

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELEMETRÍA Y TELECONTROL DE LA VELOCIDAD DE UN
MOTOR ELÉCTRICO USANDO LA TECNOLOGÍA GPRS

TESIS

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

GAMERO TORNERO, MILENKA KAROLYN

PROMOCIÓN 2013-I

LIMA – PERÚ

2015

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi familia, especialmente a mi madre Yanet por su apoyo incondicional a lo largo de mis años de vida, a mi padre por su carácter paciente, a mi abuela Rosa por estar siempre presente apoyándome y a mi tía Denise, por tener un gran corazón.

Agradecimientos

Quiero agradecer a los docentes de mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería, de forma especial al Ing. Ricardo Rodríguez Bustinza por el asesoramiento brindado para la elaboración de la presente tesis, así mismo agradecer al Ing. José Oviden Martínez y al Ing. Nikolai Vences Ramos, por el apoyo tanto con ideas para la implementación como equipos, también agradecer a la empresa SEW EURODRIVE que mediante el Ing. Mario Watanabe pude obtener el motor eléctrico prestado para concluir con las pruebas. Finalmente un especial agradecimiento al Ing. Daniel Barrera.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	4
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Planteamiento del problema	7
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Alcances.....	11
1.5 Limitaciones.....	11
 CAPÍTULO II	 12
TELEMETRÍA Y TELECONTROL	12
2.1. Definiciones	12
2.2. Tecnología GPRS.....	12
2.2.1. Arquitectura GPRS.....	13
2.2.1.1 Mobile Station	14
2.2.1.2 Base Transceiver Station.....	14
2.2.1.3 Base Station Controller	16
2.2.1.4 Mobile Services Scwithching Center.....	17
2.2.1.5 Serving GPRS Support Node.....	17
2.2.1.6 Gateway GPRS Support Node	18
2.2.2. Tarjeta SL6087	18
2.3. Base de Datos.....	20
2.3.1 MySQL	22
2.3.2 PHP	22
2.3.3 phpMyAdmin	24
2.4 Aplicaciones de la telemetría.....	24

CAPITULO III	28
MOTORES ELÉCTRICOS Y VARIADORES DE FRECUENCIA	28
3.1 Introducción a los motores eléctricos	28
3.2 Principio de funcionamiento del motor eléctrico AC	29
3.3 Características Técnicas del motor utilizado.....	43
3.4 Introducción a los variadores de frecuencia.....	48
3.5 Principio de funcionamiento de los VDF	49
3.6 Características técnicas del VDF utilizado	53
CAPITULO IV.....	55
DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA Y TELECONTROL	55
4.1 Introducción al diseño	55
4.2 Diseño del Hardware del Sistema.....	57
4.2.1 Diseño de la Tarjeta SL6087	57
4.2.2 Especificaciones Técnicas del hardware.....	60
4.3 Diseño del software del sistema.....	62
4.3.1 Diseño de la página web en Dreamweaver y programación del servidor con lenguaje PHP y MySQL.....	62
4.3.2 Programación del microcontrolador PIC y del servidor.....	68
4.3.3 Parametrización del variador de frecuencia.....	74
CAPITULO V	82
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	82
5.1 Descripción de la implementación	82
5.2 Características de la página web	83
5.3 Funcionamiento y pruebas del sistema.....	85
CAPITULO VI.....	90
ESTUDIO ECONÓMICO	90
6.1 Costo total del equipo incluyendo puesta en marcha.....	90
6.1.1 Costo por mano de obra.....	90
6.1.2 Costo de materiales	90
6.1.3 Costo total del equipo	91
6.2 Comparación de precios con el equipo de telemetría de Siemens	91
6.3 Ahorro por visitas de mantenimiento	92

