliento y cariño. Con reconocimiento a su abnegado sacrificio y gracias al esfuerzo de mis padres es que logro la culminación de mi carrera muchas gracias.

### *Mis Hermanos*

Compañeros de toda la vida, cómplices y protectores, por su apoyo y aliento incondicional en el logro de mis metas.

### *Mi Pareja*

La compañera de mi vida, por creer en mí y brindarme cariño y comprensión.

*Benito Soncco Huisa*

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

*Papá Guzman y mamá Julia.*

Este es para ti hija mía *Mireya Minmei* pues tu eres sin duda, la parte más importante de mi vida que me diste muchas fuerzas para lograr una parte de mi meta.

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para tí, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de tí, gracias por estar siempre a mi lado, *Mi Pareja.*

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño está tesis se las dedico a ustedes:

*Hermano y hermanas.*

*Guzman Warner Ticona Ccalla*

## AGRADECIMIENTO

**A DIOS**, Por su bendición, gran amor y por todos los dones que nos da y por permitirme alcanzar esta meta en nuestras vidas.

**A la Universidad Nacional del Altiplano**, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, a su personal docente y administrativo, que comparten sus conocimientos y experiencias para la formación profesional de sus graduados.

**A Los Miembros del Jurado de Tesis:** Ing. Mateo Alejandro Salinas Mena, Ing. Jose Manuel Ramos Cutipa e Ing. Henry Shuta Lloclla por sus valiosas y acertadas orientaciones que nos brindaron en la realización y conclusión del presente proyecto de investigación.

**A Nuestro Director de Tesis:** Ing. Norman Jesus Beltran Castañon **A Nuestro Asesor de Tesis** Ing. Elmer Rodrigo Aquino Larico, por las orientaciones realizadas durante la ejecución del presente proyecto de investigación; quien con su experiencia y conocimiento contribuyeron en la realización de presente proyecto de investigación.

**A Todos los Docentes** de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por habernos inculcado con empeño sus conocimientos en nuestra formación profesional.

**A Todos Nuestros Compañeros** de la de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, y en especial a mis compañeros de código, por haber compartido conocimientos y experiencias durante los años de estudio.

**A Todas las Personas** que de una u otra manera contribuyeron en la realización del presente proyecto de investigación.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
I. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBEJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....	11
1.1. Planteamiento del Problema .....	12
1.2. Formulación del Problema .....	14
1.3.1. Problema general .....	14
1.3.2. Problemas específicos .....	14
1.3. Antecedentes .....	15
1.4. Objetivos del Estudio .....	16
1.5.1. Objetivo general .....	16
1.5.2. Objetivos específicos .....	16
1.5. Hipótesis .....	17
1.6.1. Hipótesis general .....	17
1.6.2. Hipótesis específicas .....	17
1.6. Justificación .....	18
1.4.1. Justificación Técnica: .....	18
1.4.2. Justificación económica: .....	19
1.4.3. Justificación Social: .....	19
II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	20
2.1. Niveles de Comunicación en una Red Industrial .....	21
3.1.1. Nivel de gestión .....	21
3.1.2. Nivel de control .....	22
3.1.3. Nivel de campo y proceso .....	22
3.1.4. Nivel de entradas y salidas .....	23
2.2. El Sistema GSM .....	23
2.2.1. Factores del éxito de GSM .....	25
2.2.2. Arquitectura de la red GSM .....	26
2.2.2.1. Estación móvil .....	26
2.2.2.2. Estación base .....	27
2.2.2.3. Estación de transmisión .....	27

2.2.2.4.	Controlador de la estación.....	28
2.2.2.5.	Sistema de red .....	28
2.2.3.	Servicios actuales de GSM.....	29
2.2.4.	Servicios de datos: las limitaciones de GSM.....	29
2.2.5.	Tecnología GSM aplicado a sistemas industriales .....	30
2.2.5.1.	Ventajas de aplicación con GSM .....	30
2.2.5.2.	Campos de aplicación con GSM.....	31
2.2.5.3.	Oferta del mercado.....	32
2.3.	Sistemas de Control Automático .....	33
2.3.1.	Definiciones.....	33
2.3.1.1.	Variables del sistema.....	33
2.3.1.2.	Variable controlada.....	33
2.3.1.3.	Variable manipulada.....	33
2.3.1.4.	Entrada.....	33
2.3.1.5.	Salida.....	33
2.3.1.6.	Variable controlada.....	34
2.3.1.7.	Planta.....	34
2.3.1.8.	Proceso.....	34
2.3.1.9.	Sistema.....	34
2.3.1.10.	Perturbaciones.....	34
2.3.1.11.	Realimentación.....	35
2.3.1.12.	Diagrama de bloques (o diagrama funcional).....	35
2.3.2.	Sistemas de control.....	35
2.3.2.1.	Clasificación de los sistemas de control.....	35
2.3.2.1.1.	Sistema control lazo abierto.....	35
2.3.2.1.2.	Sistema control lazo cerrado.....	37
2.3.2.2.	Diagrama de bloques.....	40
2.3.2.2.1.	Símbolos de diagrama de bloques.....	40
2.3.2.2.2.	Operaciones elementales.....	41
2.3.2.2.3.	Álgebra elemental de diagrama de bloques.....	42
2.3.2.3.	Función de transferencia de los sistemas en lazo cerrado.....	44
2.3.2.3.1.	Problema regulador.....	47

2.3.2.3.2. Problema servo.....	47
2.3.2.4. Estabilidad de los sistemas de control.....	48
2.3.2.4.1. Métodos para el análisis de la estabilidad .....	50
2.3.2.5. Controladores PID.....	53
2.3.2.5.1. El principio de realimentación .....	54
2.3.2.5.2. Estructura de un controlador PID.....	54
2.3.2.5.3. Acción de control proporcional (P).....	55
2.3.2.5.4. Acción de control integral (I).....	55
2.3.2.5.5. Acción de control proporcional integral (PI).....	56
2.3.2.5.6. Acción de control proporcional integral derivativa (PID).....	57
III. METODO DE INVESTIGACION.....	57
3.1. Interfaz de Comunicación ZELIO2 COM. ....	59
3.1.1. Estación remota con modem GSM.....	60
3.1.2. Material para estación remota con módem GSM.....	61
3.2. Variado de Frecuencia SINAMICS G110 .....	62
3.2.1. Características.....	62
3.2.1.1. Características principales.....	62
3.2.1.2. Funciones .....	63
3.2.1.3. Características de protección.....	63
3.2.2. Instalación eléctrica.....	64
3.2.2.1. Conexión de red y del motor.....	64
3.2.2.2. Bornes de control .....	64
3.2.2.3. Esquema de bloques.....	65
IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION .....	66
4.1. Diseño del Sistema de Control de Nivel.....	67
4.2. Módulo GSM.....	67
4.2.1. Arquitectura del módem.....	67
4.2.2. Conexiones externas del módem.....	68
4.2.2.1. Conector micro FIT.....	68
4.2.2.2. Conector Sub-D.....	68
4.2.2.3. Conector para antena GSM.....	69
4.2.2.4. Antena magnética GSM.....	69



4.2.2.5. GSM Led.....	70
4.3. Planta Sistema del Nivel de Agua.....	71
4.3.1. Entradas y salidas de la planta.....	72
4.4. Implementación del Programa.....	74
4.4.1. Esquema del programa.....	74
4.5. Componentes del Sistema de Control Automático.....	74
4.5.1. Diagrama de conexión del sistema de control automático.....	75
4.5.2. Entradas físicas.....	76
4.6. Interfaz de Comunicación ZELIO2 COM.....	79
4.6.1. Cableado del sistema GSM para la programación y la transferencia.....	79
4.6.2. Programación y transferencia con zelio soft.....	79
4.6.3. configuración de la estación remota.....	80
4.6.3.1. Libreta de estación remota.....	80
4.6.3.2. Libreta de direcciones del programa.....	81
V. EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	83
5.1. Planta.....	84
5.1.1. Método de identificación de procesos.....	84
5.2. Ajuste de Parámetros de Control en el Sistema GSM.....	89
5.2.1. Respuesta de la acción de control.....	89
5.3. Respuesta de Sistema GSM.....	90
5.3.1. Monitorización del sistema GSM a SET POINT.....	90
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXO.....	99
AJUSTE DE PARAMETROS DEL VARIADOR.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Niveles de comunicación en una red industrial.....	21
Figura 2 Sistema GSM .....	24
Figura 3 Arquitectura de la Red GSM.....	29
Figura 4 Sistemas de control en Lazo Abierto .....	37
Figura 5 Sistemas de Control en Lazo Cerrado.....	39
Figura 6 Símbolo de Bloque en DB .....	40
Figura 7 Símbolo de Señal en Diagrama de bloques.....	40
Figura 8 Símbolo de Suma en Diagrama de Bloques.....	41
Figura 9 a) Operaciones con Diagrama de Bloques .....	41
Figura 10 b) Operaciones con Diagrama de Bloques.....	42
Figura 11 Bloques en Serie.....	43
Figura 12 Bloques en Paralelo.....	43
Figura 13 Diagrama de Bloques Realimentado.....	43
Figura 14 Diagrama de Bloques en Sistema de Lazo Cerrado .....	44
Figura 15 Ubicación en el plano complejo de raíces de la ecuación característica.....	51
Figura 16 Diagrama de bloques de un control PID.....	55
Figura 17 Esquema de Trabajo GSM .....	59
Figura 18 Estación Remota GSM.....	60
Figura 19 Esquema de conexión de la estación remota con modem GSM .....	61
Figura 20 Borneras de Red y del Motor .....	64
Figura 21 Borneras de Control del Variador .....	64
Figura 22 Esquema de Bloques del Variado .....	65
Figura 23 Arquitectura del modem GSM.....	68
Figura 24 Componentes del meden GSM .....	68
Figura 25 Conector micro FIT.....	68
Figura 26 Conector Sub D.....	69
Figura 27 Antena GSM .....	69
Figura 28 Indicador del estado del modem .....	70
Figura 29 Sistema control de nivel de agua.....	72
Figura 30 Esquema de conexión de sistema de control de nivel de agua.....	73
Figura 31 Diagrama de conexiones sistema de control automático .....	75
Figura 32 Cableado del sistema GSM.....	79
Figura 33 Selección de Zelio Logic.....	79
Figura 34 Selección del Interfaz de Comunicación.....	80
Figura 35 Respuesta a escalón unitario de la Planta.....	85
Figura 36 Datos experimentales .....	86
Figura 37 Respuesta del Sistema Dinámico .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Entradas y Salidas de sistema control de nivel.....	73
Tabla 2 Datos experimentales.....	85
Tabla 3 Acción de control proporcional.....	90



## RESUMEN

Este proyecto desarrolla e implementa un sistema de control automático monitoreado con tecnología GSM de un proceso industrial. Para este objetivo se utilizó una planta de nivel implementada en el Laboratorio de control y automatización de la EPME, la tecnología GSM (sistema global de comunicaciones) y el entorno de programación Zelio Soft 2 se logró dar el primer paso para la monitorización en tiempo real en el laboratorio antes mencionado, logrando tener un acceso remoto a la planta para monitorizar parámetros, perturbaciones, fallas y condiciones de trabajo que deseamos conocer.

Para implementar la comunicación de los instrumentos del sistemas se realizó mediante el interfaz de comunicación SR2COM01 y el modem GSM SR2MOD02, creando variables que permiten monitorizar y modificar a determinado usuarios, luego de haber implementado la planta se procedió a realizar la identificación del proceso y formulación de un modelo matemático aproximado, se sintonizó un controlador PID para el proceso y se configuró en el programa desarrollado mediante el software Zelio Soft 2 para el control del sistema.

El sistema de control automático con tecnología GSM implementado permite monitorear, controlar en tiempo real los parámetros principales, conocer el estado de las variables de control del proceso a través de los diferentes sensores y actuadores que intervienen en el proceso también acceder a esta información de forma remota, es en este instante donde las facilidades que presenta la tecnología GSM nos brinda un espacio con infinitas posibilidades para lograr este objetivo.

### PALABRAS CLAVES

Monitorización, Sistema Global de Comunicaciones Móbiles.

## ABSTRACT

This project develops and implements an automatic control system with GSM technology monitored an industrial process. For this purpose plant implemented level in laboratory automation and control EPME , GSM (global system of communications) and the programming environment Zelio Soft 2 was used it was possible to take the first step towards real-time monitoring in the aforementioned laboratory , managing to have a remote access to monitor the plant parameters, disturbances , faults and working condition we want to know .

To implement the communication tools of systems was performed by the communication interface SR2COM01 and GSM SR2MOD02 modem , creating variables that allow you to monitor and modify certain users, after implementing the plant proceeded with the identification of process and formulation an approximate mathematical model , a PID controller for the process is tuned and configured by the developed software for Zelio Soft 2 system control program.

The automatic control system with GSM technology implemented allows monitoring, real-time monitoring of the main parameters, the status of the control variables of the process through the various sensors and actuators involved in the process also access this information for remote , is at this moment where facilities posing the GSM technology is providing a space with endless possibilities to achieve this.

### KEYWORDS

Monitoring, Global System for Mobile Communications.

## INTRODUCCIÓN

La monitorización en redes industriales es la nueva tendencia que se está adoptando en la línea de producción, debido a que permite realizar un control directo a los equipos e instrumentos inmersos en el sistema de producción en cualquier momento y desde cualquier lugar creando una línea de control mucho más estable en cada etapa de la producción, pues además de supervisar el correcto funcionamiento del sistema previene al gestor o administrador del área sobre posibles fallas y errores, lo que contribuye en la toma oportuna de decisiones permitiendo a su vez que equipos complejos compuestos por sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos interactúen entre sí de manera idónea.

En la actualidad es posible realizar monitorizar a través de una red GSM interconectada con la red industrial la cual habilita a terminales móviles tales como teléfonos celulares para interactuar con el sistema de producción mediante los servicios brindados del sistema global de comunicaciones.

El presente trabajo de investigación se centra en el estudio, funcionamiento, programación y protocolos de un módulo GSM, así como de los métodos de incorporación de dispositivos móviles en una red de comunicación industrial, que permita realizar una monitorización del proceso de forma remota mediante dispositivos móviles por mensajes de texto desde terminales GSM.

*El Capítulo I*, Contiene toda la descripción de la conceptualización del tema de investigación.

*El Capítulo II*, Marco Teórico y Conceptual, se presenta los conceptos generales, la teoría y clasificación niveles de comunicación industrial, sistema GSM y los sistemas de control automático.

*El Capítulo III*, Se presenta la metodología de investigación y la descripción de los equipos seleccionados para la implementación del sistema de control automático monitoreado con tecnología GSM.

*El Capítulo IV*, se presenta la implementación de la planta de nivel, el programa realizado el software Zelio Soft 2 el que cargado en el relé programable con acción de control proporcional también se presenta el esquema de conexiones realizados de los equipos.

*El Capítulo IV*, Pruebas y Resultados, indica las pruebas y todos los resultados obtenidos dentro del laboratorio de control y automatización de la EPIME.

*El Capítulo V*, Conclusiones y Recomendaciones, a las que llegamos al finalizar la tesis.

*Anexo*, Presentamos los parámetros a ingresar en el variador de velocidad Siemens.



# CAPÍTULO I

---

## PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBEJETIVOS DE LA INVESTIGACION



## 1.1. Planteamiento del Problema

Hoy en día el sector industrial y minero requiere sistemas de control automático monitoreado, rápido, confiable y seguro para una mayor producción y a un menor costo de operación, por ello centrándonos en máquinas eléctricas rotativas, que cumplen diversas operaciones en la industria; bombeo de agua, chancado de minerales, molinos, compresoras, ventiladores con la finalidad de mejorar la producción.

Una máquina eléctrica rotativa como el motor asincrónico permite aplicar sobre este una serie de técnicas de control para su accionamiento, pero ninguna permite buena relación par velocidad, bajo costo, conservación de la máquina, eliminación de pérdidas y buen funcionamiento a distintas velocidades. Todos los métodos tradicionales (lógica cableada) deberían eliminarse de las aplicaciones industriales, estos métodos derrochan energía, disminuyen la vida útil de la máquina, no permiten el completo control del sistema y poseen alto costo respecto a los métodos de accionamiento electrónicos.

Por ello para controlar y monitorizar en tiempo real a este tipo de máquinas o procesos industriales, es necesario implementar un sistema de comunicación con tecnología GSM, con la finalidad de asegurar la seguridad, productividad, el consumo eficiente de energía y la vida útil de estas máquinas, asociado con un PLCs, variador de velocidad, sensores, etc. la cual permitirá lograr un control tanto en el arranque de la máquina, control del torque mecánico, control de la velocidad según sea la exigencia de la carga y de la protección ante evento de falla o perturbaciones.

La implementación de un sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM se realiza con el propósito de gestionar recursos de control, adquisición de eventos de falla. se ha convertido en una necesidad cada día más requerida debido al crecimiento de

áreas que solicitan un sistema de este tipo con la capacidad de acceder en tiempo real ya sea desde cualquier teléfono celular o dispositivo con sistema GSM que permitirá controlar y monitorear eventos de falla o incidentes en la red de alimentación como pérdidas de fase, sobre tensión, sub tensión y otras perturbaciones del sistema, orientado a:

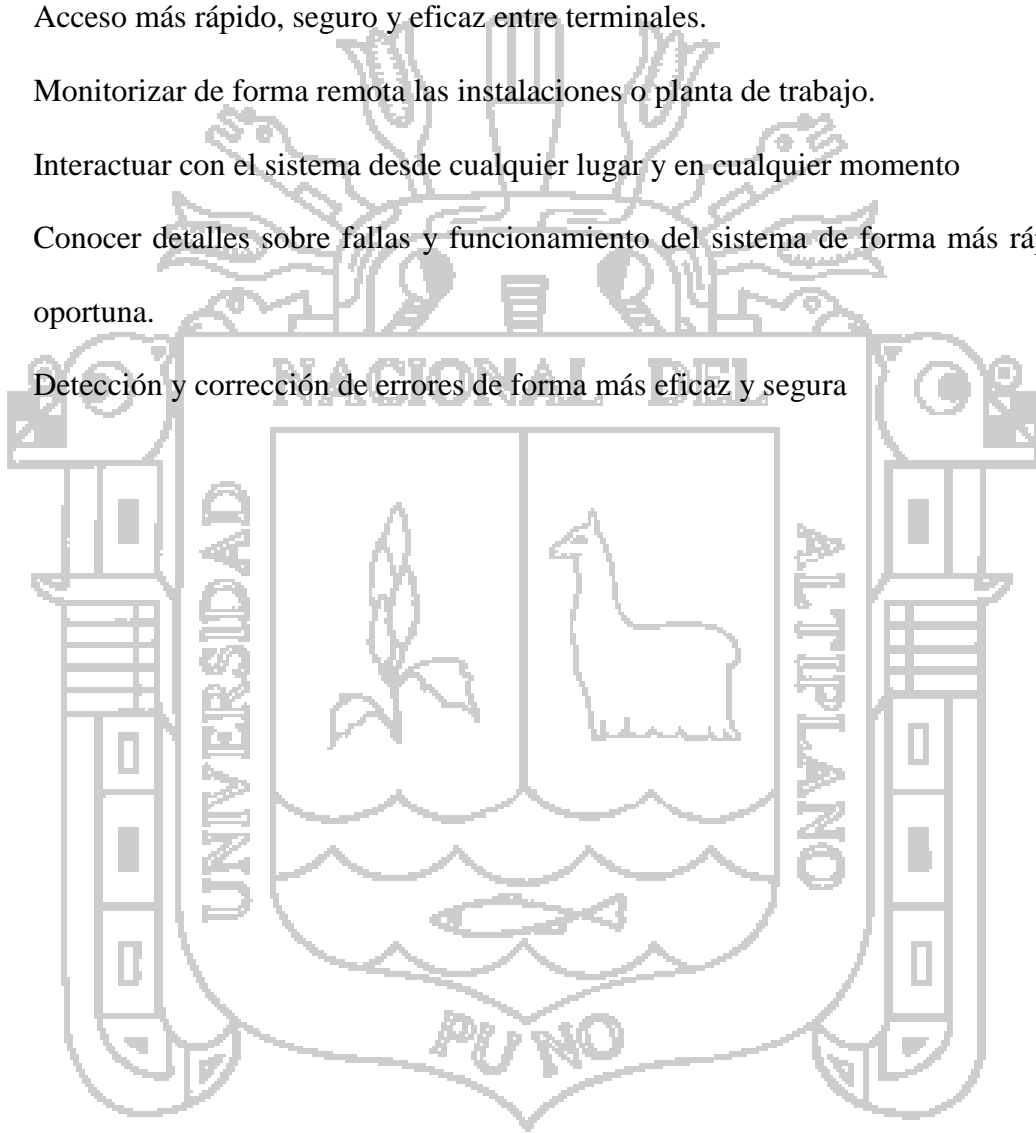
Acceso más rápido, seguro y eficaz entre terminales.

Monitorizar de forma remota las instalaciones o planta de trabajo.

Interactuar con el sistema desde cualquier lugar y en cualquier momento

Conocer detalles sobre fallas y funcionamiento del sistema de forma más rápida y oportuna.

Detección y corrección de errores de forma más eficaz y segura



## 1.2. Formulación del Problema

La implementación de un sistema de control automático monitoreado con tecnología GSM, tiene la finalidad de experimentar, comprobar, verificar y aclarar inquietudes que se presenten antes, durante y después de la ejecución del proyecto.

### 1.3.1. Problema general

- ¿El diseño del sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM permitirá su implementación para el control y adquisición de evento se falla o perturbaciones en tiempo real?

### 1.3.2. Problemas específicos

- ¿Es necesario la implementación de la tecnología GSM para el análisis e interpretación de los resultados experimentales?
- ¿La aplicación de la tecnología innovada mediante un sistema de comunicación con tecnología GSM permitirá monitorizar un sistema de control automático en el laboratorio de la EPIME?
- ¿En qué medida permite monitorizar los parámetros de operación la tecnológica GSM a nivel de laboratorio?
- ¿En qué grado la aplicación de la tecnología introducida será ventajoso económicamente en cuanto a su operación, seguridad y mantenimiento?

### 1.3. Antecedentes

Las investigaciones en conjunto con la tecnología actual han logrado ofrecernos las resoluciones de casi todos los problemas de nuestros días. Permitiendo al hombre obtener el control de las máquinas creadas por él mismo para optimizar la productividad en el sector industrial.

Antes de la aparición del Controlador de Lógica Programable (PLC), el problema de automatizar un proceso en el sector industrial, se resolvía por medio de la lógica cableada estos requerían mucho trabajo de cableado para la operación, por lo que se buscaba siempre tener el control lo más cercano al operador sin mecanismos que complicar el manejo de la operación. Al surgir los PLC como alternativa de automatización, estos son en su mayoría compactos y ofrecen una gama de opciones que facilitan la programación, así como la rapidez para el flujo de información.

La automatización monitoreada de sistemas ha pasado a formar parte del ámbito corporativo y se incluye dentro del contexto empresarial con el objetivo de mejorar la calidad y la productividad así mismo surge la necesidad de monitorizar recursos, mediante la implementación de un sistema de control automático monitoreado con tecnología GSM, los cuales son los encargados de acoplar los sensores de parámetros físicos con procesadores industrial (PLC), así como del control de actuadores en forma remota.

## 1.4. Objetivos del Estudio

### 1.5.1. Objetivo general

- Diseñar e Implementar un sistema de control automático monitoreado en tiempo real con tecnología GSM para gestionar recursos de control y adquisición de eventos de falla o perturbaciones para una electrobomba centrífuga en forma experimental el cual se desarrollara en el laboratorio de control y automatización de la EPIME.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar el marco teórico conceptual de sistemas de control monitoreado mediante tecnología GSM.
- Describir el principio de funcionamiento de un sistema de control mediante PLC, variadores de velocidad a una electrobomba centrífuga.
- Implementar un sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM para finalmente realizar su evaluación.
- Analizar e interpretar los resultados del sistema de control automático con tecnología GSM implementado en el laboratorio de control y automatización de la EPIME

## 1.5. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis general

- Con este sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM permitirá gestionar recursos de control y adquisición de eventos de falla en forma eficiente, rápida, confiable y segura.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

- Se realizará un marco teórico conceptual detallado de un sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM.
- Se describirá el principio de funcionamiento de un sistema de control automático mediante PLC, variador de velocidad de una electrobomba centrífuga.
- Se implementara un sistema de control automático monitoreado mediante tecnología GSM.
- Se analizará los resultados de la implementación experimental del sistema de control automático con tecnología GSM en el laboratorio de la EPIME.

## 1.6. Justificación

Con el desarrollo del tema de investigación propuesto se dispondrá de una base que ayudará a fomentar el avance en esta área, pues se contará con la información necesaria que permita realizar un sistema de control y monitoreado que gestione el desarrollo de los procesos productivos.

La integración de un sistema monitoreado que habilite la comunicación de un equipo conectado a una red GSM, significa que los datos del proceso puedan ser accedidos y monitoreados en cualquier instante y desde cualquier lugar, lo que le brinda mayor flexibilidad al proceso industrial, mejorando la calidad del producto resultante pues se evitará y corregirá errores en menor tiempo, a la vez que se estaría usando menos recursos, lo que supondría costos de producción menores.

### 1.4.1. Justificación Técnica:

Con la implementación de este sistema podrá conocer el funcionamiento de un sistema de control automático monitoreado que es una tecnología GSM actual de buena característica de funcionamiento que permitirá que los estudiantes comprueben directamente la teoría que ellos han adquirido en las diferentes asignaturas referidas al tema, en el laboratorio de control y automatización de la EPIME.

Conocer el funcionamiento de un Sistema de control automático monitoreado, es muy importante, ya que ello permitirá que los estudiantes y docentes desarrollen experiencias relacionados al tema, y ello va a determinar que se tenga criterios, alcances y aportes para desarrollar futuros trabajos referidos ya que este tipo de sistemas actualmente son requeridos en el sector industrial.

### **1.4.2. Justificación económica:**

El uso de este sistema de control automático monitorizado es una tecnología de alto costo inicial, pero que se puede recuperar a largo plazo con la producción debido a la eficiencia energética del orden del 30%.

### **1.4.3. Justificación Social:**

La tendencia social en cuanto al uso de las Nuevas Tecnologías de sistema de control automático monitorizado enfocadas a la seguridad, confort y ahorro energético, en una vivienda ya está siendo empleado en principales ciudades, nuestro entorno no es ajeno a este tipo de sistemas los mismos que serán instalados con fin asegurar la seguridad de personas y bienes de la siguiente forma:

En seguridad de personas se incluyen tareas como: Alumbrado automático por detección de presencia en zonas de riesgo (escaleras, etc.), desactivación de la corriente en ciertos enchufes (habitación de los niños, etc.), detectores de fugas de gas o de agua, para efectuar cierres de válvulas de paso a la vivienda en el caso de producirse escapes, alarmas de salud.

En el caso de personas con necesidades especiales (ancianos, personas discapacitadas) con pulsadores cuya activación genera un aviso a un familiar o un centro médico para solicitar ayuda inmediata.

Este sistema beneficiara en el entorno social evitando riesgos, accidentes en forma directa con la instalación en viviendas con sensores seleccionados para vigila las posibles incidencias que pueden ocurrir tanto en presencia como en ausencia en una vivienda. Lo que permitirá tomar acciones inmediatas frente a la detección de incendios, fuga de agua y gas, etc.





# **CAPÍTULO II**

---

## **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

## 2.1. Niveles de Comunicación en una Red Industrial

Dentro de una red industrial existirán equipos, maquinaria y dispositivos de todo tipo, tales como computadores, motores, controladores, actuadores, reguladores, robots, válvulas, etc., a los cuales se los agrupa de forma jerárquica con la finalidad de obtener la conexión más idónea para cada área de trabajo.

Básicamente se pueden definir cuatro niveles de jerarquía, los cuales son:

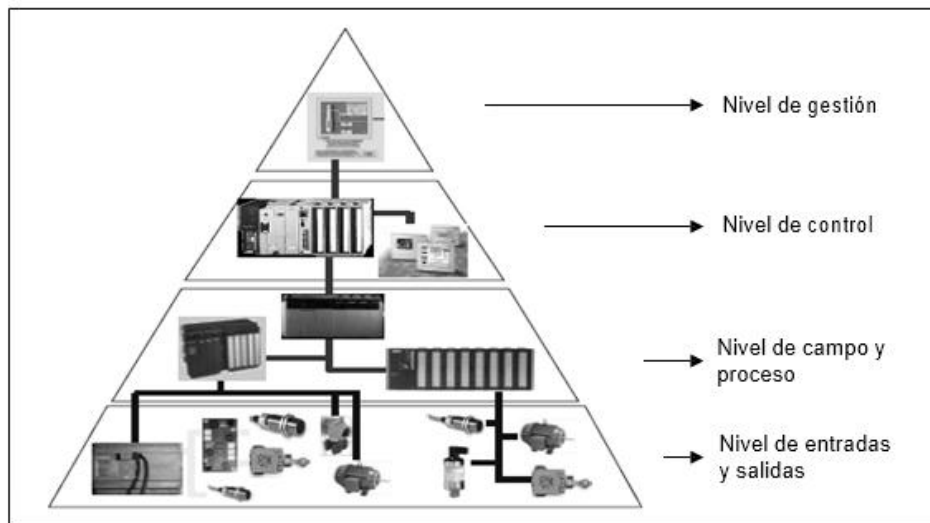


Figura 1 Niveles de comunicación en una red industrial

Fuente: Comunicaciones Industriales [6]

### 3.1.1. Nivel de gestión

Es el nivel más alto dentro de una red industrial, está enfocado en el área administrativa y comercial de la empresa, su objetivo principal es el de fortalecer a los demás niveles ya que es aquí donde se define la estrategia y planificación de trabajo enlazando el área de gestión de la empresa con el sistema productivo, supervisando productos, pedidos, ventas, etc.

En este nivel se emplean estaciones de trabajo especializados en la gestión y el almacenamiento de datos, que permiten simular el proceso de producción así como intercambiar datos con otros departamentos mediante una red de comunicaciones

### **3.1.2. Nivel de control**

Este nivel se centra en la logística operacional, donde se deciden aspectos importantes del proceso productivo tales como entrada y salida de materiales, se estructuran políticas y estrategias de planificación así como requerimientos de trabajo, para ello se efectúa un análisis detallado de la información remitida por los niveles inferiores.

Con la finalidad de contar con una visión más amplia de la labor que se efectúa en la planta, en este nivel se incorporan equipos dotados con software específico para el diseño y control de calidad del proceso productivo, denominados células de fabricación tales como PLC y PC, los cuales están enlazados mediante una red de área local, lo que facilita la supervisión y el control en las diferentes zonas de trabajo.

### **3.1.3. Nivel de campo y proceso**

Este nivel se caracteriza por la integración de pequeños automatismos como PLC's compactos, multiplexores de entrada y salida, controladores, etc., dentro de subredes denominadas islas, las mismas que también pueden contener autómatas modulares que desempeñan el papel de maestros de la red.

En este nivel cerca del proceso a controlar se implanta una interface de operaciones que permite al operador de la planta visualizar el desempeño y el progreso de la producción, en cualquier formato de presentación tal como una visión global del estado del proceso, representaciones gráficas de los elementos o equipos de proceso, estado de alarmas y

cualquier otro tipo de información. Por su parte el operador está en la capacidad de requerir información del proceso, ejecutar estrategias de control y generar informes de operación. Dentro de este nivel se implementan los buses de campo que permiten extraer los datos más significativos del nivel inferior mediante los puentes de comunicaciones y los ponen a disposición de la interface de operaciones.

### **3.1.4. Nivel de entradas y salidas**

Físicamente este nivel se encuentra en contacto con el entorno a controlar, constituye el nivel más bajo del proceso; contiene sensores, actuadores y módulos de entrada y salida que se encargan de manejar el proceso productivo, así como tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

Su trabajo se centra en comunicar al Nivel de Control el estado del proceso de producción y a su vez modificar los parámetros de trabajo reajustándolos de acuerdo a las órdenes recibidas por los niveles superiores.

Los equipos empleados en este nivel se basan en microprocesadores lo que los hace muy flexibles permitiendo modificar los requerimientos y control del proceso, los cuales además poseen la capacidad de ejecutar algoritmos, secuencias lógicas, y estrategias de control altamente interactivas.

Sin embargo al ser equipos tan sensibles se requiere de personal altamente especializado para que realice su instalación dentro de un bus de campo, o un bus de dispositivos.

## **2.2. El Sistema GSM.**

GSM derivado de Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

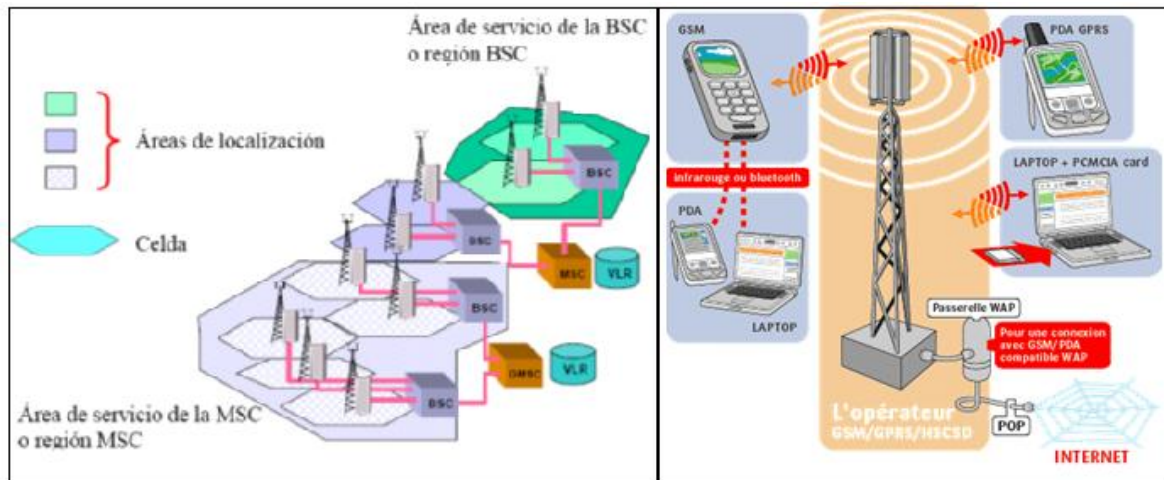


Figura 2 Sistema GSM

Hoy en día GSM es ampliamente difundido a nivel mundial, pues está presente en más de doscientos países y territorios y cuenta con más de mil millones de usuarios, lo que facilita ofrecer a los usuarios una cobertura mundial, claro esto se hace posible gracias a los acuerdos existentes entre operadoras de diversos países, lo que le permite a un cliente que viaja fuera de su país utilizar en el extranjero su propio equipo y número telefónico, una vez que el teléfono es encendido, la red local lo registra como visitante autorizado, y le habilita usar normalmente su teléfono GSM.

La tecnología GSM es más que transmisión de voz, brinda nuevas formas de comunicación, por ejemplo ha sido pionera de servicios como el envío y recepción de mensajes de texto, mensajes multimedia, imágenes, videos, fotos, televisión en tiempo real móvil, entre otros. Esta tecnología digitaliza y comprime los datos con información del usuario y los envía a través de un canal, cada uno de ellos en su propia ranura de tiempo. Funciona en bandas de frecuencia de 900 MHz o de 1800 MHz.

El éxito de los sistemas analógicos provocó un extraordinario aumento en el número de usuarios de telefonía móvil que superó las previsiones estimadas por las compañías. Los usuarios demandaban redes de comunicaciones más seguras, de mayor calidad en la

recepción y que les permitiesen una mayor movilidad en las comunicaciones a través de edificios ciudades o países, pero para ello, las comunicaciones analógicas mostraban grandes limitaciones.

La solución llegó con la digitalización y el sistema GSM, que nació como estándar internacional de comunicaciones digitales móviles en 1987 tras la firma por 13 países del MOU (Memorandum de comprensión). Con este tratado se acordó la construcción de un sistema de comunicaciones que operara en una banda de 900 Mhz. Así, GSM no sólo se convirtió en un estándar europeo, sino que se utiliza en gran parte del mundo.

Con GSM la telefonía móvil ha ido desarrollándose hasta convertirse en una verdadera revolución tecnológica que ha cambiado la percepción de la telefonía y las comunicaciones del consumidor, llegando a ser, para muchos, un elemento imprescindible de su vida cotidiana, tanto personal como profesionalmente. Además de las altas prestaciones que ofrece GSM, la incorporación de los sistemas digitales redujo el costo de las redes, puesto que las estaciones base y las centrales de conmutación digitales son más económicas.

### **2.2.1. Factores del éxito de GSM**

Han sido varios los factores que combinados, han contribuido al éxito de GSM en los últimos años:

- Abarata y simplifica el uso de la telefonía móvil.
- Aceptación de carácter universal.
- Compatibilidad con las tecnologías actuales y futuras.
- Acceso a servicios de gran utilidad.
- Ofrece gran calidad de voz.
- Distinción de los tipos de datos y adecuación a cada uno de ellos.

- Incorpora mecanismos de seguridad fiables.
- La seguridad en sistemas GSM

La seguridad es uno de los elementos clave del éxito de GSM. Esta tecnología asegura la privacidad, integridad y confidencialidad de las llamadas efectuadas por los usuarios. Para ello incorpora Smart Cards que contienen la identificación personal del suscriptor e información del servicio.

El elemento clave en la identificación del usuario es el módulo de identidad del suscriptor, más conocido como SIM. El SIM es una pequeña tarjeta con un chip impreso que va insertada dentro de cada terminal móvil y que, al contrario de otros sistemas celulares contiene toda la información del usuario. Este sistema permite ciertas ventajas; por ejemplo, si existe una avería en el móvil, el usuario no tiene por qué quedarse sin número de teléfono, ya que puede insertar el SIM en otro móvil y recibir llamadas a través de él. El SIM está protegido por una clave de acceso numérica de cuatro dígitos que es el PIN o número de identificación personal.

### **2.2.2. Arquitectura de la red GSM**

A continuación se nombran las características técnicas fundamentales del sistema GSM, que se divide en tres niveles principales:

#### **2.2.2.1. Estación móvil**

Son teléfonos digitales que pueden ir integrados como terminales en vehículos, pueden ser portables e incluso portátiles, los cuales tienen incorporado la tarjeta SIM o Módulo de Identificación.

El SIM es la tarjeta proporcionado por el operador al usuario cuando se contrata el servicio de telefonía, y se puede utilizar en cualquier terminal compatible. en ella se almacena toda la información del usuario, contiene un microprocesador y una pequeña memoria.

La tecnología GSM está basada en el uso de la tarjeta SIM pues los servicios que ofrece están asociados a la tarjeta SIM y no al equipo móvil, de tal forma que los clientes pueden cambiar de equipo y mantener sus datos. Lo que le brinda al cliente portabilidad de la información, o a su vez es posible también cambiarse de operadora con solo adquirir una nueva tarjeta SIM y contratar los servicios.

La tarjeta SIM Guardará, entre otras, la siguiente información para la comunicación:

- Número de serie
- Identificación internacional del móvil (IMSI)
- Identificación temporal del móvil (TMSI)
- PIN (Clave corta de desbloqueo)
- PUK (Clave larga de desbloqueo)
- Clave del algoritmo de autenticación (Ki)
- Algoritmo de autenticación (A3)
- Algoritmo de generación de claves de cifrado (A8)
- Algoritmo de cifrado (A5)

#### **2.2.2.2. Estación base**

(Base Station Subsystem, BSS): Sistema encargado de controlar las comunicaciones de radio del terminal. Está en contacto con el sistema de red (NSS), a través del cual conecta al usuario del móvil con otros usuarios. Está compuesto de dos unidades:

#### **2.2.2.3. Estación de transmisión**



(Base Transceiver Station, BTS): Se encarga de gestionar las comunicaciones por radio de las estaciones móviles. Proporciona un número de canales de radio a la zona a la que da servicio.

#### **2.2.2.4. Controlador de la estación**

(Base Station Controller, BSC): Gestiona los recursos de radio de una o varias estaciones de transmisión, enlazándolas con el centro de conmutación de servicios móviles. La función primaria es el mantenimiento de la llamada, así como la adaptación de la velocidad del enlace de radio al estándar de 64 kbps utilizado por la red.

#### **2.2.2.5. Sistema de red**

(Network Subsystem, NSS): su componente principal es el Centro de Servicios Móviles (Mobile Services Switching Center MSC). Se encarga de todas las tareas informáticas: registra y verifica las comunicaciones. Actualiza la localización del usuario, gestiona los problemas de saturación, direcciona las llamadas, interconecta a los usuarios entre sí y con la red fija. Resumiendo, gestiona las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Dentro de la estructura del NSS hay una serie de subsistemas que se encargan de controlar diversas funciones del móvil:

- Visitor Location Register (VLR): Controla el tipo de conexiones que un terminal externo puede hacer.
- Home Location Register (HLR): Contiene la información sobre el cliente del servicio y la localización actual del terminal. Mediante el HLR se verifica si un usuario que se conecta dispone de un contrato de servicio.
- Short Message System Center (SMSC): Gestiona los mensajes de texto SMS.

- Authentication Center (AC): Garantiza la autenticación del usuario.

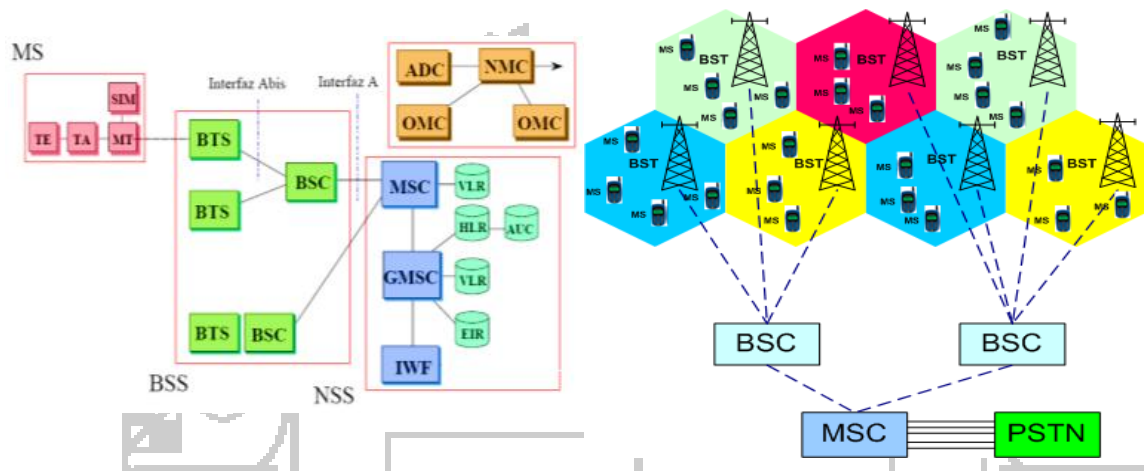


Figura 3 Arquitectura de la Red GSM

### 2.2.3. Servicios actuales de GSM

El éxito de GSM como un estándar abierto trajo consigo un mercado global y múltiples proveedores para infraestructura, terminales y desarrollo de aplicaciones. En la actualidad GSM ofrece una amplia variedad de servicios y aplicaciones que pueden ser implementadas por los operadores en sus sistemas

### 2.2.4. Servicios de datos: las limitaciones de GSM

La tecnología GSM fue diseñada en principio para utilizar básicamente servicios de voz. Hoy la mayoría de los servicios GSM están, de hecho, relacionados con la voz: llamadas en espera, servicios de conferencia, filtros de llamadas, etc.

Sin embargo hemos visto cómo se han desarrollado multitud de servicios y aplicaciones de datos que confieren un valor añadido. La penetración de estos servicios no ha sido la

esperada y en la actualidad no representan el volumen de ingresos previsto inicialmente por los operadores. Pese a ofrecer soluciones eficaces para la comunicación de datos sencillos, y pese al éxito de servicios como SMS, GSM muestra carencias cuando hablamos de servicios de datos avanzados como WAP, aplicaciones y servicios multimedia y utilización del móvil como módem.

Los principales motivos por los que GSM muestra carencias a la hora de soportar servicios de datos avanzados son los siguientes:

- Los terminales GSM operan mediante conmutación de circuitos. En este sistema de transmisión, cada llamada establece un circuito con el otro extremo y cuando la llamada concluye, dicho circuito se libera. Esta forma de transmisión de datos es extremadamente limitada en términos de capacidad.
- No es posible el acceso directo a Internet al no soportar el protocolo IP.
- Las limitaciones de coste y ancho de banda hacen que la velocidad máxima de transmisión de datos en GSM sea de 9,6 Kbps.

### **2.2.5. Tecnología GSM aplicado a sistemas industriales**

En el campo de la Automatización y Control Industrial se requiere frecuentemente conectar distintos equipos y sistemas. Para tal objeto, usualmente, se emplean unidades remotas de transferencia de datos debidamente interconectadas, y cuando el medio requerido es el aire, se dispone de módems RF (Radio Frecuencia). Sin embargo, hoy en día es posible emplear la red de telefonía móvil, la que ya cuenta con la tecnología adecuada para transmisión de datos (GSM).

#### **2.2.5.1. Ventajas de aplicación con GSM**

Las primeras aplicaciones industriales implementadas con GSM se generaron por la dificultad orográfica o la excesiva dispersión de los puntos a controlar, lo que imposibilitaba o encarecía las comunicaciones por radio. Además, una plataforma GSM se puede implementar más rápidamente, ya que no requiere licencia, torres, repetidores o permisos de paso en terrenos. De igual modo, el GSM presenta tres ventajas adicionales que han resultado claves para su extensión:

- como lo son una cobertura universal con antenas de tamaño reducido.
- módems GSM a precios competitivos.
- bajo consumo energético.

Aunque GSM presenta diversas ventajas, nos centraremos en aquellas que están relacionadas con el objeto de estudio.

La tecnología GSM hace posible controlar las anomalías de los equipos como si estuviera verdaderamente presente ante ellos. Todos los procesos de control se realizan en un corto espacio de tiempo y la configuración de los programas y su prueba son inmediatos.

Al emplear un sistema de comunicaciones móvil, se resuelve los problemas y fallos que puedan ocasionar en la planta, pues posee la capacidad de control y comunicación inalámbricos mediante terminales móviles, permitiendo a los usuarios además de una comunicación desde su teléfono celular, tener una línea de control y monitorización estable. Esto permite realizar el control directo de los instrumentos en cualquier instante, sin las restricciones de lugar de conexión y fiabilidad.