6.4 Período de retorno de inversión	93
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
APÉNDICE A	101
PROGRAMAS.....	101
A.1 Programa Index.php	101
A.2 Programa enviar.php	104
A.3 Programa DBtelemetría.php.....	105
A.4 Programa graficas.php	106
A.5 Programa del Microcontrolador.....	107
APÉNDICE B	110
DATOS TECNICOS VARIADOR MCLTE	110
B.1 Capacidad de sobrecarga.....	110
B.2 Características de protección.....	110
B.3 Conformidad.....	110
B.4 Ambiental.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Equipo de telecontrol Basic de la marca Siemens, figura tomada de [6].	6
Figura 1. 2: Equipo de telecontrol Professional, figura tomada de [6].	7
Figura 1. 3: Sistemas automatizados en la industria automovilística y papelera.	8
Figura 1. 4: Monitoreo y control desde la planta.	9
Figura 1. 5: Incendio en Fábrica Textil-Ate.	9
Figura 2. 1: Arquitectura base GPRS.	13
Figura 2. 2: Componentes del Mobile Station (MS).	14
Figura 2. 3: Torre BTS que mantiene la antena.	15
Figura 2. 4: Conjunto de celdas.	15
Figura 2. 5: Cada celda posee un BTS.	16
Figura 2. 6: Integrado SIERRA WIRELESS SL6087, figura tomada de [5].	19
Figura 2. 7: Tarjeta SL6087.	19
Figura 2. 8: Adquirir y enviar información hacia el servidor.	20
Figura 2. 9: Dominio mecaprojects.com.	21
Figura 2. 10: Empresa comercializadora de dominios inkawebdesign.	21
Figura 2. 11: Base de datos.	22
Figura 2. 12: Mediante PHP se obtiene datos de MySQL.	23
Figura 2. 13: Herramienta gráfica phpMyAdmin para administración de base de datos.	24
Figura 2. 14: Monitoreo de tu casa desde el celular.	25
Figura 2. 15: Empresa e-Activa, brinda servicios en domótica.	26
Figura 2. 16: Aplicación de la telemetría en pozos petroleros, figura tomada de [11].	27
Figura 3. 1: Componentes de un motor eléctrico, figura tomada de [8].	29
Figura 3. 2: Estator y carcasa.	30
Figura 3. 3: Rotor de Jaula de Ardilla.	30
Figura 3. 4: Sección exterior de un motor AC conocida como el estator.	31
Figura 3. 5: Voltaje trifásico de la red de alimentación.	32
Figura 3. 6: Ubicación del campo magnético.	34
Figura 3. 7: Esquema por fase de un motor asíncrono polifásico.	39
Figura 3. 8: Circuito equivalente exacto de un motor reducido al estator.	40
Figura 3. 9: Circuito equivalente aproximado de un motor asíncrono trifásico.	41
Figura 3. 10: Pérdidas en el motor de inducción.	42
Figura 3. 11: Curva Torque vs Deslizamiento.	43
Figura 3. 12: Nomenclatura del motor utilizado.	44
Figura 3. 13: Dimensiones FRAME 71S, figura tomada de [8].	44
Figura 3. 14: Placa de características.	45

Figura 3. 15: Curva Torque – Velocidad, figura tomada de [8].	46
Figura 3. 16: Curvas eficiencia, deslizamiento, I/In, potencia de salida vs potencia de entrada, figura tomada de [8].	47
Figura 3. 17: Variador de Frecuencia de la marca SEW, figura tomada de [2].	48
Figura 3. 18: Etapas de Potencia del Variador.	49
Figura 3. 19: Relación Escalar.	51
Figura 3. 20: Diagrama de control del variador, figura tomada de [8].	53
Figura 3. 21: Variador modelo MC LTE, figura tomada de [2].	54
Figura 4. 1: Arquitectura de control y supervisión del prototipo a implementar.	55
Figura 4. 2: Base de datos datos_enviar y datos_recibidos.	56
Figura 4. 3: Tarjeta SL6087.	57
Figura 4. 4: Entradas y salidas del integrado SIERRA WIRELESS SL6087, figura tomada de [5].	58
Figura 4. 5: Esquema de implementación para comunicación del microprocesador SL6087 con la tarjeta SIM, figura tomada de [5].	59
Figura 4. 6: Diagrama en ARES de la tarjeta SL6087.	59
Figura 4. 7: Tarjeta entrenadora HFK-001.	60
Figura 4. 8: Pines del PIC 16F877A.	62
Figura 4. 9: Página web mecaprojects.com.	63
Figura 4. 10: Botón “Parámetros del VDF”.	64
Figura 4. 11: Botón “Parámetros del motor”.	64
Figura 4. 12: Gráfica de velocidades.	65
Figura 4. 13: Archivos guardados en el servidor.	66
Figura 4. 14: Software Dreamweaver.	66
Figura 4. 15: Pseudocódigo de la página principal index.php.	67
Figura 4. 16.a: Pseudocódigo del programa principal compic.c.	70
Figura 4. 16.b: Pseudocódigo del programa principal compic.c.	70
Figura 4. 17: Pseudocódigo del programa compic.c, interrupción serial.	72
Figura 4. 18: Pseudocódigo del programa enviar.php.	73
Figura 4. 19: Partes del Variador LTE.	74
Figura 4. 20: Teclado, figura tomada de [2].	75
Figura 4. 21: Borneras de control, figura tomada de [2].	76
Figura 4. 22: Descripción de las borneras, figura tomada de [2].	76
Figura 5. 1: Sistema de telemetría y telecontrol.	83
Figura 5. 2: Grupo de datos de velocidades ingresadas, telecontrol.	83
Figura 5. 3: Grupo de datos de velocidades leídas desde el motor, telemetría.	84
Figura 5. 4: Tacómetro digital CEM utilizado.	86
Figura 5. 5: Envío de velocidad 800 rpm.	86
Figura 5. 6: Lectura de velocidad del motor con tacómetro.	87
Figura 5. 7: Caso de mantenimiento 1.	88
Figura 5. 8: Caso de mantenimiento 2.	89
Figura 5. 9: Caso de mantenimiento 3.	89
Figura B. 1: Nomenclatura IP.	112