### **2.2.5.2. Campos de aplicación con GSM**

Las aplicaciones posibles son múltiples y en su mayoría novedosas, ya que hasta el momento las tecnologías son aplicadas en diferentes procesos industriales como:

- Aguas: control de avenidas en torrentes, control de calidad de agua o fugas en la red, control de pozos y control de plantas de tratamiento de aguas.
- Seguridad industrial: supervisión de sistemas eléctricos, intrusismo y control de ambiente en naves industriales y cámaras frigoríficas.
- Transporte industrial: control de seguridad en transportes de materias peligrosas.
- Energía: control de mini-centrales hidráulicas, generadores eólicos o solares.
- Sector agrícola: estaciones meteorológicas y agrimensoras.
- Sector medioambiental: estaciones meteorológicas y control de plagas.

### **2.2.5.3. Oferta del mercado**

Muchas compañías ofrecen actualmente equipos para la transmisión de datos GSM y cada vez están siendo de mayor uso, ya que la red GSM ha ido cubriendo un mayor territorio siendo, Schneider Electric es uno de los distribuidores más importantes que ofrece una gran gama de productos relacionados al automatismo, en este proyecto la implementación se realizara con los productos ofrecidos por Schneider Electric..

Dentro del mercado, se encuentran varias alternativas de hardware, como el SR2COM01, SR2MOD02, que son equipos configurable con comunicaciones vía GSM, alimentado con tensión continua de 12-24 V. Este equipo se enlaza con el PLC en forma directa y su configuración es con la finalidad de realizar trabajos coordinados con actuadores como PLC, variadores de velocidad, sensores aplicados en la industria asimismo en otros ámbitos.

## 2.3. Sistemas de Control Automático

Los sistemas de control automático son de vital importancia en el mundo de la ingeniería.

El sistema de control es un conjunto de dispositivos que colaboran en la realización de una tarea, donde el principio básico del control es la regulación automática o guía de sistemas dinámicos o dispositivos bajo condiciones de estado estacionario y transitorio.

### 2.3.1. Definiciones

A continuación presentamos las definiciones más importantes concernientes a sistemas de control.

#### 2.3.1.1. Variables del sistema.

Son las magnitudes que se someten a control y que definen su comportamiento (velocidad, temperatura, posición, etc.).

#### 2.3.1.2. Variable controlada.

Es la cantidad o condición que se mide y controla. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema

#### 2.3.1.3. Variable manipulada.

Es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

#### 2.3.1.4. Entrada.

Excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta

#### 2.3.1.5. Salida.

Respuesta que proporciona el sistema de control.

#### **2.3.1.6. Variable controlada.**

Es la cantidad o condición que se mide y controla. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema

#### **2.3.1.7. Planta.**

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.

#### **2.3.1.8. Proceso.**

Un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinados.

#### **2.3.1.9. Sistema.**

Un sistema está integrado por una serie de elementos que actúan conjuntamente y que cumplen un cierto objetivo determinado. Los elementos que componen un sistema no son independientes, sino que están estrechamente relacionados entre sí, de forma que las modificaciones que se producen en uno de ellos pueden influir en los demás.

#### **2.3.1.10. Perturbaciones.**

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y es una entrada.

#### **2.3.1.11. Realimentación.**

Propiedad por la cual se compara la salida con la entrada al sistema.

#### **2.3.1.12. Diagrama de bloques (o diagrama funcional).**

Es la forma de representación más sencilla de los sistemas de control, en el que se da una idea de las relaciones existentes entre la entrada y la salida de un sistema.

### **2.3.2. Sistemas de control**

Un sistema de control es una interrelación de varias componentes que forman el sistema donde la variable controlada (salida), es ajustada para que tenga un comportamiento pre fijado que proporciona la respuesta deseada.

#### **2.3.2.1. Clasificación de los sistemas de control**

Todo sistema de control usa los criterios de los bloques funcionales para formar el sistema, donde cada bloque cumple con una función particular dentro del sistema. En este sentido existen dos formas básicas de sistema de control que son:

- sistema de control de lazo abierto
- sistema de control de lazo cerrado

##### **2.3.2.1.1. Sistema control lazo abierto**

Los sistemas de control en lazo abierto son aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida, es decir, que la señal de salida no influye sobre la entrada. La



salida obtenida no puede ser modificada por ningún cambio en las condiciones de operación externa del sistema.

Este sistema tiene un regulador o controlador con el fin de obtener la respuesta deseada, que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador

Son los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control. En un sistema en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de bajo costo.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.
- son de buena confiabilidad, pero con frecuencia son inexactos, porque no hay corrección de errores.

### 2.3.2.1.1.1. Elementos de un sistema de control de lazo abierto

En la figura siguiente se observa que la salida no tiene efecto sobre la señal de entrada.

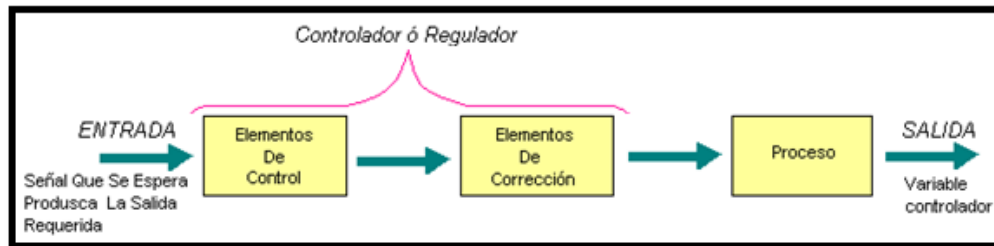


Figura 4 Sistemas de control en Lazo Abierto

#### a) Elementos de control

Este elemento determina que acción se va a tomar ante una entrada en el sistema de control.

#### b) Elementos de corrección

Este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir cambio en la variable controlada al valor requerido.

#### c) Proceso o planta

Es el sistema en el que se va a controlar la variable. El elemento de control y el elemento de corrección se unen para formar el controlador.

#### d) Controlador

Es un dispositivo de control que envía una señal para iniciar la acción después de algún periodo o una secuencia de señales para iniciar una secuencia de acciones en tiempos diferentes. El controlador representa el cerebro del sistema de control.

### 2.3.2.1.2. Sistema control lazo cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar

la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control de lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas o/y integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

#### **2.3.2.1.2.1. Elementos de un sistema de control de lazo cerrado**

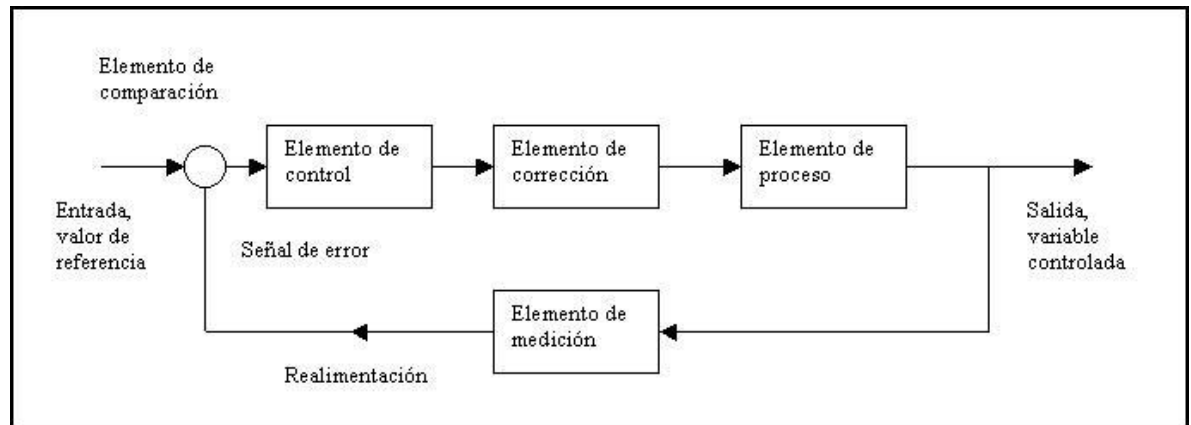


Figura 5 Sistemas de Control en Lazo Cerrado

**a) Elemento de comparación**

Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.

**b) Elemento de control:**

Este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error.

**c) Elemento de corrección:**

Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error.

**d) Elemento de proceso:**

El proceso o planta, es el sistema dónde se va a controlar la variable.

**e) Elemento de medición:**

Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.

### 2.3.2.2. Diagrama de bloques

Un sistema de control puede constar de cierta cantidad de componentes. Para mostrar las funciones que realiza cada componente se acostumbra usar representaciones esquemáticas denominadas Diagrama en Bloques. Este tipo de diagramas emplea tres símbolos:

#### 2.3.2.2.1. Símbolos de diagrama de bloques

##### 2.3.2.2.1.1. Bloque

Sirve para representar un sistema al que llega información (variable de entrada) y en el que se produce información (variable de salida). Se lo identifica con una letra Mayúscula que da el valor del bloque.

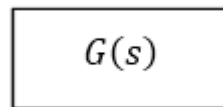


Figura 6 Símbolo de Bloque en DB

##### 2.3.2.2.1.2. Señal

Representativa de variables de entrada o salida. La dirección del flujo de información viene dado por el sentido de la flecha. Se caracteriza con una letra minúscula.

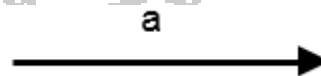


Figura 7 Símbolo de Señal en Diagrama de bloques

##### 2.3.2.2.1.3. Punto suma

Elemento que sirve para combinar dos señales de entrada generando una salida que es su suma (o resta).

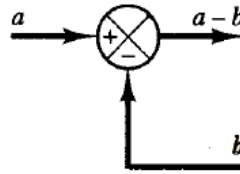


Figura 8 Símbolo de Suma en Diagrama de Bloques

### 2.3.2.2.2. OPERACIONES ELEMENTALES

Dos son las operaciones elementales definidas para los Diagramas en bloque. Una la que define la función del bloque y que se esquematiza como sigue:

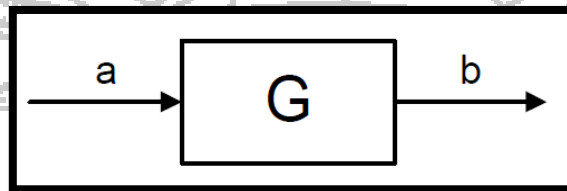


Figura 9 a) Operaciones con Diagrama de Bloques

La variable de entrada es 'a', perfectamente individualizada por la dirección de la flecha. La variable de salida es 'b' y la relación matemática entre ambas es:

$$b = a G$$

Se quiere poner de manifiesto una relación causa-efecto. La variable de entrada 'a' influye (causa) en el sistema determinado por el bloque  $G$  que genera una variable de salida (efecto). Esta variable de salida es la consecuencia de la entrada 'a' y de la naturaleza del sistema ' $G$ '. Cada bloque tiene una sola entrada y una sola salida.

La combinación de señales se hace a través del sumador al que ingresan dos señales de entrada y de la que resulta una salida, la suma (o resta) de las entradas:

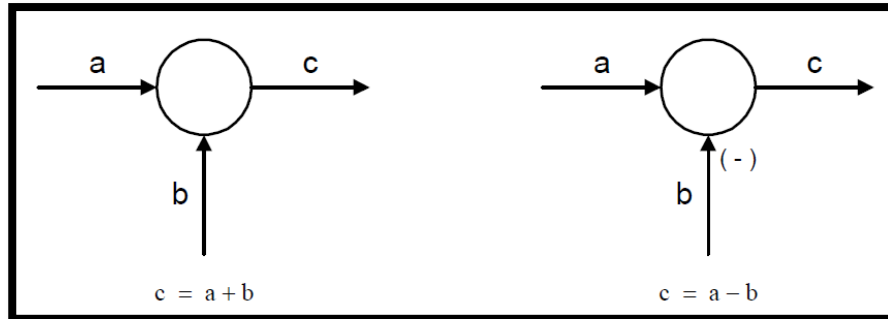


Figura 10 b) Operaciones con Diagrama de Bloques

Cuando una de las señales se resta, debe indicarse explícitamente en la proximidad del sumador con el signo '(-)'. Toda la representación de un sistema físico en el que existen diversos subsistemas y en que se relacionan diversas variables se debe describir con estos tres elementos.

Las ventajas de esta representación es que resulta fácil formar el diagrama en bloques global de todo el sistema, colocando simplemente los bloques de sus componentes de acuerdo con el flujo de señales. De esta forma es posible evaluar la contribución de cada componente al comportamiento general de todo el sistema. El funcionamiento de un sistema se puede ver más fácilmente examinando el diagrama de bloques, que analizando el sistema físico en sí.

Un diagrama de bloques contiene información respecto al comportamiento dinámico, pero no de la constitución física del sistema. En consecuencia, muchos sistemas distintos, sin relación alguna entre ellos, pueden estar representados por el mismo diagrama de bloques.

### 2.3.2.2.3. ÁLGEBRA ELEMENTAL DE DIAGRAMA DE BLOQUES

Los diagramas en bloques representados por muchos bloques y señales intermedias pueden simplificarse en un solo bloque cuyo valor es una función de los bloques individuales pero no de las señales intermedias. Para simplificar diagramas muy complejos se pueden

emplear las tres reglas elementales (y toda otra que se deduzca a partir de ellas) que se presentan en la Tabla siguiente.

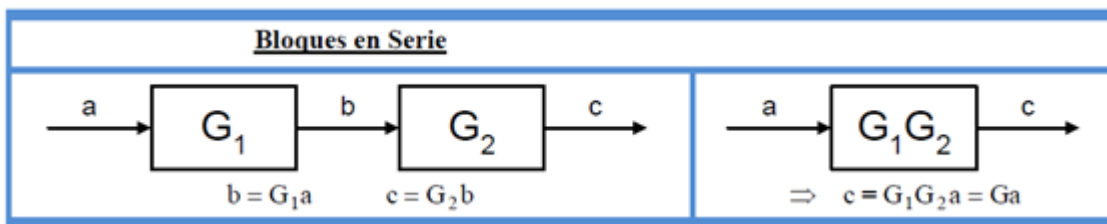


Figura 11 Bloques en Serie

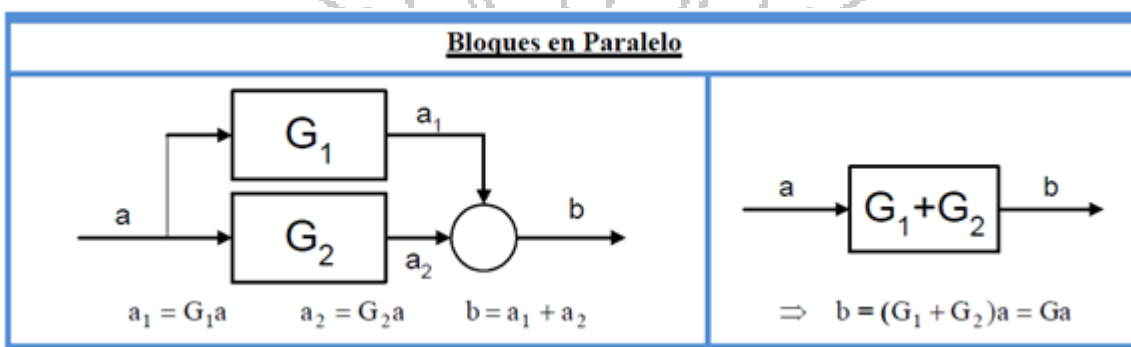


Figura 12 Bloques en Paralelo

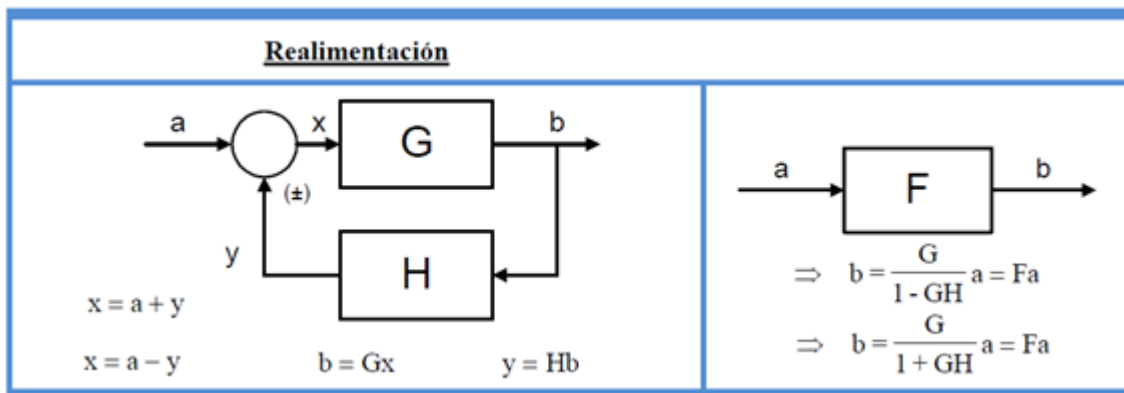


Figura 13 Diagrama de Bloques Realimentado

Empleando estas reglas se puede simplificar diagramas integrados por diversos elementos hasta llegar a una representación mínima.



### 2.3.2.3. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS SISTEMAS EN LAZO CERRADO

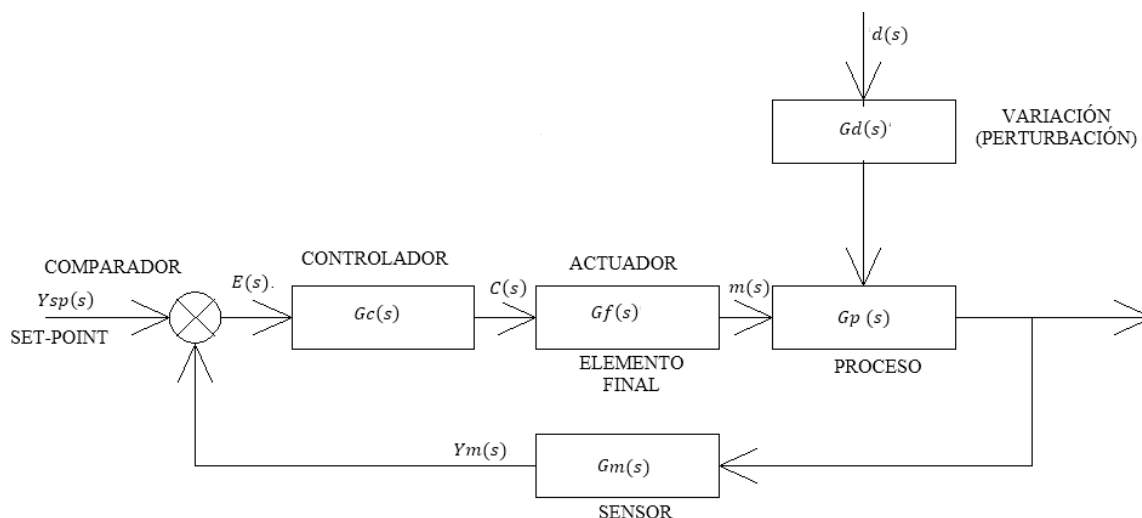


Figura 14 Diagrama de Bloques en Sistema de Lazo Cerrado

Encontrar la ecuación de bucle cerrado

Las funciones que describen

$$Y(s) = Gp * m(s) + Gd(s) * d(s) \quad (I)$$

Elemento final de control:

$$m(s) = Gf(s) * C(s) \quad (II)$$

Mecanismo de control:

Controlador:

$$C(s) = Gc(s) * E(s) \quad (III)$$

Comparador:

$$E(s) = Ysp(s) - Ym(s) \quad (IV)$$

Sensor:

$$Ym(s) = Gm(s) * Y(s) \quad (V)$$

Donde:

- $G_p, G_c, G_f, G_m$  = Son las funciones de transferencia entre las entradas y salidas.
- $d(s)$  y  $Y_{sp}(s)$  son las entradas.
- $Y(s)$  la salida del sistema.

Como se puede observar en el diagrama de bloques. en base a ellos se obtienen una ecuación a partir de las ecuaciones anteriores, entonces:

(II) en (I):

$$Y(s) = G_p * G_f * C(s) + G_d * d(s) \quad (VI)$$

(III) en (VI):

$$Y(s) = G_p * G_f * G_c * E(s) + G_d * d(s) \quad (VII)$$

(IV) en (VII):

$$Y(s) = G_p * G_f * G_c (Y_{sp}(s) - Y_m(s)) + G_d * d(s) \quad (VIII)$$

(V) en (VIII):

$$Y(s) = G_p * G_f * G_c (Y_{sp}(s) - G_m * Y(s)) + G_d * d(s) \quad (VI)$$

Resolviendo la multiplicación

$$Y(s) = G_p * G_f * G_c * Y_{sp}(s) - G_p * G_f * G_c * G_m * Y(s) + G_d * d(s)$$

$$[1 + G_p * G_f * G_c * G_m] * Y(s) = G_p * G_f * G_c * Y_{sp}(s) + G_d * d(s)$$

$$Y(S) = \frac{G_p * G_f * G_c}{1 + G_p * G_f * G_c * G_m} * Y_{sp}(s) + \frac{G_d}{1 + G_p * G_f * G_c * G_m} * d(s)$$

Ecuación que corresponde: A LA RESPUESTA DE BUCLE CERRADO DEL PROCESO

Dónde:

Esta ecuación presenta un término interesante; el denominador es igual para ambos términos de la ecuación y se llama:

$(1 + G_p * G_f * G_c * G_m)$ : Es la ECUACION CARACTERISTICA de un sistema de bucle cerrado.

El PRIMER TERMINO: representa el efecto de la salida,  $Y(S)$ , a un cambio en el Set-Point,  $Y_{sp}$ .

EL SEGUNDO TERMINO: representa el efecto de las perturbaciones,  $d(s)$ , en la salida  $Y(S)$ .

A partir de esta ecuación se obtiene las funciones de transferencia de bucle cerrado

#### FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

Es obtenida de la ecuación anterior:

$$Y(S) = G_{sp}(s) * Y_{sp}(s) + GL(S) * d(s)$$

Dónde:

$G_{sp}(s)$  = Función de Transferencia de bucle cerrado para un cambio en el Set-Point.

$GL(s)$  = Función de transferencia en la alimentación. (Representa la función de transferencia de bucle cerrado para un cambio en la alimentación) o perturbación.

Siendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{sp}(s) = \frac{G_p * G_f * G_c}{1 + G_p * G_f * G_c * G_m} = \frac{GoL}{1 + GoL * Em} \\ GL(s) = \frac{G_d}{1 + G_p * G_f * G_c * G_m} = \frac{G_d}{1 + GoL * Em} \end{array} \right.$$

Dónde:

$GoL$  = Corresponde a la respuesta de Bucle Abierto de un sistema con controlador por Retroalimentación.

De acuerdo a la función de transferencia de bucle cerrado el sistema de control debe corresponder a dos entradas  $Y_{sp}(s)$  y  $d(s)$ , entonces a estos se les llama ‘Problemas de Control’.

Para cada sistema de control por Retroalimentación se distinguen 2 tipos de problemas de control.