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4. 1: Grupo de parámetros estándar, tomado de [2]..	78
Cuadro 4. 2.a: Grupo de parámetros ampliados, tomado de [2].	79
Cuadro 4. 2.b: Grupo de parámetros ampliados, tomado de [2].	79
Cuadro 4. 3: Entradas digitales, modo de borna ($P-12 = 0, 3 \text{ ó } 4$) , tomado de [2].	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 3. 1: Valores Específicos a diferentes cargas.....	46
Tabla 4. 1: Pines del integrado SL6087 para la comunicación con la SIM card, tomado de [5].	58
Tabla 6. 1: Costo total de los materiales utilizados.....	90
Tabla 6. 2: Costo del sistema de telemetría de la presente tesis.	91
Tabla 6. 3: Costo total considerando la instalación en la planta industrial.	91
Tabla 6. 4: Costo del equipo de telemetría de la empresa Siemens.	92
Tabla 6. 5: Análisis del retorno de inversión.	93
Tabla B. 1: Números IP referentes al símbolo 1.	112
Tabla B. 2: Números IP referentes al símbolo 2.	114

PRÓLOGO

En la presente tesis se realiza el diseño e implementación de un sistema de comunicación vía la tecnología GPRS (General Package Radio Service), entre la página web mecaprojects.com y un motor eléctrico de corriente alterna, con la finalidad de controlar la consigna de velocidad del motor ingresando el valor de las revoluciones por minuto en la página web, a las que se desea que gire el motor. Además se visualizará un registro ordenado y la gráfica de tendencia de valores de velocidades de giro del motor de los doce últimos valores obtenidos con la finalidad de brindar al usuario la posibilidad de analizar el comportamiento de la velocidad del motor y realizar un mantenimiento preventivo y predictivo del mismo. Para el desarrollo de lo anteriormente mencionado, se ha elaborado la presente tesis en 6 capítulos que a continuación se describen.

En el capítulo I, se realiza una introducción al trabajo de tesis, el cual incluye: antecedentes, planteamiento del problema, objetivos, alcances y limitaciones.

En el capítulo II se definen brevemente los términos “telemetría” y “telecontrol”, se describe el modelo de la arquitectura GPRS y sus componentes; además se brinda una introducción a la base de datos con PHP y MySQL para la administración de los datos que se almacenan en el servidor y se presenta el amplio uso de las aplicaciones de la telemetría en otras

áreas como domótica y transmisión de datos durante la perforación de pozos petroleros.

En el capítulo III se describen el principio físico del funcionamiento del motor eléctrico y las ecuaciones Torque - Velocidad del motor eléctrico de corriente alterna de rotor de jaula de ardilla detallando las características técnicas del motor utilizado y presentando gráficas reales obtenidas mediante pruebas del motor; además se describe al variador de frecuencia como elemento actuador para el control de consigna de velocidad del motor eléctrico de corriente alterna, mostrando además un diagrama de control y el detalle de las características técnicas del variador usado.

En el capítulo IV describimos el diseño del hardware y del software del sistema de telemetría y telecontrol, donde se diseñan los pseudocódigos de los programas realizados en lenguaje PHP-MySQL y del microcontrolador para establecer la comunicación remota mediante el protocolo TCP/IP(Transmission Control Protocol /Internet Protocol) y la tecnología GPRS, así como la parametrización del variador de frecuencia, y finalmente se detalla características de diseño de la tarjeta SL6087 y especificaciones técnicas del hardware utilizado.

En el capítulo V describimos la implementación física que se realizó, las características de la página web, el funcionamiento del sistema y las pruebas con el tacómetro para verificar que la velocidad de giro del motor es igual a la ingresada por el usuario en la interfaz.

En el capítulo VI mostramos los costos totales para el desarrollo del presente proyecto de tesis, una comparación de precios entre el equipo de

telecontrol de la empresa Siemens y el sistema de telemetría y telecontrol propuesto.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y el Anexo A, en el cual se muestran los programas en PHP-MySQL ingresados en el servidor, así como también el programa en código C del microcontrolador.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El acelerado avance de la electrónica a través de los años ha permitido mejorar los equipos y tecnologías a nivel mundial. Es el caso de la comunicación a distancia, que desde el año 1794 se realizan inventos que nos permite la comunicación entre personas que se encuentran en dos lugares separados por metros de tierra. En el mencionado año, el ingeniero Claude Chape desarrolló el telégrafo óptico, que consiste de una columna con 2 brazos movibles, configuradas por torres o estaciones espaciadas a intervalos regulares, donde las mencionadas torres disponían de ingenios móviles que podían adoptar diferentes posiciones y cada posición equivalía a un número o letra, de esta manera se puede transmitir un mensaje complejo de torre a torre o lo largo de grandes distancias.

Continuando con los avances, en la primera mitad del siglo XIX, se desarrolló el telégrafo eléctrico, la primera patente en 1837 cuando William Fothergill Cooke se asoció con el profesor de física Charles Wheatstone y patentaron un telégrafo de cinco conductores eléctricos que hacían mover otras cinco agujas imantadas, con las que se señala una de las 20 letras que tenía el aparato, así fundaron la Electric Telegraph Company en 1846.

El teléfono uno de los inventos más exitosos del siglo XIX, fueron varios los inventores que desarrollaron tecnologías relacionadas con la telefonía: Philipp Reis,

Graham Bell en 1876, es un teléfono que transmite notas eléctricas y sonidos sencillos.

En la actualidad, podemos tener acceso a internet en cualquier lugar que nos encontremos, enviar mensajes, archivos, documentos, correos electrónicos, hacer videollamadas, nos permite una comunicación global.

Empresas transnacionales como Siemens, General Electric, Allen Bradley que han desarrollado tecnologías en el rubro de la telemetría y telecontrol en la industria, monitoreando y controlando remotamente un proceso o un conjunto de procesos.

Líneas abajo mostraremos algunos equipos desarrollados por Siemens que supervisan plantas por medio del sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA). Daremos algunos detalles de los equipos de telecontrol Basic y equipos de telecontrol Professional.

- **Equipo de telecontrol Basic**

Este equipo supervisa y controla de forma óptima máquinas e instalaciones remotas que transfieren un volumen de datos pequeño, utiliza la tecnología GPRS (ver Figura 1.1). Este sistema de control remoto para aplicaciones sencillas agrupa la central con las subestaciones que se basan en controladores lógicos programables (PLC) marca Siemens, modelo SIMATIC S7-1200 y S7-200. Los campos de aplicación típicos son el control de instalaciones de tecnología de procesos, el funcionamiento optimizado de instalaciones municipales de tratamiento del agua, distribución de energía y supervisión del tráfico, así como el mantenimiento.



Figura 1. 1: Equipo de telecontrol Basic de la marca Siemens.

- **Equipo de telecontrol Professional**

El sistema de telecontrol Professional se encarga de supervisar y controlar las instalaciones de tecnología de procesos altamente ramificadas y pueden transmitir grandes cantidades de información. Este sistema de control remoto se utiliza, por ejemplo, en el abastecimiento de agua y desagüe, en la generación y distribución de energía o en el suministro de calor remoto.

La conexión en red de la central con las estaciones externas es posible tanto con tecnología cableada como con tecnología no cableada, según sean las necesidades. La comunicación se consigue mediante protocolos de transferencia acreditados o estandarizados. La Figura 1.2 muestra el equipo de telecontrol Profesional y en la pantalla de la computadora se puede observar un diseño SCADA más complejo que lo mostrado en la Figura 1.1.