### 2.3.2.3.1. Problema regulador

Cuando no hay variaciones en el “SET- POINT” y existe una variación en a “Alimentación” (Perturbaciones); el sistema de control debe corregir esta variación:

$$Y_{sp}(t) = 0 \text{ no varia es constante}$$

Tomando la transformada de la Laplace

$$Y_{sp}(s) = 0$$

Como la función de transferencia está dado por:

$$c = G_{sp}(s) * Y_{sp}(s) + GL(s) * d(s)$$

Remplazando se tiene:

$$\underline{Y(s)} = GL(s) * \underline{d(s)}$$

Lo que se puede concluir que el problema regulador

Relaciona la variable controlada  $Y(s)$ , con l variable alimentada  $d(s)$ . Representa la respuesta del sistema cuando hay una perturbación en la alimentación, manteniendo constante el Set-Point, entonces el controlador trata de eliminar el efecto producido por el cambio en la alimentación.

### 2.3.2.3.2. Problema servo

Cuando no hay variación en la perturbación  $d(t)$ , y se hacen cambios en el Set-Point. El sistema de controlador debe de regular este proceso:

$$d(t) = 0 \text{ no varia es constante (sin perturbacion)}$$

Tomando la transformada de Laplace

$$d(s) = 0$$

Como la función de transferencia está dada por:

$$Y(s) = G_{sp}(s) * Y_{sp}(s) + GL(s) * \underline{d(s)}$$

Remplazando se tiene

$$Y(s) = G_{sp}(s) * Y_{sp}(s)$$

Lo que se puede concluir que el problema servo.

Relaciona la variable controlada  $Y(s)$  con la variable del Set-Point  $Y_{sp}(s)$ .

Representa la respuesta del sistema cuando hay un cambio en el Set-Point, manteniendo constante la alimentación (Perturbación); entonces el controlador trata de llevar la salida el nuevo Set-Point.

#### **2.3.2.4. Estabilidad de los sistemas de control**

En general el estudio de la estabilidad de un sistema tiene que ver con que el comportamiento del sistema (respuesta) siempre permanezca dentro de límites aceptables.

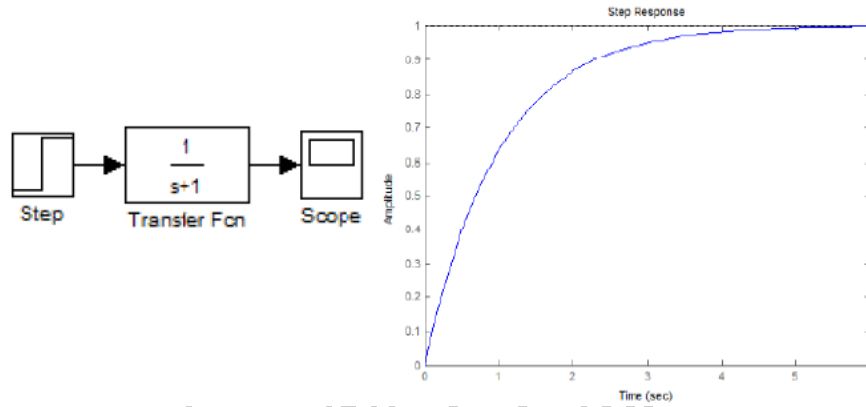
Es decir que “exista control”. En general el análisis de la estabilidad depende del sistema que se esté tratando de analizar.

En los métodos de análisis de estabilidad su análisis esta sobre la ecuación característica, donde la función de transferencia está definida por:

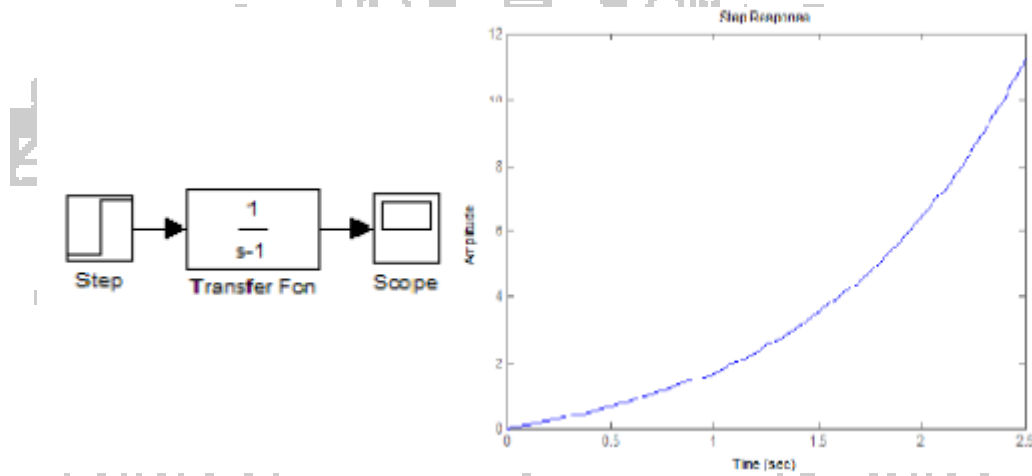
$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$$

Donde el polinomio  $A(s)$  es la ecuación característica del sistema.

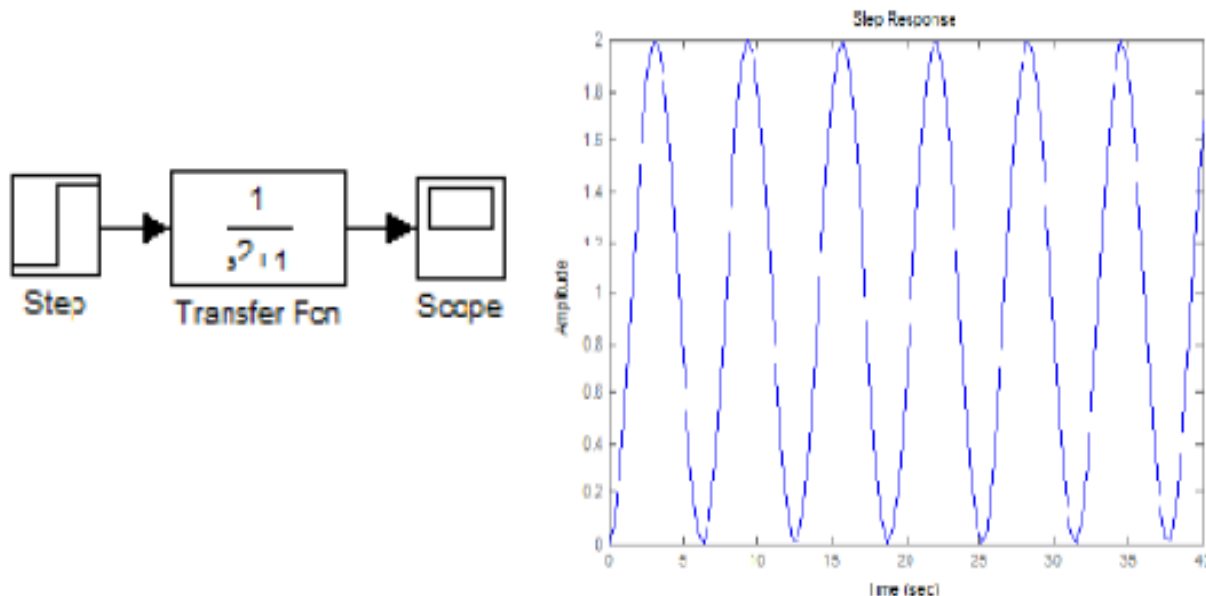
- El sistema es estable si se tiene una respuesta con magnitud limitada en presencia de una magnitud con entrada limitada.



- El sistema es inestable si se tiene una respuesta no acotada en presencia de una entrada de magnitud limitada.



- Marginalmente estable si presenta oscilaciones sostenida en presencia de una entrada acotada



### 2.3.2.4.1. Métodos para el análisis de la estabilidad

- Método de los polos de la función de transferencia
- Criterio de Routh Hurwitz
- Criterio de Nyquist

#### 2.3.2.4.1.1. Método de los polos de la función de transferencia

Representando las raíces de la ecuación característica en el plano complejo es posible deducir el comportamiento de un sistema según su posición:

Donde:

$$A(s) = (s + P_n) \cdot (s + P_{n-1}) \cdot (s + P_{n-2}) \cdot \dots \cdot (s + P_2) \cdot (s + P_1)$$

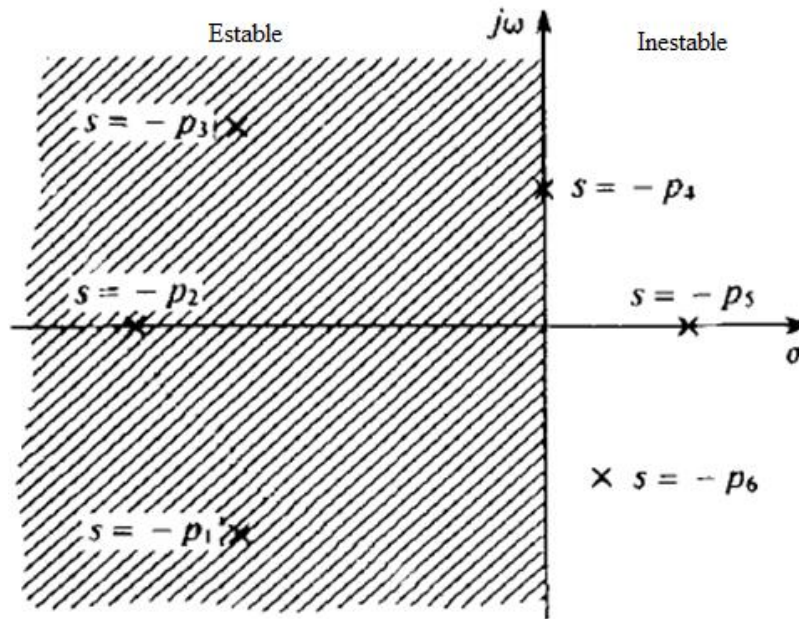


Figura 15 Ubicación en el plano complejo de raíces de la ecuación característica

- Si todas las raíces están en el semiplano negativo de  $s$ , el sistema es estable
- Si al menos una de las raíces se encuentra en el semiplano positivo de  $s$  el sistema es inestable
- Si todas las raíces se encuentran en el eje real negativo (las raíces son números reales), el sistema está sobre amortiguado o críticamente amortiguado
- Cuanto más alejadas del origen de coordenadas estén las raíces situadas en el eje negativo, más rápida será la dinámica del sistema (menor será la constante de tiempo)
- Las raíces más cercanas al eje imaginario dominarán la dinámica de la respuesta mientras que aquellas que estén más alejadas dejarán de influir en la respuesta.
- Cuanto más alejadas se encuentren las raíces conjugadas del eje real, más subamortiguado estará el sistema



Al situar los polos en el plano complejo, estos deben quedar situados en el lado izquierdo del plano; es decir. La parte real debe ser estrictamente negativa, tal como se ilustra en la Figura 15

Si el sistema tiene algún polo en el lado derecho del plano (con la parte real mayor a cero), se puede mostrar que la solución transitoria de una respuesta escalón contiene una función exponencial creciente del tipo  $e^{at}$ , donde  $a > 0$ . Esto corresponde a un sistema inestable.

#### 2.3.2.4.1.2. Método de routh hurwitz

Este método es también conocido como el método de Routh, se basa en la ecuación característica del sistema, El criterio de estabilidad de Routh nos dice si existen o no raíces con parte real positiva o inestables en una ecuación polinomio, sin tener que obtenerlas en realidad. Este criterio de estabilidad sólo se aplica a los polinomios con una cantidad finita de términos. Cuando se aplica el criterio a un sistema de control, la información acerca de la estabilidad absoluta se obtiene directamente de los coeficientes de la ecuación característica, es decir no dará información de que tan estable es el sistema o donde están situados los polos del sistema

La tabulación de Routh se la hace de la siguiente manera para, por ejemplo, un polinomio de sexto orden como el siguiente:

$$a_6s^6 + a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0$$

El primer paso para realizar la tabulación es el de colocar en un primera columna los exponentes del polinomio. Las dos primeras filas de la tabulación están constituidas por los coeficientes del polinomio saltando uno, como se muestra a continuación. Los siguientes coeficientes de la tabla se calculan de acuerdo a como se muestra en la misma tabla.

$s^6$	$a_6$	$a_4$	$a_2$	$a_0$
$s^5$	$a_5$	$a_3$	$a_1$	0
$s^4$	$A = \frac{a_5 a_4 - a_6 a_3}{a_5}$	$B = \frac{a_5 a_2 - a_6 a_1}{a_5}$	$a_0 = \frac{a_5 a_0 - a_6 0}{a_5}$	0
$s^3$	$C = \frac{A a_3 - a_5 B}{A}$	$D = \frac{A a_1 - a_5 a_0}{A}$	0	0
$s^2$	$E = \frac{C B - A D}{C}$	$a_0 = \frac{a_0 C}{C}$	0	0
$s^1$	$F = \frac{E D - a_0 C}{E}$	0	0	0
$s^0$	$a_0 = \frac{a_0 F}{F}$	0	0	0

Los dos primeros renglones se obtiene directamente de la ecuación característica, mientras que los otros se obtienen mediante una multiplicación cruzada.

Para que el sistema se estable se necesita que todos los coeficientes de la primera columna sean estrictamente positivos ( $> 0$ ).

### 2.3.2.5. Controladores PID

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero.

Los controladores PID son suficientes para resolver el problema de control de muchas aplicaciones en la industria, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite (en general procesos que pueden ser descritos por dinámicas de primer y segundo orden). Su uso extensivo en la industria es tal que el 95% de los lazos de control que existen en las aplicaciones industriales son del tipo PID.

El desarrollo de los sistemas de control PID está también influenciado por el desarrollo en el campo de la comunicación de datos de campos, lo que ha permitido su inserción como módulos importantes en los esquemas de control distribuido. En este sentido, la capacidad de comunicación de estos dispositivos con otros dispositivos de campo como PLCs y otros

sistemas de control de niveles superiores, es una función necesaria en los modernos controladores PID.

El controlador PID, de lejos, es el algoritmo de control más común. Numerosos lazos de control utilizan este algoritmo, que puede ser implementado de diferentes maneras: como parte de un paquete de control digital directo o como parte de un sistema de control distribuido.

#### **2.3.2.5.1. El principio de realimentación**

La idea de la realimentación es bastante simple y muy poderosa. A lo largo de su historia, ha tenido una fuerte influencia en la evolución de la tecnología. Las aplicaciones del principio de realimentación han tenido éxito en los campos del control, comunicaciones e instrumentación. Para entender el concepto, asuma que el proceso es tal que cuando el valor de la variable manipulada se incrementa, entonces se incrementan los valores de las variables del proceso. Bajo este concepto simple, el principio de realimentación puede ser expresado como sigue:

Incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande.

Este tipo de realimentación se llama “realimentación negativa” debido a que la variable manipulada se mueve en la dirección opuesta a la variable del proceso.

#### **2.3.2.5.2. Estructura de un controlador PID.**

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida (SISO) de un grado de libertad

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

La idea de la realimentación es bastante simple y muy poderosa. A lo largo de su historia, ha tenido una fuerte influencia en

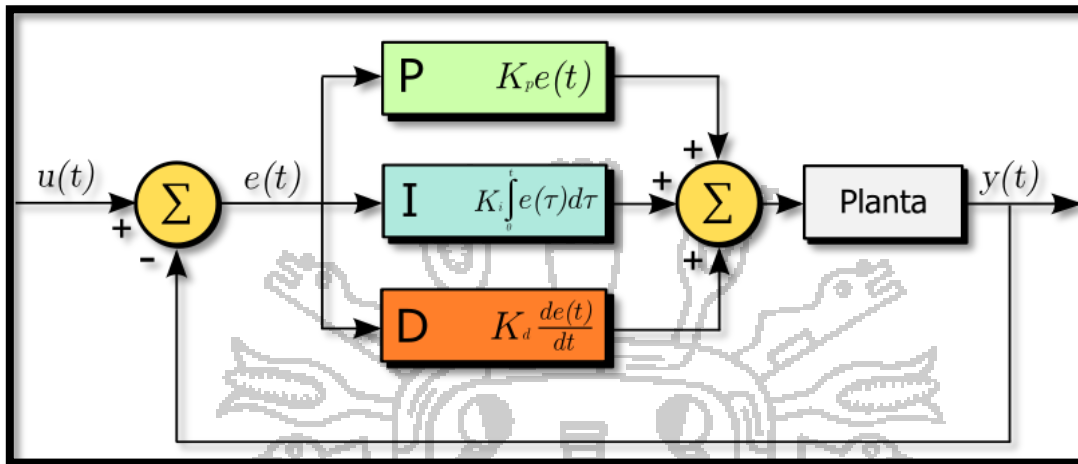


Figura 16 Diagrama de bloques de un control PID.

### 2.3.2.5.3. Acción de control proporcional (P).

En un control proporcional existe una relación lineal entre la señal de salida del controlador y su entrada el error: es decir  $u(t) = K_p e(t)$ , que descrita desde su función de transferencia queda:

$$C_p(s) = K_p$$

Donde:

$K_p$  es la ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente

### 2.3.2.5.4. Acción de control integral (I).

Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \qquad C_i(s) = \frac{K_i}{s}$$

La señal de control  $u(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

### 2.3.2.5.5. Acción de control proporcional integral (PI).

Este tipo de control puede ser empleado en sistemas que tienen grandes cambios, pero estos a su vez, deben ser lentos para evitar sobre impulsos producidos por el tiempo de integración. Industrialmente se usa el P I y no el I puro.

se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Donde  $T_i$  se denomina tiempo de integración y es quien ajusta la acción iintegral.

La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

### 2.3.2.5.6. Acción de control proporcional integral derivativa (PID).

Es un sistema de regulación que trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los controladores de acciones básicas, de manera, que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, mientras que si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Tiene la ventaja de ofrecer una respuesta muy rápida y una compensación de la señal de error inmediata en el caso de perturbaciones. Presenta el inconveniente de que este sistema es muy propenso a oscilar y los ajustes de los parámetros son mucho más difíciles de realizar.

La salida del regulador viene dada por la siguiente ecuación:

$$y(t) = K_p e(t) + K_p t_d \frac{de(t)}{dt} + K_p \frac{1}{t_i} \int e(t) dt$$

Que en el dominio de Laplace, será:

$$Y(s) = K_p E(s) + K_p T_d E(s) + K_p \frac{1}{T_i s} E(s)$$

Y por tanto la función de transferencia del bloque de control PID será:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p \left( a + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Donde  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  son parámetros ajustables del sistema.



# **CAPÍTULO III**

---

## **METODO DE INVESTIGACION**

## Método de investigación

La metodología del proyecto investigación es del tipo experimental para luego describir los resultados para una aplicación en el campo de la industria minera y productiva para lo cual se implementó un módulo en el laboratorio de control y automatización de la EPIME a continuación describimos los equipos utilizados.

### 3.1. Interfaz de Comunicación ZELIO2 COM.

El interface de comunicaciones Zelio2 COM, nos permite la comunicación de los relés programables de la familia Zelio Logic II (SR2B\*, SR2E\*,SR3B\* ) con un módem externo, ya sea un módem GSM o RTC.

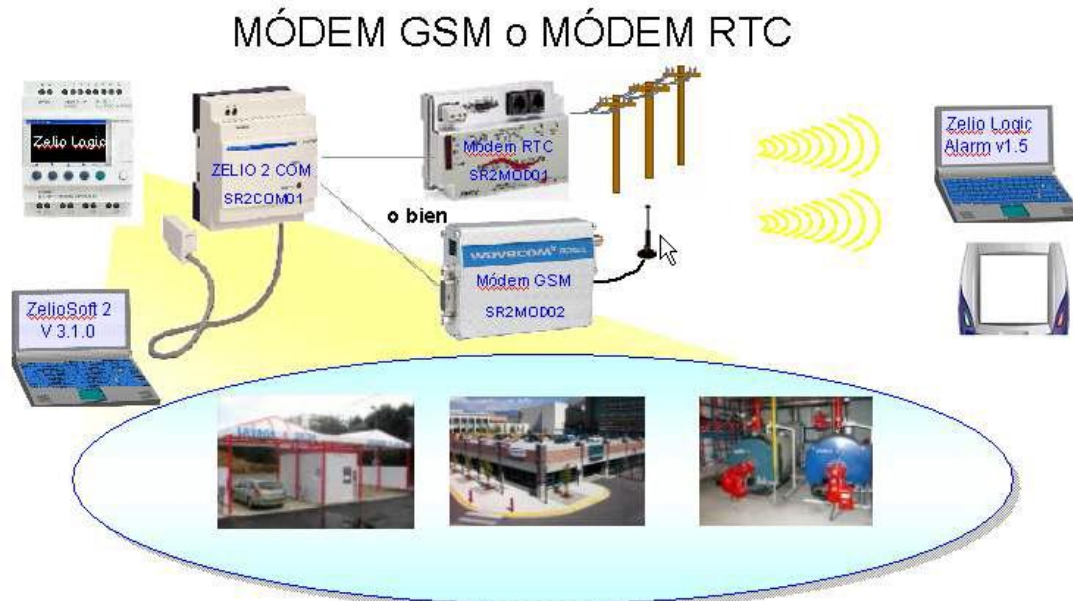


Figura 17 Esquema de Trabajo GSM

EL interface de comunicaciones, nos va a permitir el control y la monitorización de aquellas instalaciones que funcionan sin personal, lo que nos permite reducir costo y tiempo de mantenimiento.

Adicionalmente nos va a permitir una serie de funcionalidades que describiremos:



- La recepción de mensajes de alarma tanto en el móvil, vía SMS, cómo en un PC equipado con Zelio Logic Alarm.
- Modificación y lectura de variables.
- Envío de instrucciones al relé programable.
- Obtención de información acerca del estatus del Zelio Logic.

Cabe resaltar también en cuanto al acceso remoto al Zelio Logic:

- Se pueden controlar y evitar los accesos no deseados.
- Controlar el acceso a variables y comandos de control.
- Definir tu política de mantenimiento, según prioridades.
- Control del personal de mantenimiento y las acciones realizadas por el mismo.

### 3.1.1. Estación remota con módem GSM

Si montamos una estación remota con módem GSM, aquí vemos de una forma visual los diferentes “actores” que pueden intervenir.