Figura 1. 2: Equipo de telecontrol Professional.

Para aumentar la productividad de la instalación con mantenimiento remoto, Siemens ofrece el teleservicio, que es una opción para mantener las máquinas e instalaciones de una forma rentable, identificando de antemano todas las necesidades de mantenimiento y conservación, así como evitar paradas de la instalación. Si, a pesar de todo, se produjera un fallo, el mantenimiento remoto ayuda a localizar la avería y solucionarla.

Además, se eliminan los gastos de personal y desplazamiento relacionados. La nueva tendencia: el diagnóstico y mantenimiento remotos vía Internet consiguen una mayor disponibilidad del acoplamiento remoto y disponen de anchos de banda más elevados.

1.2 Planteamiento del problema

Grandes empresas de diferentes sectores como industrias de procesos lineales, minería, hidrocarburos, empresas automovilísticas, papeleras, textiles, de alimentos y bebidas tienen sistemas completamente automatizados (ver Figura 1.3), que cuentan con una cabina central de control, la cual constantemente monitorea el

proceso de producción, si existe alguna falla en el proceso, o emergencia en la seguridad, el ingeniero u operador puede detener el proceso o activar las alarmas pulsando solo un botón.



Figura 1. 3: Sistemas automatizados en la industria automovilística y papelera.

En la Figura 1.4 se muestran cabinas centrales desde donde se supervisa y controla los procesos automatizados, caso contrario el personal necesario para supervisar los diferentes procesos deberían estar físicamente presentes.

Hoy en día, las industrias que aspiran a convertirse en las más competitivas del mercado requieren controlar y supervisar desde los dispositivos como el celular, tablet, internet, computadora, otras tecnologías actuales.

Controlar un proceso en la industria desde un dispositivo con acceso a internet, nos permitiría tener acceso a la información del estado actual de la planta desde cualquier parte del mundo, así como los estados de la planta a lo largo del tiempo, de esta manera podemos conocer el comportamiento de los procesos, esto nos ayuda a prevenir incidentes como incendios que se reporta en fábricas y es informado por medio de noticieros, uno de estos desastres ocurrió en una fábrica textil ubicada en el distrito de Ate, como muestra la Figura 1.5.



Figura 1. 4: Monitoreo y control desde la planta.

La necesidad de monitorear una planta industrial desde cualquier lugar del mundo, así como realizar una parada de emergencia en cualquier momento, evitando daños tanto en el bienestar del personal como en la parte económica de la empresa, da hincapié a desarrollar una comunicación entre la planta industrial y el usuario que no dependa de cables, para así no tener distancias límites de llegada de la información.



Figura 1. 5: Incendio en Fábrica Textil-Ate.

No existe empresa peruana que desarrolle e implemente equipos de esta magnitud, con la presente tesis se quiere brindar los primeros pasos y con esto demostrar que en el Perú se puede hacer estos desarrollos, existen empresas peruanas que asesoran en el uso de estos equipos tanto en seguridad ciudadana, domótica, industria.

1.3 Objetivos

La tesis presenta objetivo general y específicos que se listan a continuación.

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de telemetría y telecontrol de la velocidad de un motor eléctrico usando la tecnología GPRS.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un prototipo del sistema de telemetría y telecontrol a partir del uso de la tecnología GPRS para la comunicación entre un módulo SL6087 y un servidor.
- Desarrollar un sistema SCADA que permita brindar información a los usuarios de la velocidad del motor mediante la publicación en la página web.
- Controlar la consigna de velocidad del motor eléctrico mediante la página web.
- Realizar el diseño del software para el prototipo del sistema de telemetría y telecontrol basado en la programación del servidor en lenguaje PHP-MySQL y del microcontrolador en lenguaje C.

- Utilizar el microcontrolador como unidad de conversión de la señal digital que se obtiene de la base de datos a una señal analógica.
- Configurar el variador de frecuencia para regular la velocidad del motor eléctrico de corriente alterna mediante la señal PWM que será leída por su puerto analógico.

1.4 Alcances

El presente proyecto de tesis está realizado para el monitoreo y control de la velocidad de un accionamiento vía un prototipo simulado con el motor eléctrico de corriente alterna y el variador de frecuencia, en la página web www.mecaprojects.com se visualiza un registro ordenado y la gráfica de tendencia de valores de velocidades de giro del motor tomadas cada 42 segundos durante tres minutos, además hay un recuadro en el cuál se puede ingresar la velocidad deseada del motor en revoluciones por minuto (RPM).

1.5 Limitaciones

Este proyecto de tesis es desarrollado para la lectura y control de la velocidad de un motor asíncrono. En una industria encontramos más de un accionamiento, sin embargo, el prototipo para el monitoreo de un accionamiento nos da la perspectiva para luego monitorear varios accionamientos a la vez.

La cantidad de datos que se pueda almacenar para el monitoreo de la velocidad, dependerá de la capacidad del servidor adquirido.

CAPÍTULO II

TELEMETRÍA Y TELECONTROL

2.1. Definiciones

Telemetría es la medición remota de magnitudes físicas, obtenidas desde un sensor y el posterior envío de la información hacia el usuario del sistema, en nuestro caso al servidor y será publicado en la web. Procede de las palabras griegas:

Tele: distancia

Metrón: medida

Telecontrol consiste en operar de forma remota niveles de flujo, parámetros eléctricos, activar actuadores, etc. Procede de las palabras

Tele: distancia

Control: controlar

Existen diferentes tecnologías de comunicaciones móviles para medir los datos requeridos y controlar los actuadores mediante internet, en este proyecto se usa la tecnología 2.5G o estándar de segunda generación y media o tecnología GPRS.

2.2. Tecnología GPRS

Hace 20 años, en los celulares se tenía sólo la tecnología GSM (Global System for Mobile) o también conocida como 2G o estándar de segunda generación, la velocidad de envío de datos con esta tecnología varía en el rango de

9.6 kbps, conectarse a internet sería lento y la descarga de información costosa, ya que en esta tecnología el pago de la factura es por tiempo de conexión, por este motivo se desarrolló la tecnología GPRS o 2.5G, estándar de segunda generación y media, que llega a velocidades desde 56 hasta 114 kbps y el cobro de factura es por cantidad de datos enviados. Como en el presente proyecto de tesis necesitamos acceso al servidor mediante internet, usamos la tecnología GPRS.

GPRS o General Packet Radio Services es una técnica de conmutación de paquetes, intercambio de datos en una red de computadoras, que es integrable con la arquitectura GSM, ya que está basada en ésta. Puede utilizar a la vez diversos canales, y aprovechar los "huecos" disponibles para las transmisiones de diversos usuarios. Por ello, no necesita un circuito dedicado para cada usuario conectado.

Es así que desaparece el concepto de tiempo de conexión que se usa en GSM, dejando paso al de cantidad de información transmitida.

2.2.1. Arquitectura GPRS

Se detalla a continuación la arquitectura base de la tecnología GPRS en la Figura 2.1, la cual está basada en la arquitectura GSM, y tiene algunos elementos adicionales.

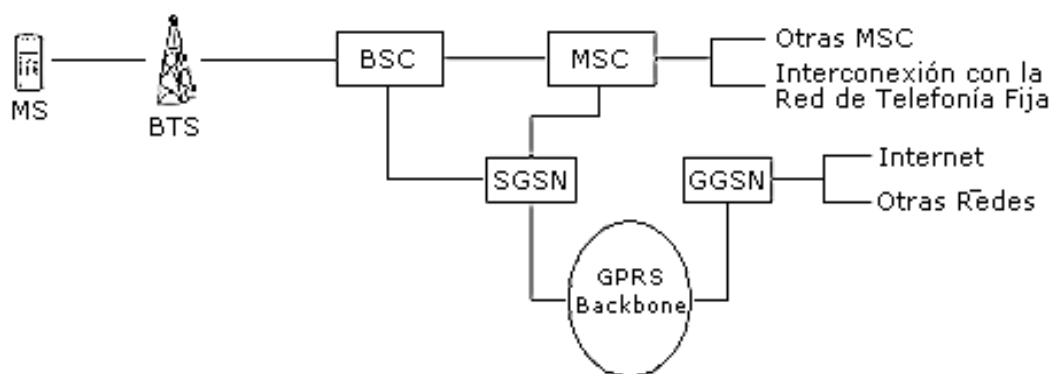


Figura 2. 1: Arquitectura base GPRS.

Los elementos de esta arquitectura base son: Mobile Station, Base Transceiver Station, Base Station Controller, Centro de conmutación móvil, Serving GPRS Support Node, Gateway GPRS Support Node, a continuación brindaremos una descripción de los elementos mencionados anteriormente.