■ Zelio 2 COM asociado a un módem GSM

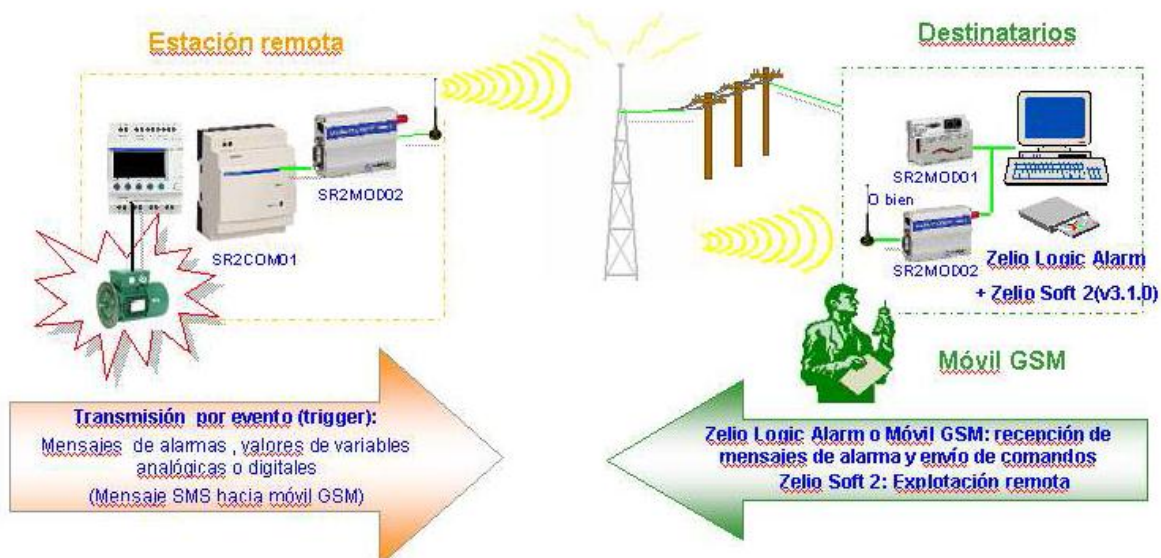


Figura 18 Estación Remota GSM

### 3.1.2. Material para estación remota con módem GSM

El material necesario para montar una estación remota con un módem GSM y los componentes que vienen con cada de las referencias es:

- Relé programable Zelio Logic II ( con reloj) : SR2B\*,SR2E\*,SR3B\*
- Interface de comunicaciones Zelio2 COM : SR2COM01
- Módem GSM : SR2MOD02
- Fuente de alimentación: ABL8MEM24012

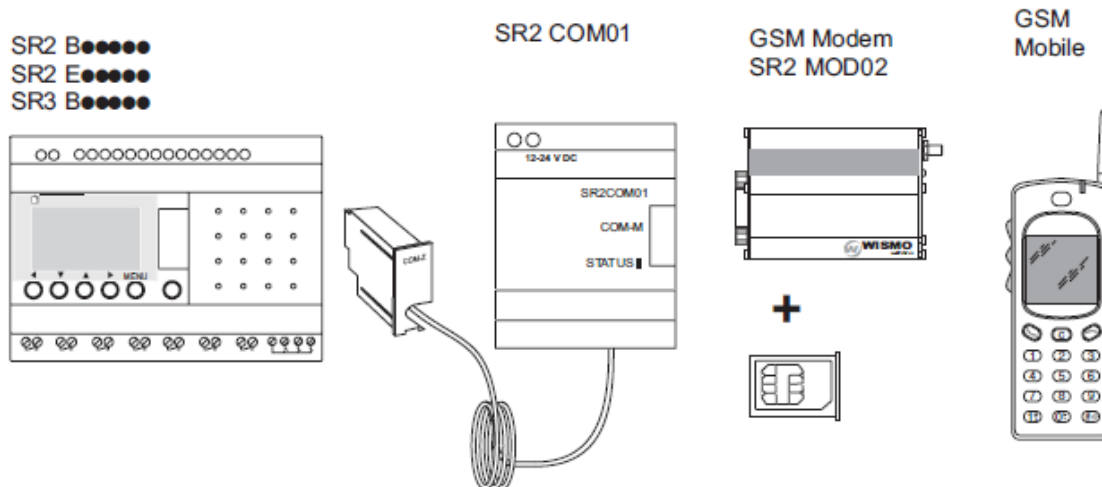


Figura 19 Esquema de conexión de la estación remota con modem GSM

En la Figura podemos apreciar de los elementos descritos anteriormente, a excepción de la fuente de alimentación.

También podemos ver cómo sería el montaje de cada uno de los elementos entre si con los elementos de los cuales disponemos en cada una de las referencias.

## 3.2. Variado de Frecuencia SINAMICS G110

Los convertidores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos. Los diferentes modelos que se suministran cubren un margen de potencia de 120 W a 3,0 kW en redes monofásicas.

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles.

Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de seguridad ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

### 3.2.1. Características

#### 3.2.1.1. Características principales

- Fácil de instalar
- Puesta en marcha sencilla
  - Puesta en servicio rápida
  - Función "reposición a valores de fábrica" (reajusta los parámetros a sus valores por defecto)
- Diseño robusto en cuanto a EMC
- Puede funcionar en redes de alimentación IT (modelos sin filtro)
- 1 entrada digital con separación galvánica
- 3 entradas digitales sin separación galvánica
- 1 entrada analógica AIN: 0 – 10 V (solo en la variante analógica) se puede utilizar como cuarta entrada digital.

- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor
- Las información de estado y alarmas se visualizan en el panel BOP (obtenible como opción)
- BOP opcional con funcionalidad de copia de parámetros para juegos de parámetros
- Interface interna RS485 (solo en la variante USS)
- Kit de conexión para el enlace PC-convertidor (RS232)

### 3.2.1.2. Funciones

- 150% de sobrecarga Tiempo de respuesta a señales de mando rápido
- Limitación rápida de corriente (fast current limit FCL) para funcionamiento seguro sin desconexiones por fallo
- Freno por inyección de corriente continua integrado
- Frecuencias fijas
- Función de potenciómetro motorizado
- Tiempos de aceleración y deceleración ajustables con redondeo parametrizable
- Característica V/f multipunto en 60 segundos
- Re arranque automático después de cortes de red
- Re arranque al vuelo

### 3.2.1.3. Características de protección

- Protección sobretensión / subtensión
- Protección de sobretemperatura para el convertidor
- Protección de defecto a tierra
- Protección de cortocircuito
- Protección térmica del motor por  $i^2t$

- Protección contra la pérdida de estabilidad (vuelco) del motor

### 3.2.2. Instalación eléctrica

#### 3.2.2.1. Conexión de red y del motor

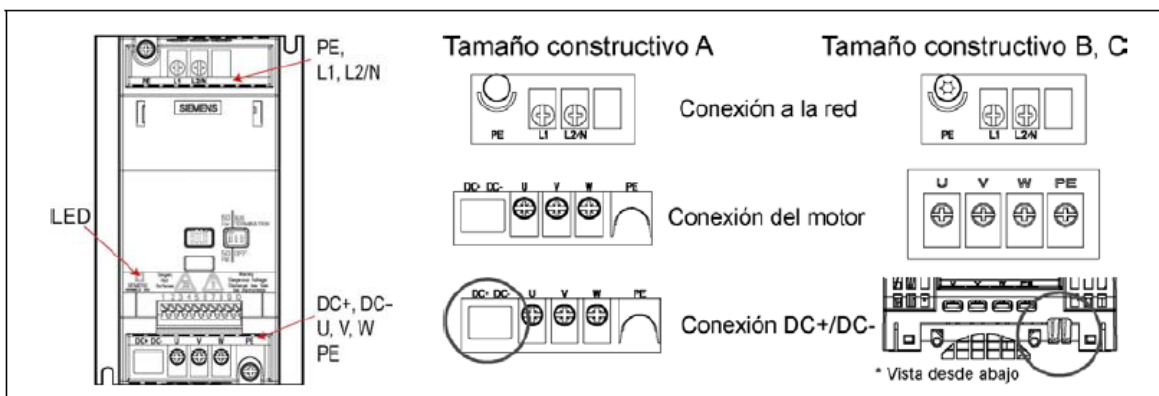


Figura 20 Borneras de Red y del Motor

#### 3.2.2.2. Bornes de control

Borne	Significado	Funciones	
1	DOUT-	Salida digital (-)	
2	DOUT+	Salida digital (+)	
3	DIN0	Entrada digital 0	
4	DIN1	Entrada digital 1	
5	DIN2	Entrada digital 2	
6	-	Salida +24 V / máx. 50 mA	
7	-	Salida 0 V	
	Variante	<b>Analógica</b>	<b>USS</b>
8	-	Salida +10 V	RS485 P+
9	ADC1	Entrada analógica	RS485 N-
10	-	Salida 0 V	


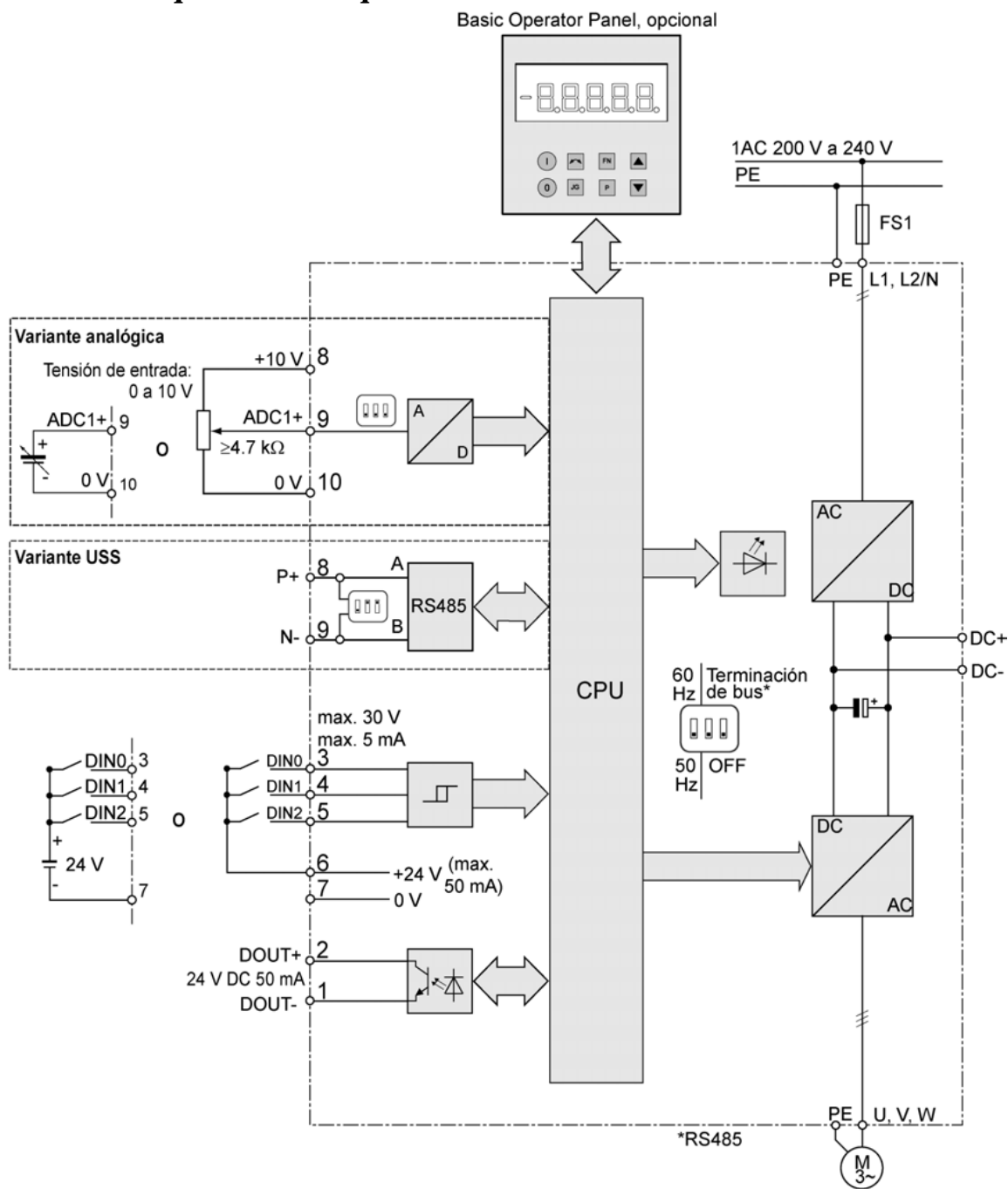


Figura 21 Borneras de Control del Variador

### 3.2.2.3. Esquema de bloques



La entrada analógica se puede usar - como se ve abajo - como entrada digital (DIN3) adicional

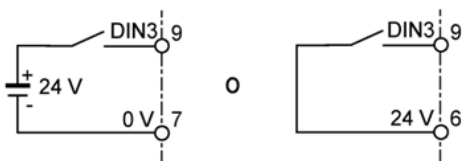


Figura 22 Esquema de Bloques del Variado



# **CAPÍTULO IV**

---

## **CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION**

## 4.1. Diseño del Sistema de Control de Nivel.

En este capítulo se describe el diseño y construcción del prototipo de laboratorio control automático monitoreado por tecnología GSM, el que permite controlar el nivel de agua utilizado Relé programable y variador de frecuencia. La implementación está diseñado con fines académicos para el área de control y automatización de la EPIME

Las consideraciones que se toman en cuenta para el diseño del módulo son:

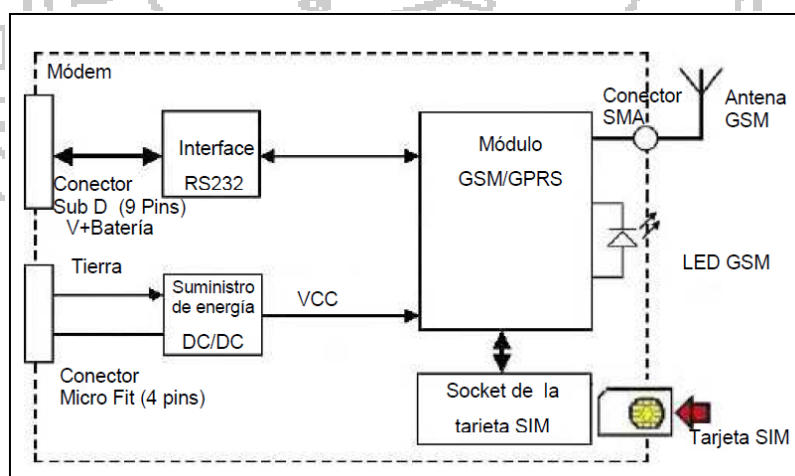
- Seguridad
- Maniobrabilidad
- Adaptabilidad
- Controlabilidad

## 4.2. Módulo GSM

Para el desarrollo del proyecto se ha elegido el Módem SR2 MOD02 de Schneider Electric, que permite una conexión GSM, por lo cual resulta idóneo para efectuar un control y monitorización.

### 4.2.1. Arquitectura del módem

En la figura se muestra la arquitectura del Módem, a continuación se detallarán las partes y





conexiones internas del módem.

Figura 23 Arquitectura del modem GSM

### 4.2.2. Conexiones externas del módem

En la Figura se muestran los componentes externos del módem, los mismos que se detallarán a continuación:

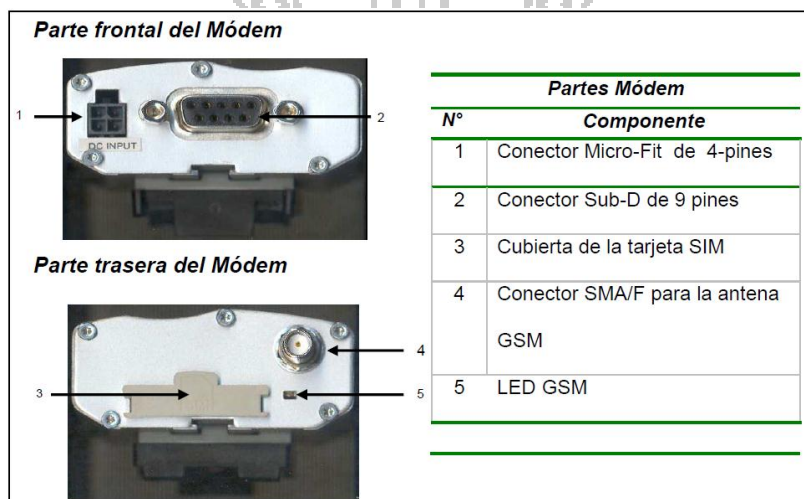


Figura 24 Componentes del meden-GSM

#### 4.2.2.1. Conector micro FIT

Este conector tipo hembra de 4 pines permite la conexión de un suministro externo de energía DC, en el siguiente, esquema se puede observar el tipo de señal que transmite cada Pin del conector

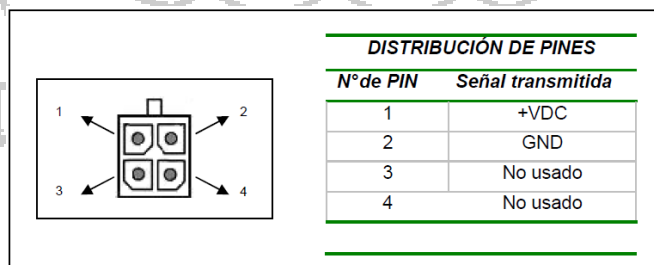


Figura 25 Conector micro FIT.

#### 4.2.2.2. Conector SUB-D

Este conector tipo Hembra de nueve pines permite una conexión serial RS232, en el esquema mostrado a continuación se explica la distribución de pines y su uso.

DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL CONECTOR SUB-D			
N° PIN	Denominación	Circuito (V24 – RS232C)	E/S
1	Detección de la señal	109 – DS – DCD	S
2	Recepción de datos	104 – RD – RXD	S
3	Transmisión de datos	103 – ED – TXD	E
4	Terminal de datos listo	108/2 – TDP – DTR	E
5	Conexión a tierra	102 – TS – GND	-
6	Set de datos listo	107 – PDP – DSR	S
7	Petición para envío	105 – DPE – RTS	E
8	Cancelar el envío	106 – PAE – CTS	S
9	Indicador de tono	125 – IA – RI	S

Figura 26 Conector Sub D

#### 4.2.2.3. Conector para antena GSM

El conector de la antena GSM es SMA de tipo Hembra con una impedancia de 50 Ohms.

#### 4.2.2.4. Antena magnética GSM

Es una antena que permite la interconexión del módem con la red GSM, para ello trabaja en las bandas 850/900/1800/1900 MHz, y utiliza el cable coaxial para la transmisión de datos.



Figura 27 Antena GSM

Se conecta directamente al Módem a través de un conector SMA de tipo macho. Por defecto, inicialmente el módem se configura automáticamente usando las operadoras de red europeas, si embargo una vez que la tarjeta SIM es insertada en el módem se inicia el escaneo de operadoras de red, para ello una aplicación integrada automáticamente chequea la presencia de una red.

Al hallarla la almacena la información respectiva en el módem, este proceso se repite cada vez que se inserta una nueva tarjeta SIM

#### 4.2.2.5. GSM Led

Adicionalmente el módem cuenta con un LED, el cual es usado para indicar el estado del módem. En la tabla se muestran los diferentes estados que puede tomar el módem.

**ESTADOS DEL MÓDEM**

<i>GSM LED</i>	<i>ACTIVIDAD DEL LED</i>	<i>ESTADO DEL MÓDEM</i>
Encendido	LED Encendido constante	El módem esta encendido, y listo para funcionar pero todavía no es reconocido por la red. El Código PIN no ha sido ingresado en la antena o está desconectada.
	Led Titilante (Un vez cada 2 segundos)	El módem está encendido, El Código PIN está activado y el módem es reconocido por la red y hacer o recibir una llamada. El módem se encuentra en un modo inactivo.
	LED Titilante (Cada segundo)	El módem está encendido y se encuentra ahora en estado de comunicación, ya sea de vos, datos o fax.
Apagado	LED apagado	El módem esta apagado o en fase de RESET.

Figura 28 Indicador del estado del modem

### 4.3. Planta Sistema del Nivel de Agua

En la implementación del sistema de control de nivel se consideró la selección de los componentes más adecuados como son:

- Electrobomba trifásica
- Sensor inductivo de proximidad
- Sensor de nivel de agua
- Sistema hidráulico



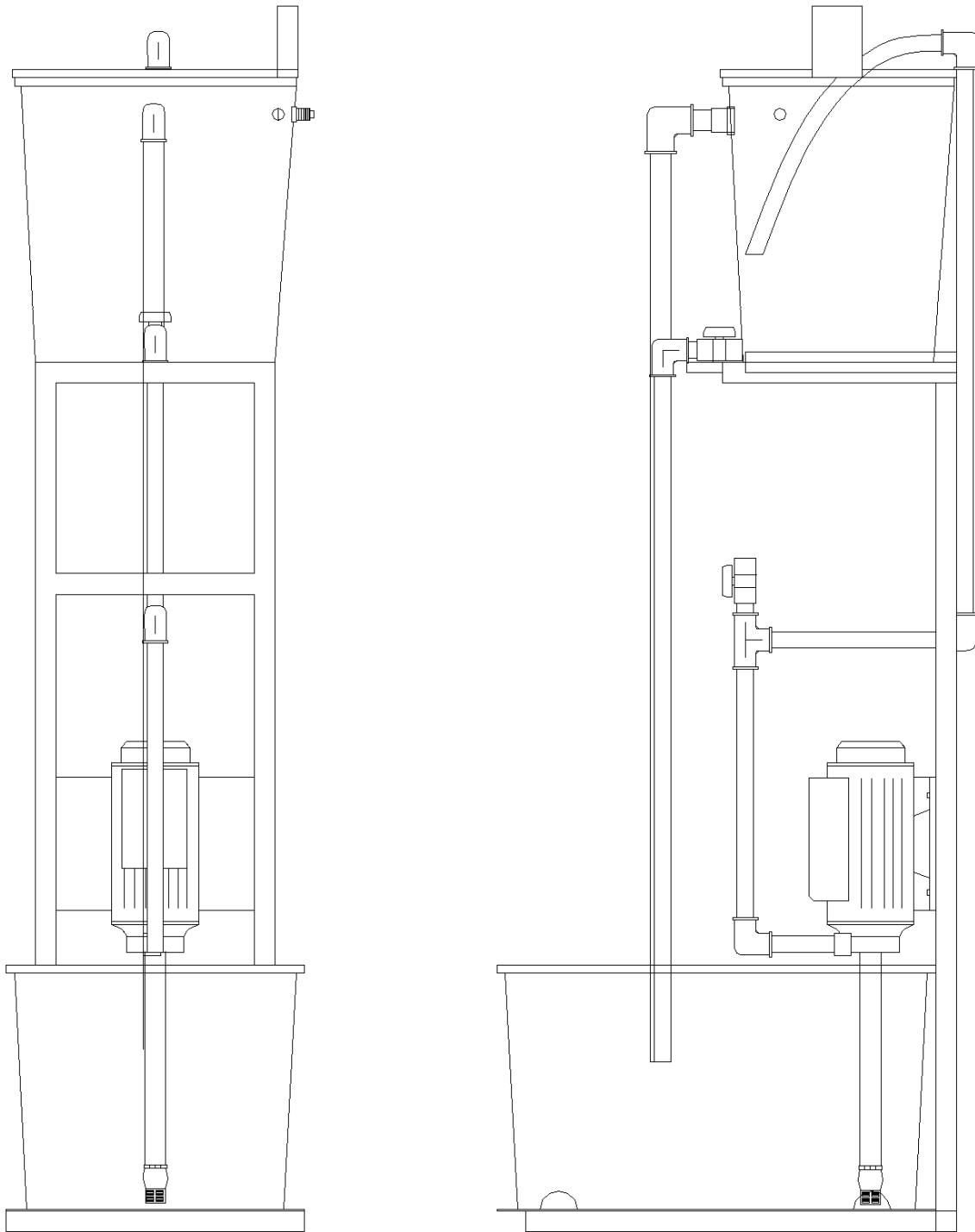


Figura 29 Sistema control de nivel de agua

#### 4.3.1. Entradas y salidas de la planta

Las entradas y salidas del sistema de control de nivel de agua se muestran en el siguiente cuadro, el esquema de conexiones se muestra en figura que sigue:

	Tensión de alimentación	Salida
Sensor Inductivo	24 VDC	24VDC
Sensor de Nivel	-	5VDC
Electrobomba Trifásica	220VAC	-