2.2.1.1 Mobile Station

Mobile Station (MS) o Estación Móvil es el terminal utilizado por el usuario, está conformada por el ME (movil equipment) y la tarjeta SIM o Módulo de Identidad del Suscriptor (Subscriber Identity Module). La Figura 2.2 muestra al celular como Mobile Station.

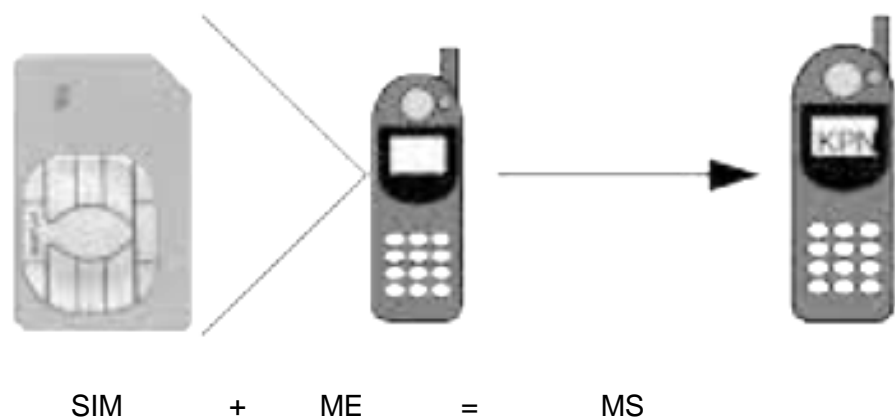


Figura 2. 2: Componentes del Mobile Station (MS).

2.2.1.2 Base Transceiver Station

Base Transceiver Station (BTS) se encarga de transmitir y recibir señales de radio (transceivers), está conformado por antenas, varios transmisores (TRX), amplificador de potencia, que amplifica la señal de recepción para transmitirlo a través de la antena, se muestra una torre BTS en la Figura 2.3.



Figura 2. 3: Torre BTS que mantiene la antena.

Grandes áreas geográficas son divididas en pequeñas celdas como muestra la Figura 2.4, cada celda posee un rango de 0.25 a 20 o más millas, típicos son los valores entre 0.5 y 5 millas.

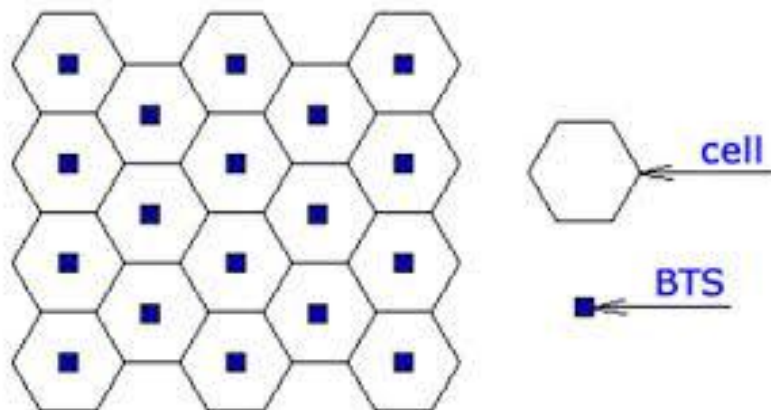


Figura 2. 4: Conjunto de celdas.

Cada celda posee su propio transmisor o BTS, el MS enviará información a la BTS respectiva, de acuerdo a la celda en que se encuentre, como muestra la Figura 2.5

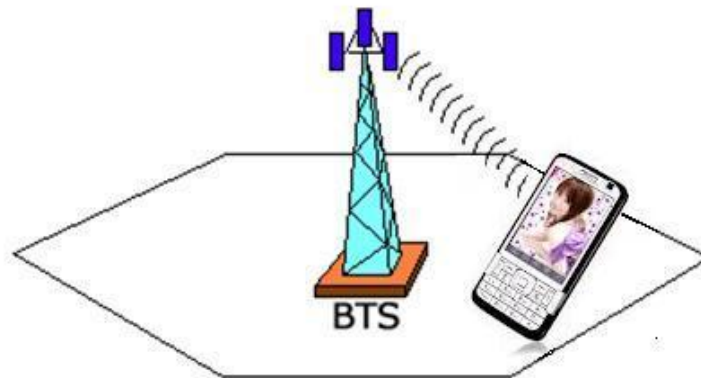


Figura 2. 5: Cada celda posee un BTS.