Tabla 1 Entradas y Salidas de sistema control de nivel

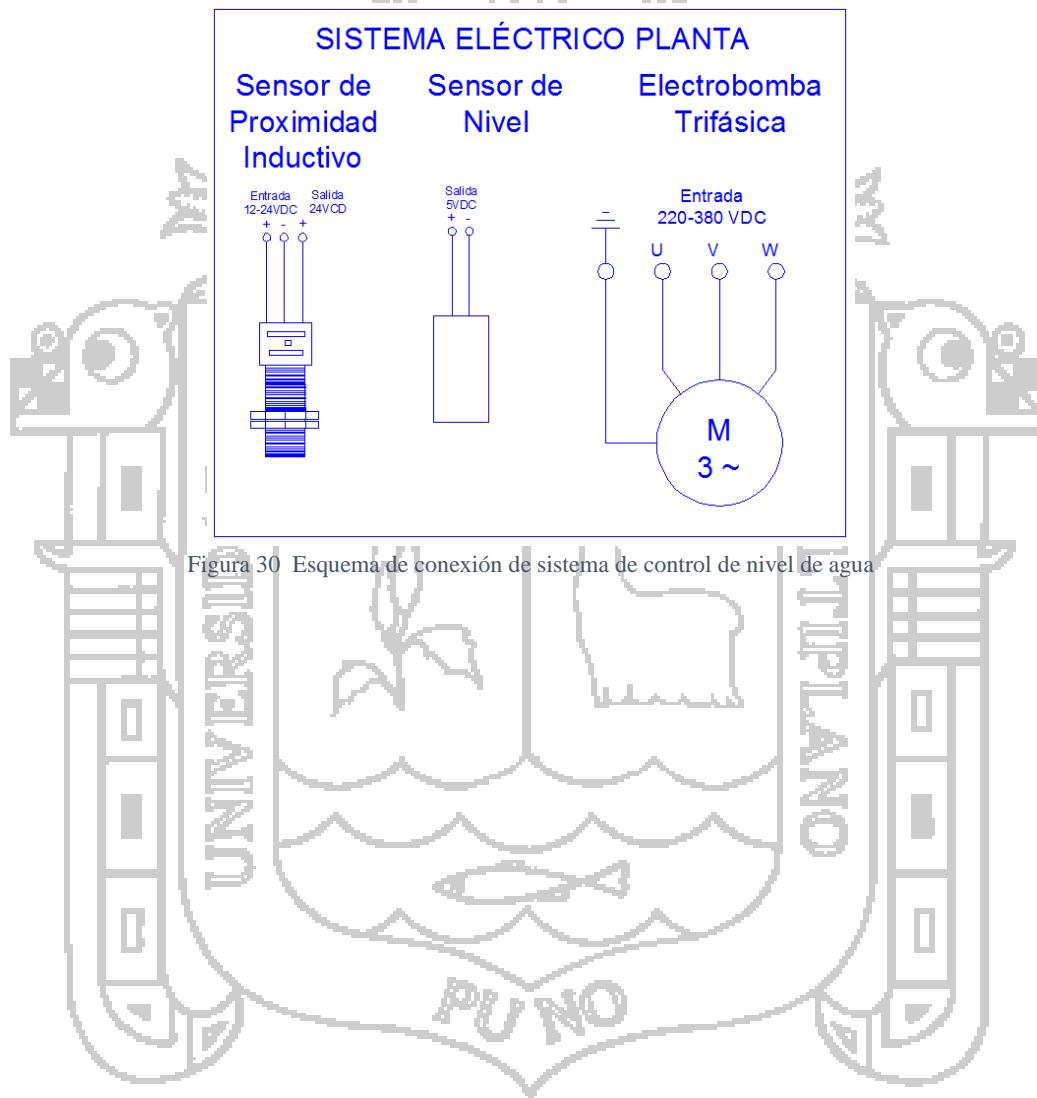
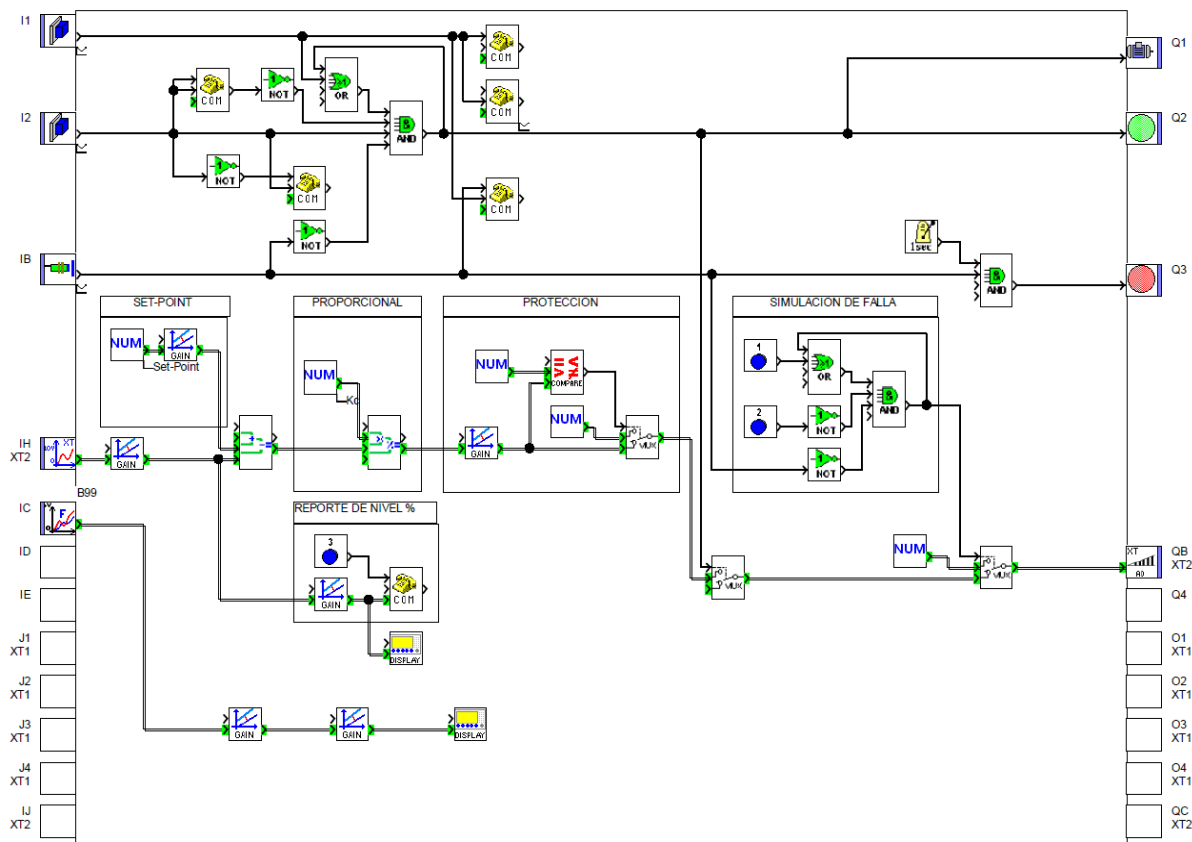


Figura 30 Esquema de conexión de sistema de control de nivel de agua

## 4.4. Implementación del Programa.

### 4.4.1. Esquema del programa



## 4.5. Componentes del Sistema de Control Automático

- Zelio Logit SR3B101BD
- Modbus XT1: SR3MBU01
- Expansión Analógica XT2: SR3XT43BD
- Interfaz GSM XT3: SR2COM01
- Modem GSM SR2 MOD03

### 4.5.1. Diagrama de conexión del sistema de control automático

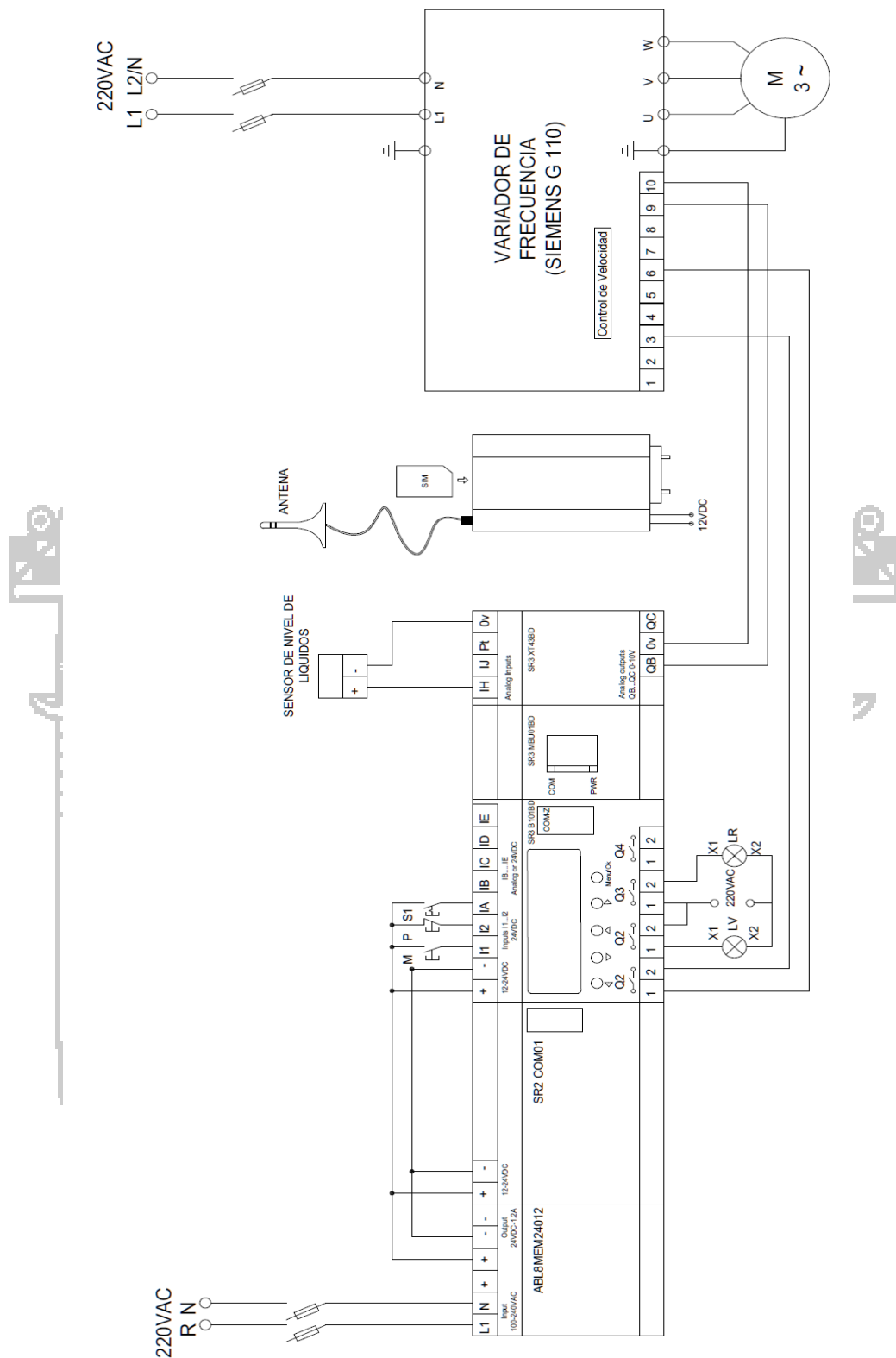






Figura 31 Diagrama de conexiones sistema de control automático







### 4.5.2. Entradas físicas

Entrada	N.º	Símbolo	Función	Candado	Parámetros	Comentario
I1	B39		Botón pulsador luminoso	---	No hay parámetros	
I2	B40		Botón pulsador luminoso	---	No hay parámetros	
IB	B66		Entrada DIG	---	No hay parámetros	
IH XT2	B07		Entrada analógica 10 bits	---	No hay parámetros	


### TECLAS DEL MODULO

N.º	Símbolo	Función	Comentario
B46		Tecla Z1	
B47		Tecla Z2	
B71		Tecla Z3	



### SALIDAS FISICAS

Salida	N.º	Símbolo	Función	Comentario
Q1	B05		Motor	
Q2	B43		Indicador verde	
Q3	B41		Indicador rojo	
QB XT2	B10		Salida analógica 10 bits	


FUNCIONES CONFIGURABLES

N.º	Símbolo	Función	Candado	Remanencia	Parámetros	Comentario
B12	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 1	
B15	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 7	
B16	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 50	SP
B19	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 4	Kc
B20		Comparación de 2 valores	---	---	VALEUR 1 ≥ VALEUR 2	
B21	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 1023	
B23	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 10	


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

N.º	Símbolo	Función	Candado	Remanencia	Parámetros	Comentario
B26		Ganancia = A/B x valor + C	No	---	Ganancia: $y = (1023/1) x + 0$ Banda: $0 \leq y \leq 1023$	
B27	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 1	
B29		Comparación de 2 valores	---	---	VALEUR 1 > VALEUR 2	
B30	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 0	
B31		Ganancia = A/B x valor + C	No	---	Ganancia: $y = (0/1) x + 0$ Banda: $0 \leq y \leq 1023$	
B32	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 1	
B35		Mensaje	---	---	Ver detalles a más distancia	
B45	NUM	Constante numérica	No	---	Valor de la constante : 1023	
B51		Mensaje	---	---	Ver detalles a más distancia	
B68		Mensaje	---	---	Ver detalles a más distancia	

MENSAJES

B35		Mensaje
Tipo : Alarma Destinatario del mensaje :		
Nombre	N° de telf/E-mail	
rodri	+51958667744	
benito	+51988689955	
salinas	+51989604288	
Entradas conectadas: DIG : -- ANA : -- Mensaje que transmitir : Operacion: Tesis GSM (EPIME) Se puso en MARCHA el Sistema d e Control Automatico Monitorea do con Tecnogia GSM Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO		



B68		Mensaje	
Tipo : Alarma con modificación de variables Destinatario del mensaje :			
Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura
rodri	+51958667744	X	X
benito	+51988689955	X	
salinas	+51989604288	X	
Entradas conectadas: DIG : Marcha, B39 Entrada DIG, Leído/Modif. = Sí, Umbral1 = 0, Umbral2 = 1 ANA : -- Mensaje que transmitir : Operacion: FALLA Falla Por Desbordamiento de Ni vel(Electrobomba Apagada) Marcha=_ Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO			

## 4.6. Interfaz de Comunicación ZELIO2 COM.

El interface de comunicaciones Zelio2 COM, nos permite la comunicación de los relés programables de la familia Zelio Logic II (SR2B\*, SR2E\*,SR3B\* ) con un módem externo GSM.

### 4.6.1. Cableado del sistema GSM para la programación y la transferencia

El cableado a realizar es de acuerdo a la Figura siguiente el que muestra los pasos a seguir

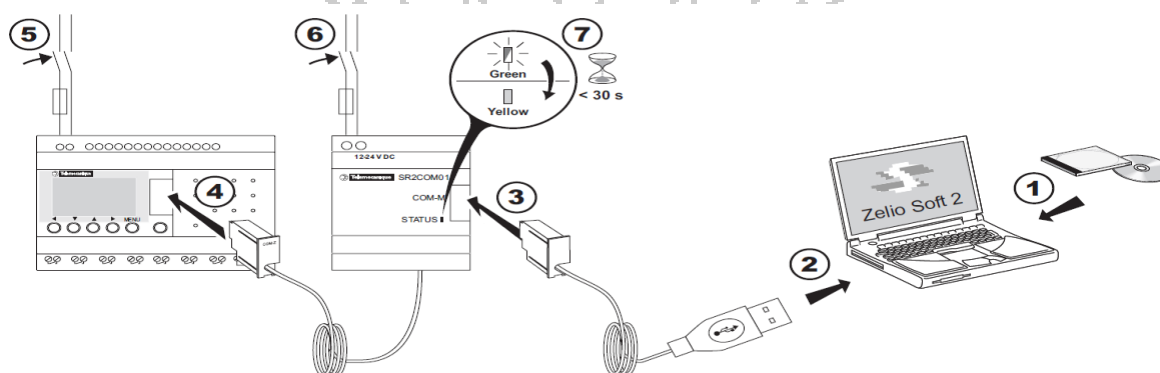


Figura 32 Cableado del sistema GSM

### 4.6.2. Programación y transferencia con ZELIO SOFT

El primer paso es siempre escoger el módulo de que disponemos.

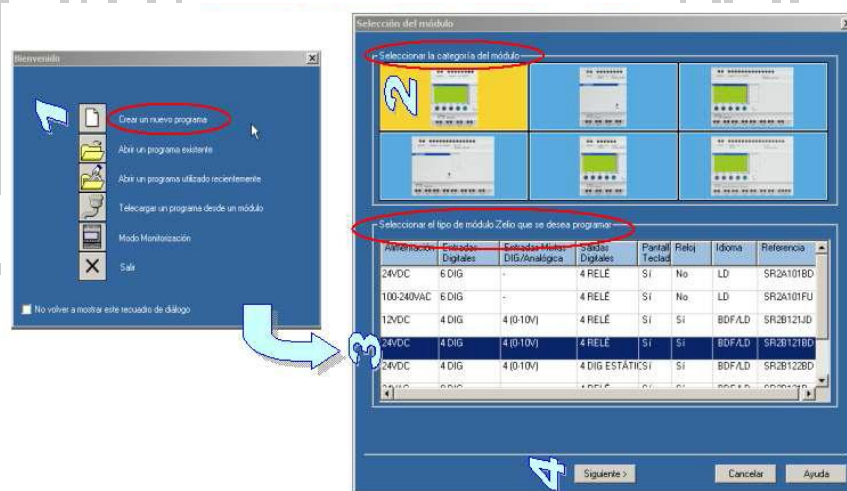


Figura 33 Selección de Zelio Logic

Después añadir el módulo interface de comunicaciones y el lenguaje de programación deseado:

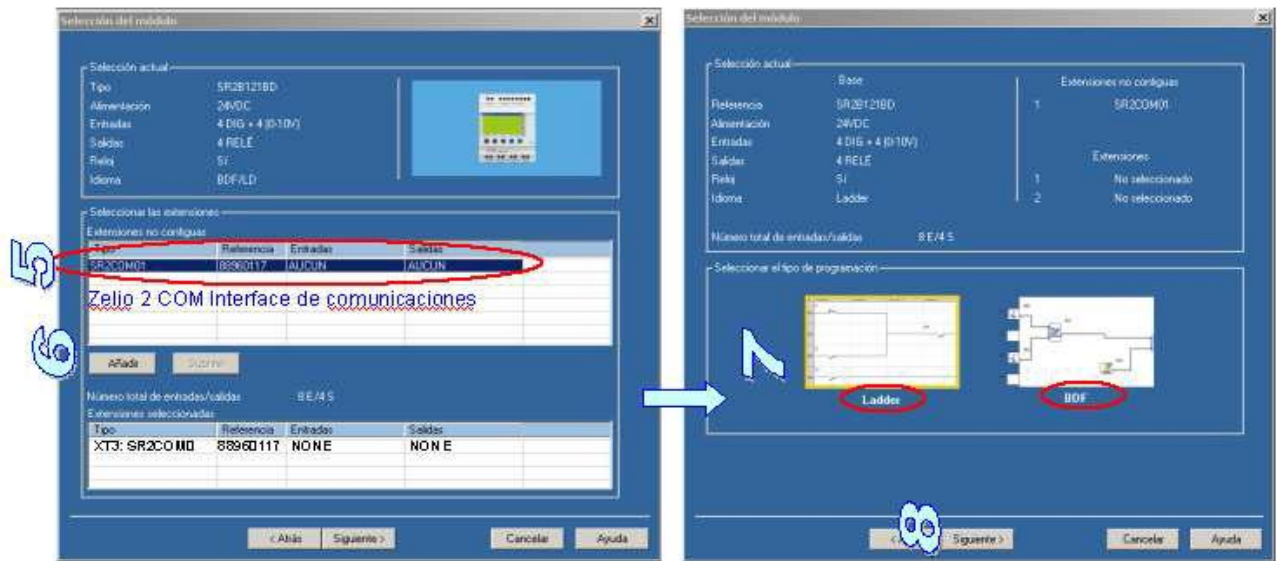
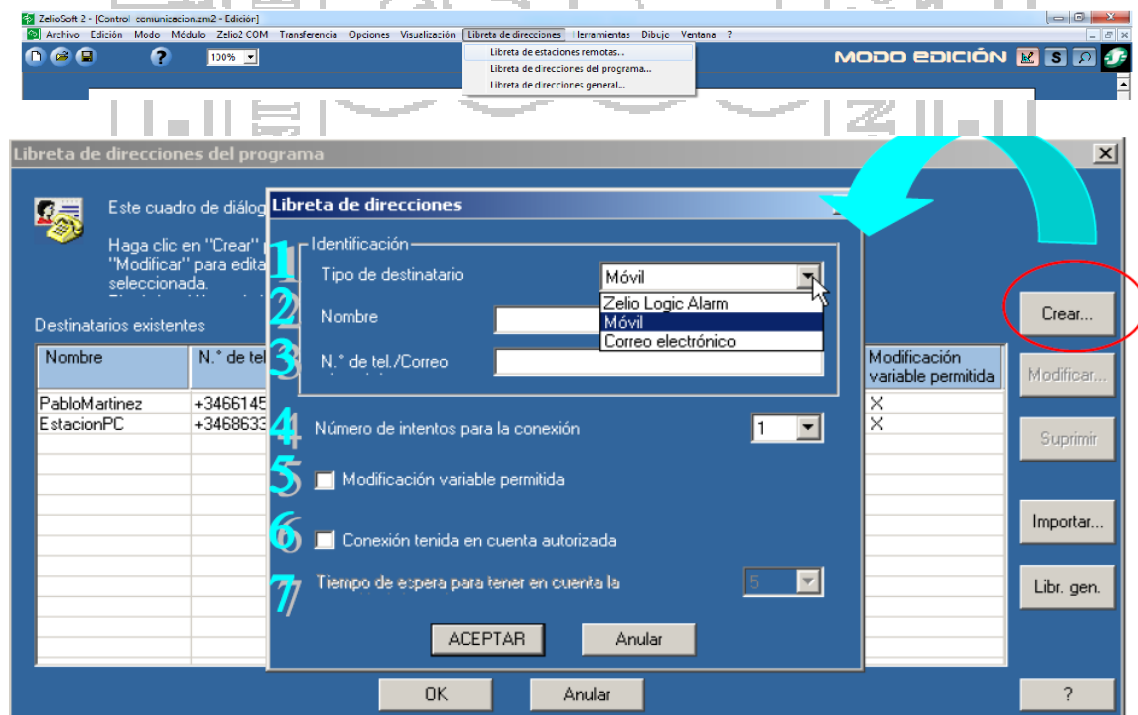


Figura 34 Selección del Interfaz de Comunicación

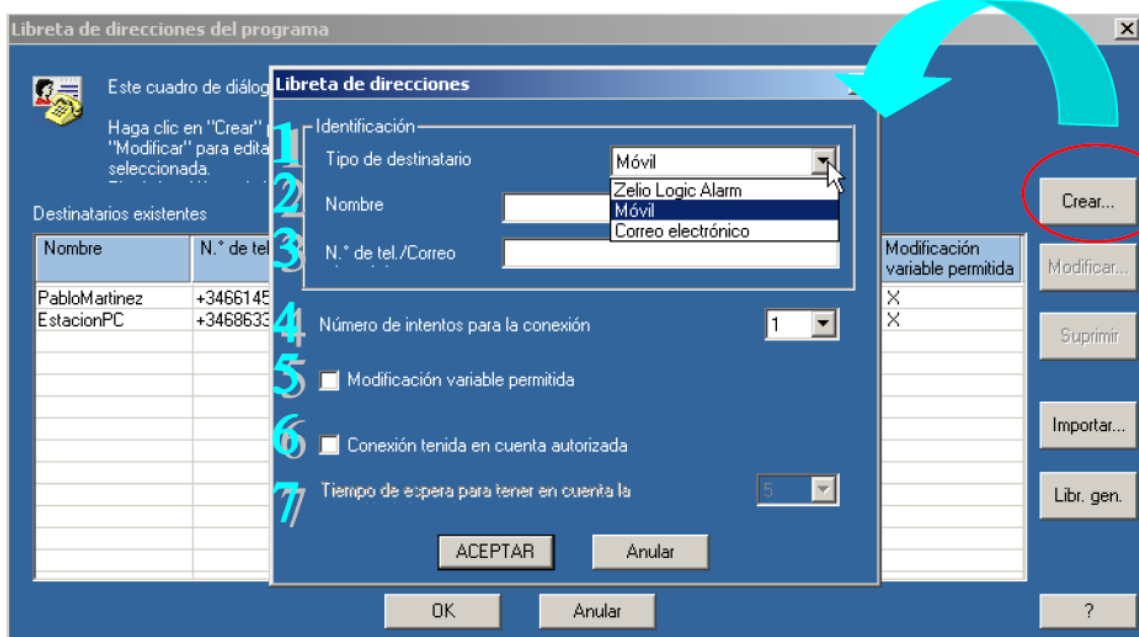
### 4.6.3. Configuración de la estación remota

#### 4.6.3.1. Libreta de estación remota



1. Nombre de la estación.
2. N° de teléfono asociado a la tarjeta SIM, que se usara en el Módem GSM, en formato internacional
3. Escoger la referencia del módem utilizado. Observar que al escoger las referencias SR2MOD01(RTC) o SR2MOD02 (GSM) , automáticamente puede ver la trama de inicialización del módem (de forma transparente para el usuario).
4. N° centro servidor SMS: Su configuración es necesaria para poder realizar el envío del SMS. Este n° es diferente según el operador.
5. Si se montase un Módem GSM, habría que introducir el PIN de la tarjeta. Otra opción es DESACTIVARLO de la tarjeta y dejarlo en blanco.

#### 4.6.3.2. Libreta de direcciones del programa



Este cuadro de diálogo "Libreta de direcciones" muestra la configuración para crear una nueva dirección. Haga clic en "Crear" o "Modificar" para editar la selección.

Destinatarios existentes:

Nombre	N.º de tel.
PabloMartinez	+346614E
EstacionPC	+3468633

Identificación:

1 Tipo de destinatario: Móvil

2 Nombre: Móvil

3 N.º de tel./Correo: Correo electrónico

4 Número de intentos para la conexión: 1

5  Modificación variable permitida

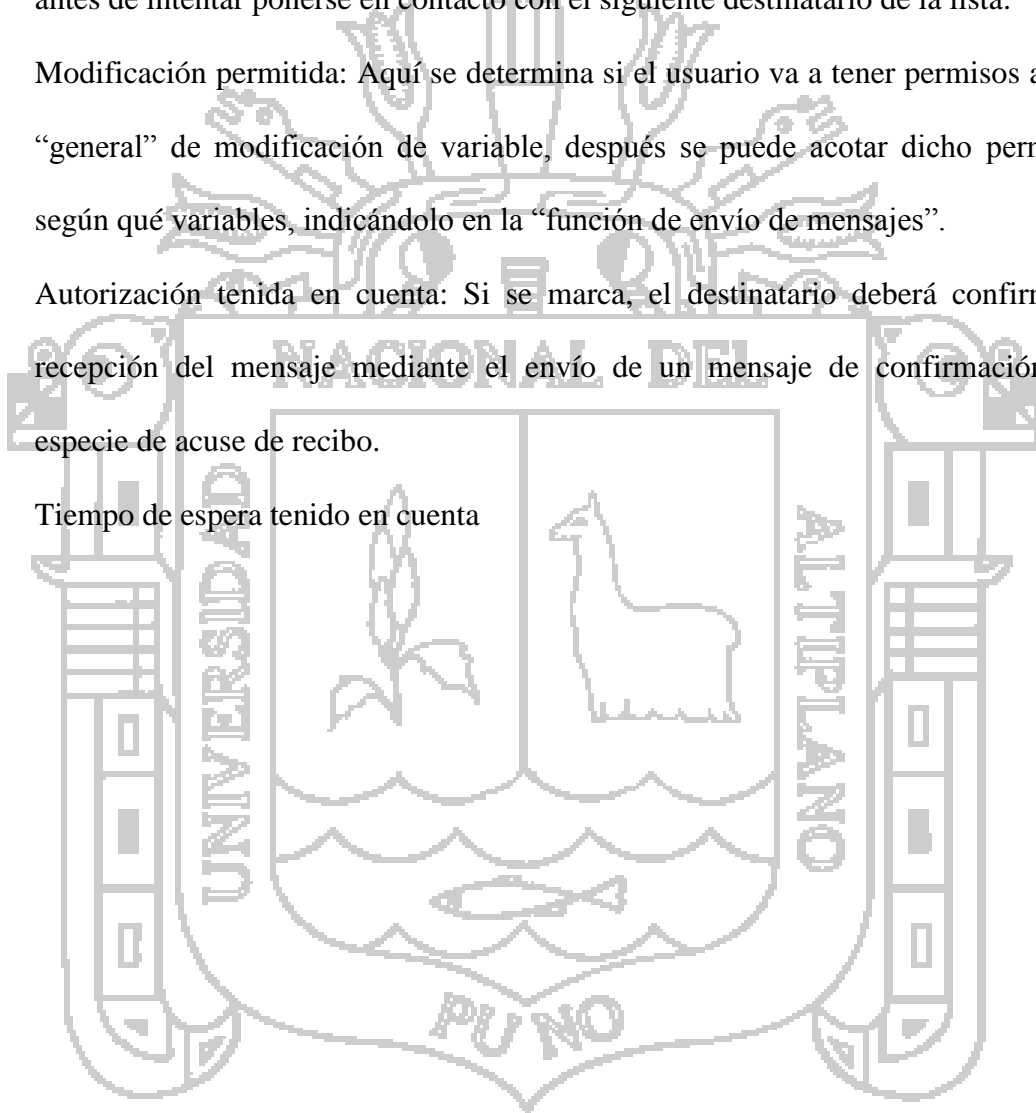
6  Conexión tenida en cuenta autorizada

7 Tiempo de espera para tener en cuenta la: 5

Botones: ACEPTAR, Anular, Crear..., Modificar..., Suprimir, Importar..., Libr. gen., OK, Anular, ?

1. Seleccionar el tipo de destinatario:
  - a. Estación PC equipada con Zelio Logic Alarm.
  - b. Móvil.

- c. Correo electrónico.
2. Introducir el nombre del destinatario.
  3. Introducir el n° de teléfono.
  4. Especificar el n° de intentos de conexión que deberá realizar la estación remota antes de intentar ponerse en contacto con el siguiente destinatario de la lista.
  5. Modificación permitida: Aquí se determina si el usuario va a tener permisos a nivel “general” de modificación de variable, después se puede acotar dicho permiso a según qué variables, indicándolo en la “función de envío de mensajes”.
  6. Autorización tenida en cuenta: Si se marca, el destinatario deberá confirmar la recepción del mensaje mediante el envío de un mensaje de confirmación, una especie de acuse de recibo.
  7. Tiempo de espera tenido en cuenta





# **CAPÍTULO V**

---

## **EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**



## 5.1. Planta

Modelo matemático de la planta: se obtendrá a partir de una simulación dinámica de la planta (ARRANQUE DIRECTO DE UN MOTOR ELÉCTRICO).

### 5.1.1. Método de identificación de procesos

El modelo se obtiene a partir de datos experimentales del proceso, únicamente observando los datos de entrada y salida del sistema. Los experimentos realizados para obtener los valores de las variables del sistema juegan un papel muy importante en la identificación del modelo.

Tomando datos experimentales en una prueba con la electrobomba.

Los datos experimentales obtenidos con cualquiera de los métodos de identificación de procesos, se ajustan usualmente a modelos lineales de primer o segundo orden con tiempo muerto. Se considera que el 80% de la frecuencia nominal de trabajo en lazo abierto pueden modelarse como sistemas de primer orden con tiempo muerto, es decir, con tres parámetros como son la ganancia, la constante de tiempo y el tiempo muerto y una función de transferencia

$$G(s) = \frac{K_p e^{-t_d s}}{\tau s + 1}$$

**La formulación del modelo** consiste, por lo tanto, en el monitoreo de la respuesta del sistema para seleccionar un posible modelo potencial. La estimación de los parámetros consiste en la **determinación de los parámetros** desconocidos del modelo con los cuales se alcance el mejor ajuste de este a los datos experimentales registrados. La validación del modelo se realiza graficando la respuesta paso teórica del modelo en consideración y evaluando su ajuste a los datos experimentales.

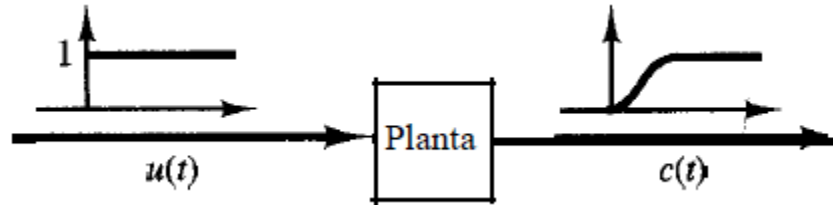


Figura 35 Respuesta a escalón unitario de la Planta

Datos obtenidos experimentales:

N°	Sep-Point	Tiempo (s)	Altura (%)
1		0	0
2		1	0
3		2	1
4		3	3
5		4	5
6		5	8
7		6	11
8		7	15
9		8	19
10		9	25
11		10	30
12		11	35
13		12	41.5
14		13	48
15	0-100%	14	53
16		15	59
17		16	64
18		17	69
19		18	74
20		19	78
21		20	83
22		21	87
23		22	90
24		23	93
25		24	95
26		25	96
27		26	97
28		27	98

Tabla 2 Datos experimentales

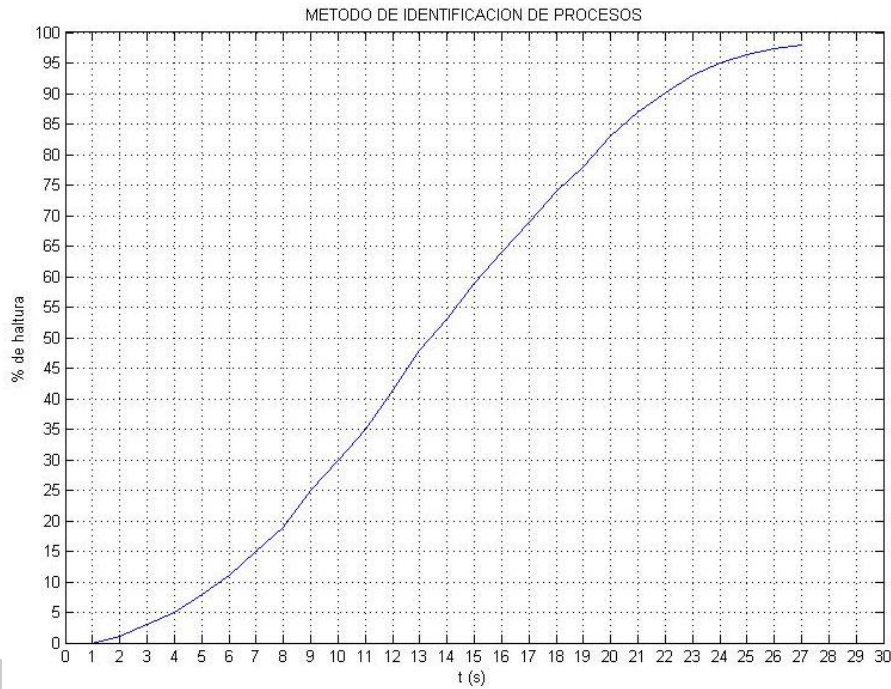


Figura 36 Datos experimentales

Siendo:

$$G(s) = \frac{K_p e^{-t_d s}}{\tau s + 1}$$

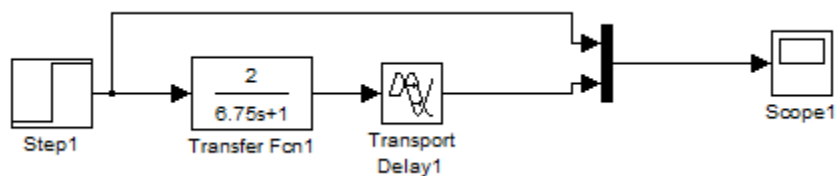
Para determinar estos  $K_p, t_d, T_s$  se realiza con la ayuda del software Matlab con el que se determina lo siguiente:

$$K_p = \frac{100 - 0}{60 - 10} = 2$$

$$\tau = \frac{27}{4} = 6.75$$

$$t_d = 2$$

Comportamiento el Matlab Simulink en función a la altura porcentual



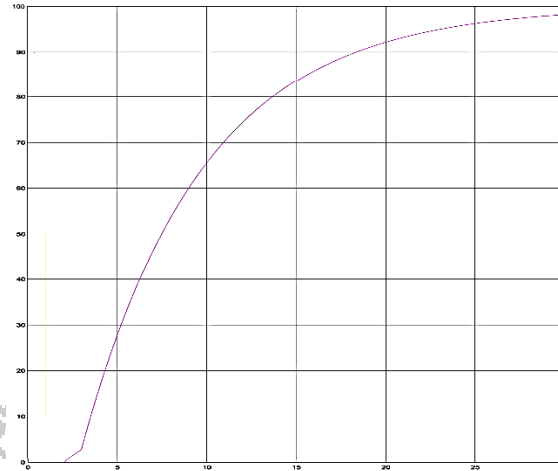
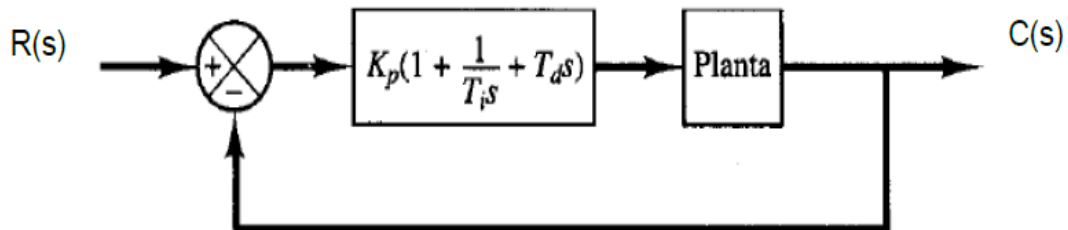


Figura 37 Respuesta del Sistema Dinámico

Ajuste del controlador PID



El PID tiene la función:

$$G_s = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

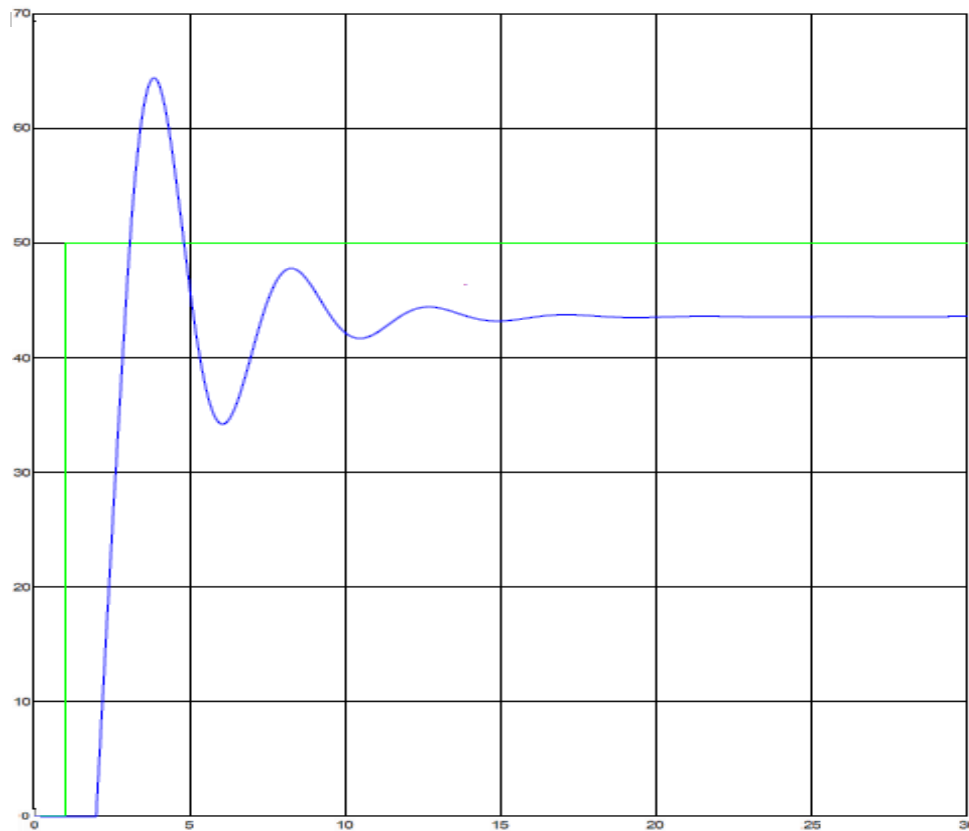
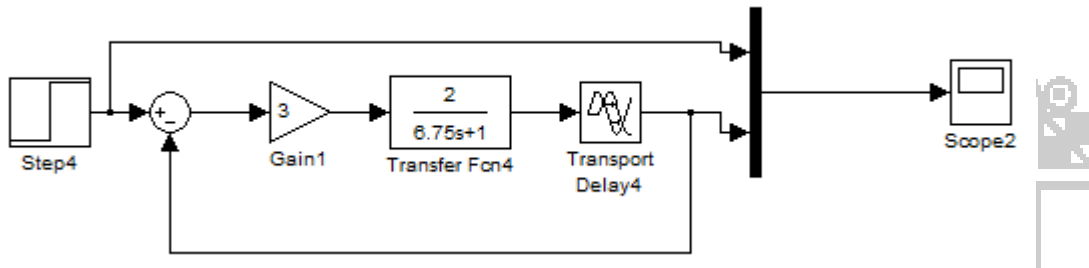
Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta Proporcional.

$$G(s) = \frac{K_p e^{-t_d s}}{\tau s + 1} = \frac{10 e^{-2s}}{6.75s + 1}$$

Tipo de controlador	$K_c$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{\tau}{t_d}$		
PI	$0.9 \frac{\tau}{t_d}$	$\frac{t_d}{0.3}$	
PID	$1.2 \frac{\tau}{t_d}$	$2t_d$	$0.5t_d$

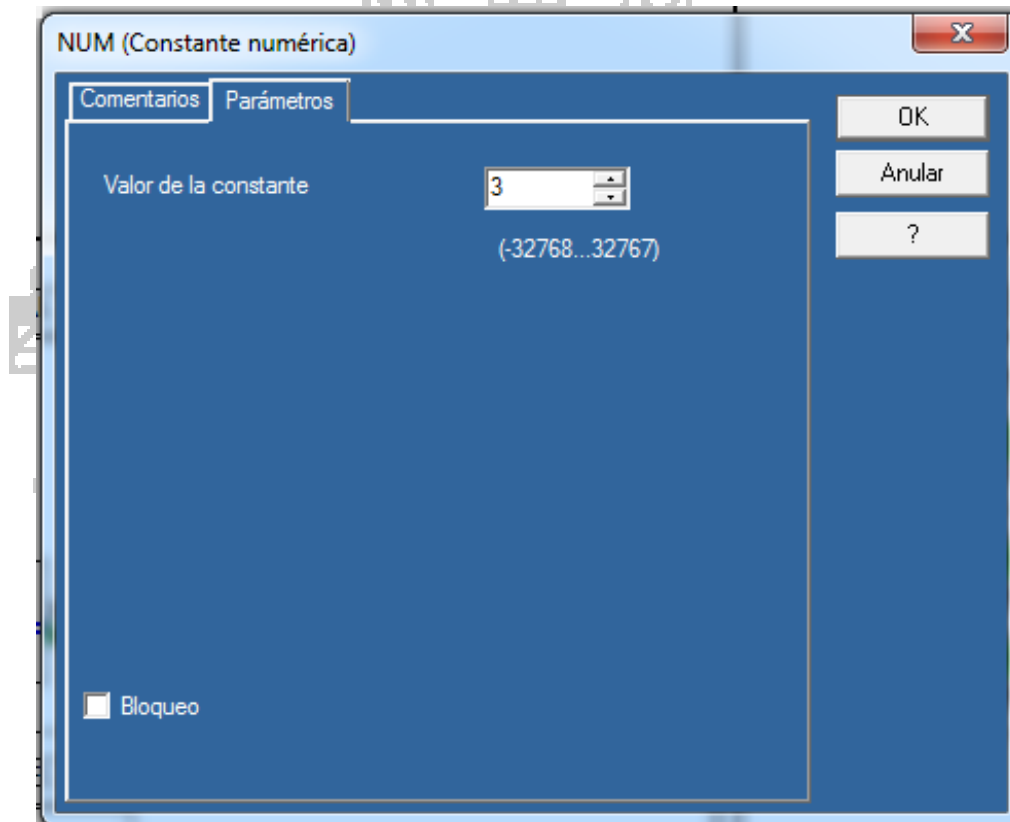
Acción de Control Proporcional

$$P = \frac{(6.75)}{2} = 3.38$$



## 5.2. Ajuste de Parámetros de Control en el Sistema GSM

Para realizar el ajuste del controlador se realiza ingresado los parámetros determinados en el programa desarrollado para controlador que se encuentra en el bloque B19 como se muestra en el figura siguiente:



### 5.2.1. RESPUESTA DE LA ACCIÓN DE CONTROL

En el siguiente cuadro se muestra la acción del control proporcional respuesta a un SET-POINT del 50% del nivel de altura, de acuerdo a la entrada que será tomada mediante el sensor de nivel, luego este valor será estandarizado luego de ello se calcula el error correspondiente comparando con el valor que deseamos obtener que en nuestro caso viene a ser ( $50\% = 511.5$ )

Sensor		Num	Set Poin	Error	Kc	V. F.	V DC	f Hz
X	Con.	x1	S-x1					
0.000	0	0.0	511.5	511.5	1534.5	1023.0	10.0	60.1
0.129	12.9	73.1	511.5	438.4	1315.3	1023.0	10.0	60.1
0.257	25.7	146.1	511.5	365.4	1096.1	1023.0	10.0	60.1
0.386	38.6	219.2	511.5	292.3	876.9	876.9	8.6	51.5
0.514	51.4	292.3	511.5	219.2	657.6	657.6	6.4	38.6
0.643	64.3	365.4	511.5	146.1	438.4	438.4	4.3	25.7
0.771	77.1	438.4	511.5	73.1	219.2	219.2	2.1	12.9
0.900	90	511.5	511.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.029	103	584.6	511.5	-73.1	-219.2	0.0	0.0	0.0
1.157	116	657.6	511.5	-146.1	-438.4	0.0	0.0	0.0
1.286	129	730.7	511.5	-219.2	-657.6	0.0	0.0	0.0
1.414	141	803.8	511.5	-292.3	-876.9	0.0	0.0	0.0
1.543	154	876.9	511.5	-365.4	-1096.1	0.0	0.0	0.0
1.671	167	949.9	511.5	-438.4	-1315.3	0.0	0.0	0.0
1.800	180	1023.0	511.5	-511.5	-1534.5	0.0	0.0	0.0

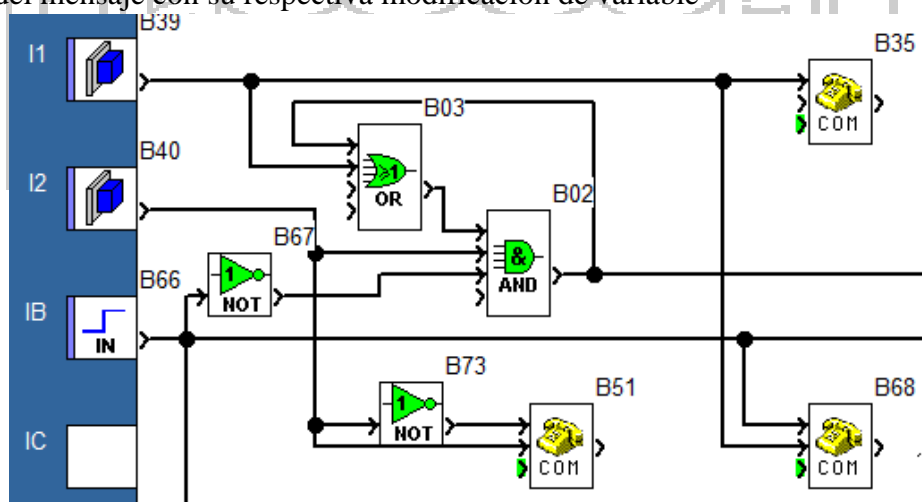
Tabla 3 Acción de control proporcional

### 5.3. Respuesta de Sistema GSM


#### 5.3.1. Monitorización del sistema GSM a SET POINT


La respuesta a la puesta en marcha del sistema de control automático con el ingreso de un set point activado por el pulsador de marcha II


El reporte de la parada del sistema es debido al pulsador de paro el mismo que activa la emisión del mensaje con su respectiva modificación de variable




Contenido del reporte monitoreado GSM debido a la operación del sistema


B35		Mensaje				
Tipo : Alarma Destinatario del mensaje : <table border="1"> <tr> <th>Nombre</th> <th>N° de telf/E-mail</th> </tr> <tr> <td>Benito</td> <td>+51988689955</td> </tr> </table>			Nombre	N° de telf/E-mail	Benito	+51988689955
Nombre	N° de telf/E-mail					
Benito	+51988689955					
Entradas conectadas: DIG : --- ANA : --- Mensaje que transmitir : Operación: Tesis GSM (EPIME) Se puso en MARCHA el Sistema de Control Automático Monitoreado con Tecnología GSM Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO						

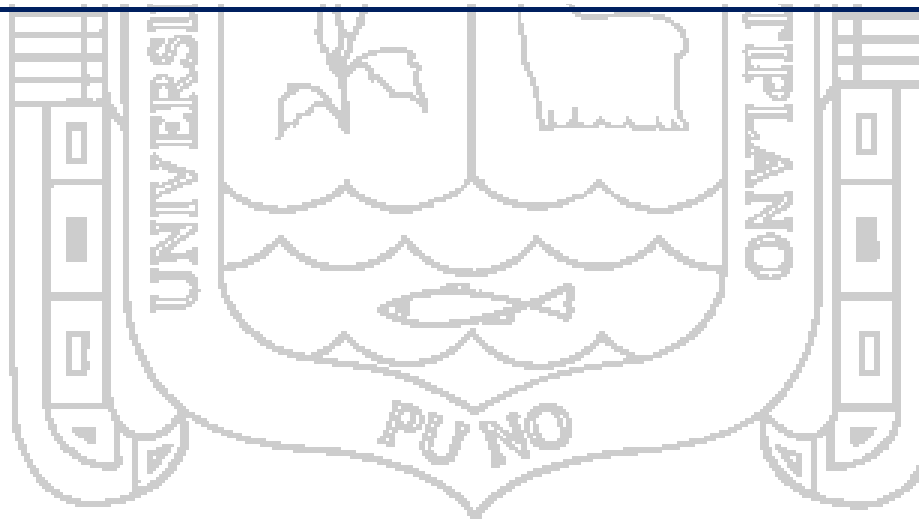
B68		Mensaje																
Tipo : Alarma con modificación de variables Destinatario del mensaje : <table border="1"> <tr> <th>Nombre</th> <th>N° de telf/E-mail</th> <th>Lectura</th> <th>Escritura</th> </tr> <tr> <td>rodr</td> <td>+51958667744</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>benito</td> <td>+51988689955</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>salinas</td> <td>+51989604288</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </table>			Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura	rodr	+51958667744	X	X	benito	+51988689955	X		salinas	+51989604288	X	
Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura															
rodr	+51958667744	X	X															
benito	+51988689955	X																
salinas	+51989604288	X																
Entradas conectadas: DIG : Marcha, B39 Entrada DIG, Leído/Modif. = Sí, Umbral1 = 0, Umbral2 = 1 ANA : --- Mensaje que transmitir : Operación: FALLA Falla Por Desbordamiento de Nivel (Electrobomba Apagada) Marcha=_ Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO																		

B68		Mensaje								
Tipo : Alarma con modificación de variables Destinatario del mensaje : <table border="1"> <tr> <th>Nombre</th> <th>N° de telf/E-mail</th> <th>Lectura</th> <th>Escritura</th> </tr> <tr> <td>Benito</td> <td>+51988689955</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </table>			Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura	Benito	+51988689955	X	X
Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura							
Benito	+51988689955	X	X							
Entradas conectadas: DIG : Marcha, B39 Entrada DIG, Leído/Modif. = Sí, Umbral1 = 0, Umbral2 = 1 ANA : --- Mensaje que transmitir : Operación: FALLA Falla Por Desbordamiento de Nivel (Electrobomba Apagada) Marcha=_ Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO										



B92		Mensaje								
Tipo : Alarma con modificación de variables Destinatario del mensaje :										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>N° de telf/E-mail</th> <th>Lectura</th> <th>Escritura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Benitom</td> <td>+51988689955</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura	Benitom	+51988689955	X	
Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura							
Benitom	+51988689955	X								
Entradas conectadas: DIG : --- ANA : en, B90 Salida cálculo, Leído/Mdif. = Sí, Umbral1 = -32768 %, Umbral2 = 32767 %, Conversión = Evolucionada Mensaje que transmitir : Reporte de Nivel de Agua El nivel de agua esta en= _____ % Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO										

B92		Mensaje								
Tipo : Alarma con modificación de variables Destinatario del mensaje :										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>N° de telf/E-mail</th> <th>Lectura</th> <th>Escritura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Benitom</td> <td>+51988689955</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura	Benitom	+51988689955	X	
Nombre	N° de telf/E-mail	Lectura	Escritura							
Benitom	+51988689955	X								
Entradas conectadas: DIG : --- ANA : en, B90 Salida cálculo, Leído/Mdif. = Sí, Umbral1 = -32768 %, Umbral2 = 32767 %, Conversión = Evolucionada Mensaje que transmitir : Reporte de Nivel de Agua El nivel de agua esta en= _____ % Condición para generar el mensaje : Transición de INACTIVO a ACTIVO										





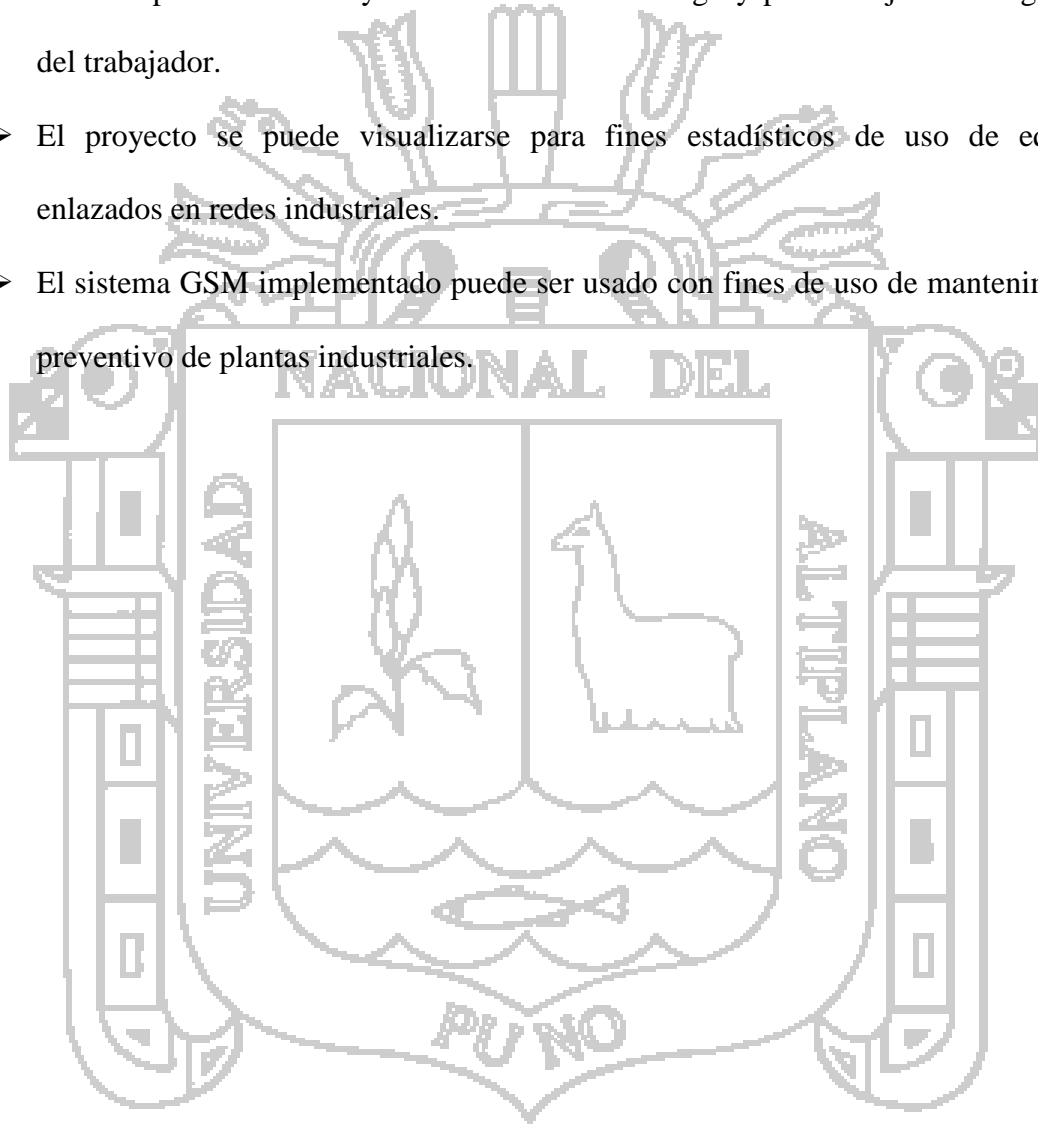
## CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema de control automático monitoreado en tiempo real con tecnología GSM que gestiona recursos de control y adquisición de eventos de falla y perturbaciones para un sistema de control de nivel de agua en forma experimental el cual fue desarrollado en el laboratorio de control y automatización de la EPIME.
- Con la implementación del sistema de control automático monitoreado con tecnología GSM se logró reportar las acciones de control, las perturbaciones provocadas al sistema y las condiciones de trabajo como son: puesta en marcha y parada del sistema, reporte de las perturbaciones, y reporte del estado de trabajo.
- De describió el principio de funcionamiento de los sistemas de control mediante PLC y variador de velocidad para el control del nivel de agua
- Analizo e interpretar los resultados del sistema de control automático con tecnología GSM implementado en el laboratorio de control y automatización de la EPIME el mismo que simulado en Matlab



## RECOMENDACIONES

- El trabajo realizado puede ser implementado en el ámbito de las redes eléctricas de distribución con la finalidad de realizar seguimiento en tiempo real.
- En Para procedimientos y realizar análisis de riesgo y poder mejorar la seguridad del trabajador.
- El proyecto se puede visualizar para fines estadísticos de uso de equipos enlazados en redes industriales.
- El sistema GSM implementado puede ser usado con fines de uso de mantenimiento preventivo de plantas industriales.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Andrés M. Karcz, Marcombo, (2012). Fundamentos de metrología Eléctrica. Tomo I – Unidades, Patrones e instrumentos. España. Boixareu Editores
2. Angoa Hernández, F. (2012). Generalidades y calibración de wathhorímetros digitales F12H”. (trabajo practico técnico). Universidad Veracruzana. Xalapa.
3. Schwartz Mischa(2010), Redes de telecomunicaciones: - protocolos, modelado y análisis, Addison-Wesley Iberoamericana.
4. Halsall Fred (2012), Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas abiertos, Addison Wesley.
5. Stallings William (2013), Comunicaciones y redes de computadores, Prentice Hall.
6. Comunicaciones Industriales (2009), Ingeniería electrónica y automática.
7. Stallings William, Comunicaciones y redes de computadores, Prentice Hall.
8. Kuo, B.C. – (1996), "Sistemas de control automático", Prentice Hall Hispanoamericana, México.
9. Ogata, K. – (1995), "Ingeniería de control moderna", Pearson Educación, S.A., España, 4ta
10. Ogata, K. – (1995), "Discrete-time control systems", Prentice Hall, Inc., Estados Unidos, 2da edición.
11. Fitzgerald A. E. (2004), “Máquinas Eléctricas”, sexta edición, Editorial McGrawHill.
12. FRAILE MORA (1999), J.: Electromagnetismo y circuitos eléctricos. E.T.S.I. de Caminos, canales y Puertos.
13. R. Dorf. (1989), Sistemas Modernos de Control. Addison Wesley Iberoamericana, 2da. Edición.

14. Benjamin. Kuo.(1996), Sistemas de Control Automático. Prentice Hall-Hispanoamericana.
15. N.Nise. (2004), Sistemas de Control para Ingeniería. CECSA, 3ra. Edición, 2004.





# ANEXO

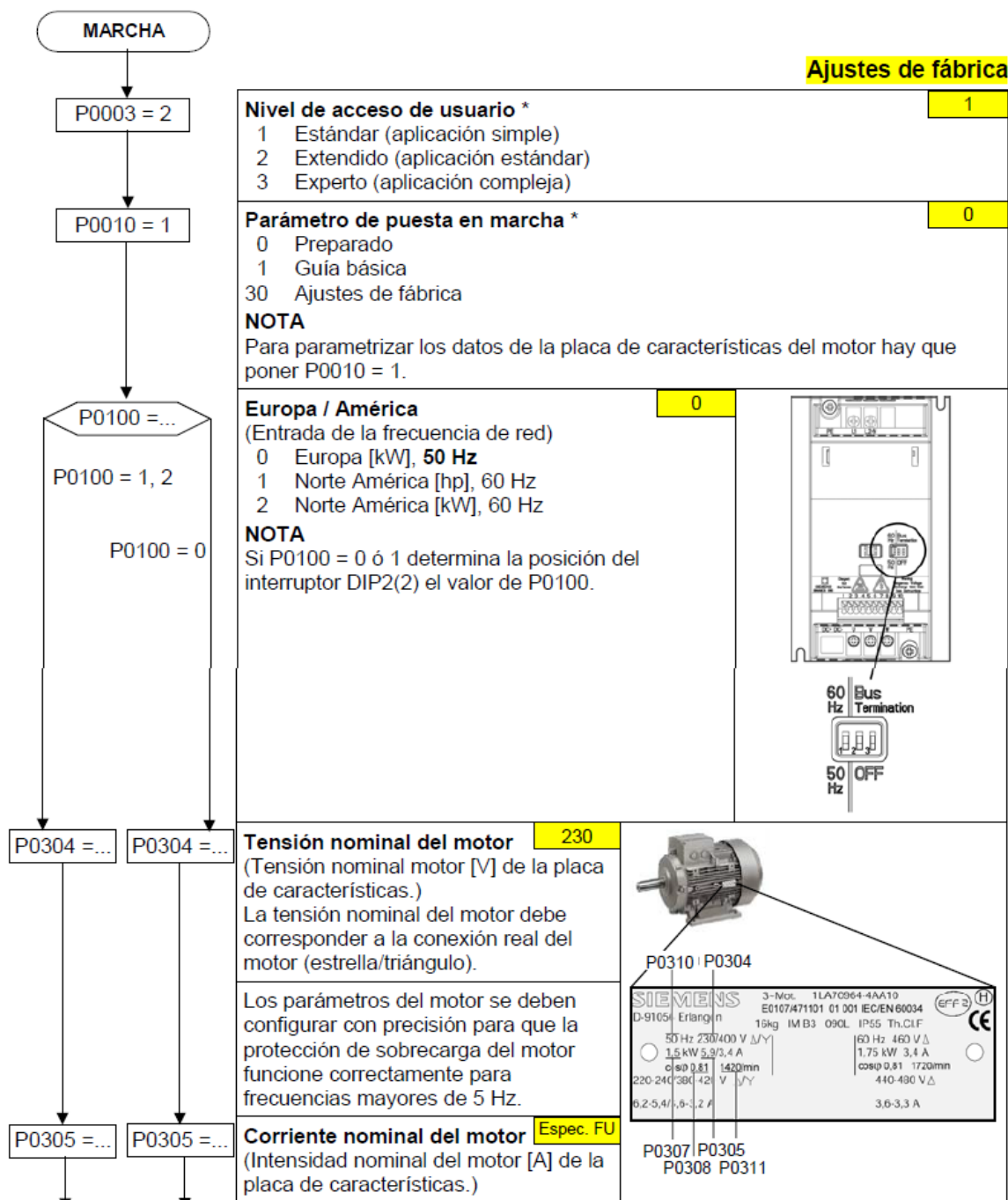
---

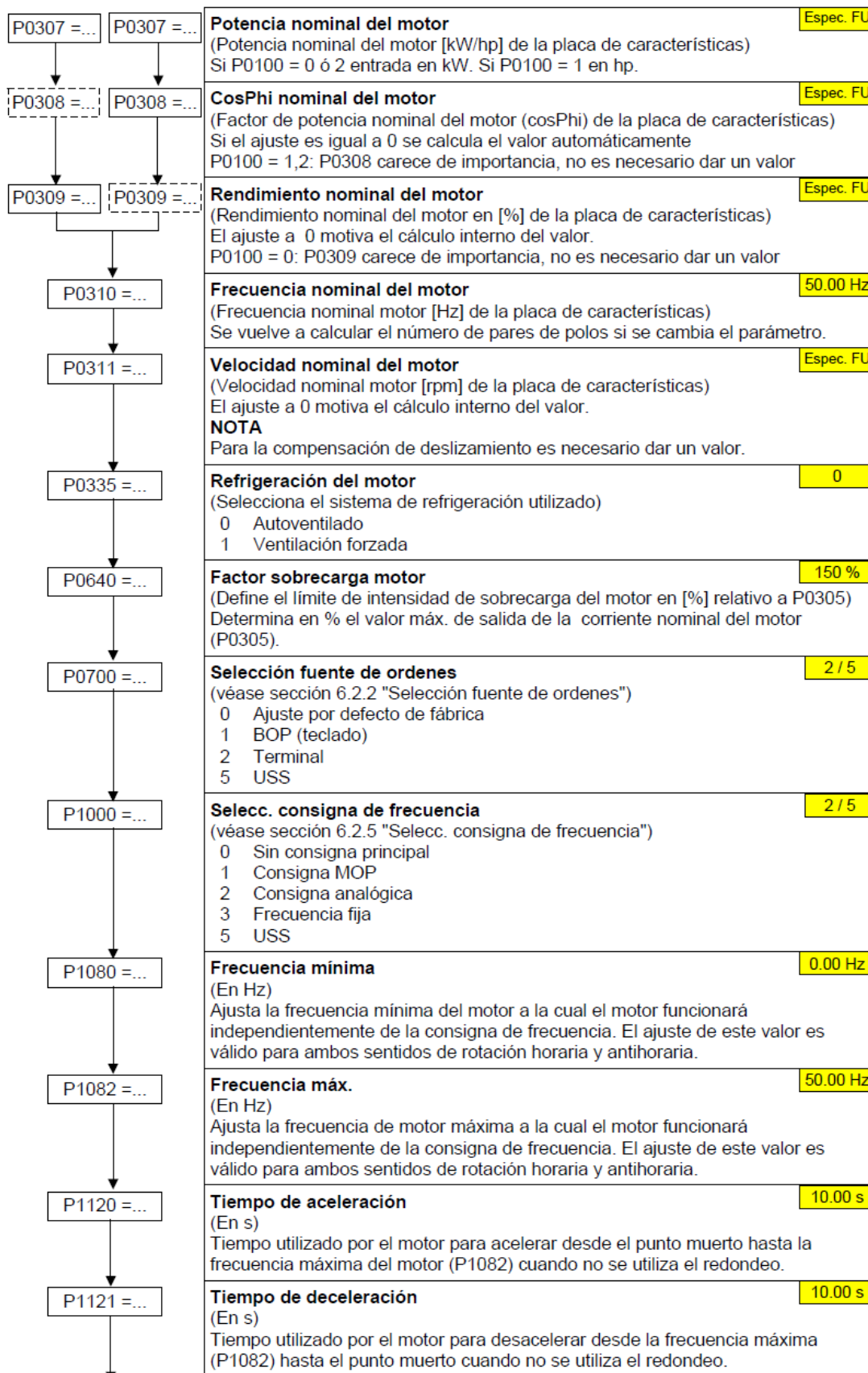
## AJUSTE DE PARAMETROS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

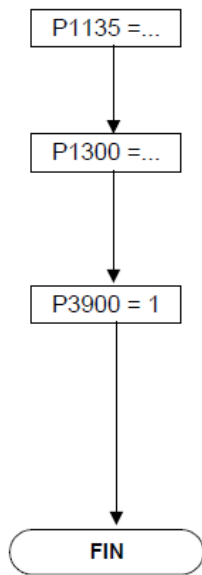


## AJUSTE DE PARAMETROS DEL VARIADOR

Los parámetros marcados con \* ofrecen más posibilidades de ajuste de las que se mencionan aquí. Para más detalles consulte la lista de parámetros.







<b>Tiempo deceleración OFF3</b> (En s) Define el tiempo de deceleración desde la frecuencia máxima hasta el punto muerto para una orden OFF3.	5.00 s
<b>Modo de control</b> (Entrada del modo de control deseado) 0 V/f con característ. lineal 2 V/f con característ. parabólica 3 V/f con característ. programable	0
<b>Fin de la puesta en servicio ráp (Comienza cálculo motor)</b> 0 Sin puesta en marcha rápida (sin cálculos de motor) 1 Inicio puesta en marcha rápida con borrado de ajustes de fábrica 2 Inicio puesta en marcha rápida 3 Inicio puesta en marcha rápida sólo para los datos del motor	0
<b>NOTA</b> Para P3900 = 1,2,3 → el P0340 se pone internamente = 1 y se calculan los datos correspondientes (véase P0340 en la lista de parámetros).	
<b>Fin de la puesta en servicio ráp / ajuste del accionamiento.</b> En el caso que tenga que parametrizar otras funciones en el convertidor utilice las instrucciones "Puesta en servicio según aplicación". Se recomienda para accionamientos dinámicos.	