2.2.1.3 Base Station Controller

La Base Station Controller (BSC) se utiliza como controlador de los BTS, controlan desde 10 hasta cientos de BTSs y tienen como funciones principales el mantenimiento de la llamada. Desde el momento en que el usuario es móvil, éste puede estar cambiando con más o menos frecuencia de celda, el procedimiento por el que la llamada se mantiene sin que se produzcan interrupciones importantes se llama handover.

En GSM, durante una llamada, la estación móvil está continuamente "escuchando" a una serie de estaciones base así como informando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Esto permite a la BSC tomar la decisión de cuando iniciar un handover y a qué célula. La BSC controla a su vez la potencia de

trabajo de la estación móvil para minimizar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería.

2.2.1.4 Mobile Services Scwithching Center

La MSC es el corazón del sistema GSM. Es el centro de control de llamadas, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, gestiona las identidades de los usuarios, su ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios, control de los servicios suplementarios y del handover entre MSCs, así como la recogida de información necesaria para tarificación. También actúa de interfaz entre la red GSM y cualquier otra red pública o privada de telefonía o datos.

2.2.1.5 Serving GPRS Support Node

Serving GPRS Support Node (SGSN) o nodo de soporte de servicio GPRS, cuya principal responsabilidad es mantener la conexión lógica de los usuarios móviles cuando ellos pasan del área de cobertura de una célula para otra (handover), gestiona las direcciones de las terminales de celda.

El SGSN recibe y envía paquetes, identificando al usuario de modo a verificar si puede utilizar el servicio, manejar la facturación, cuidando siempre su identidad. Es el primer punto principal en el cual se autentifica un terminal móvil al momento de realizar una conexión de datos, se encarga también del manejo de la movilidad de los celulares, llevando un registro de localización del estos terminales,

así como el enrutamiento y transferencia de los paquetes de datos, nodo responsable de la entrega de paquetes al terminal móvil.

2.2.1.6 Gateway GPRS Support Node

Este nodo de soporte sirve como gateway entre la red GPRS y la red de internet u otras redes, GGSN proporciona una dirección IP a los terminales móviles durante toda la conexión.

El Gateway GPRS es la puerta de enlace o punto central de conexión hacia el exterior o la PDN (Red de Paquetes de Datos) de una red celular (red móvil), estas redes externas pueden ser Internet o una red corporativa. Son el punto de acceso para múltiples puntos de accesos llamados APN=Access Point Network.

GGSN se encarga de proveer la salida a la PDN dependiendo del APN, así como de la parte de facturación y aplicación de políticas y reglas de navegación.

2.2.2. Tarjeta SL6087

Esta tarjeta nos permite la comunicación móvil entre el accionamiento y el servidor. Está conformado por el integrado SIERRA WIRELESS AirPrime SL6087 mostrado en la Figura 2.6 tiene dos tipos de tecnología, GSM y GPRS, nos centraremos en la conmutación de datos por GPRS, la cual será utilizada en el presente proyecto de tesis, ya que debemos transmitir y recibir información desde y hacia el servidor mediante internet.

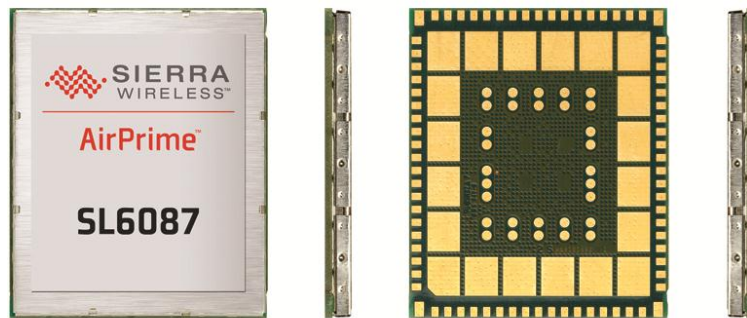


Figura 2. 6: Integrado SIERRA WIRELESS SL6087.

Las dimensiones físicas del integrado SL6087 son las siguientes:

Largo: 30.0 mm

Ancho: 25.0 mm

Grosor: 2.65 mm

Peso: 3.8 g

En la tarjeta SL6087 implementada con este integrado (ver Figura 2.7) se deberá colocar el chip SIM CARD.

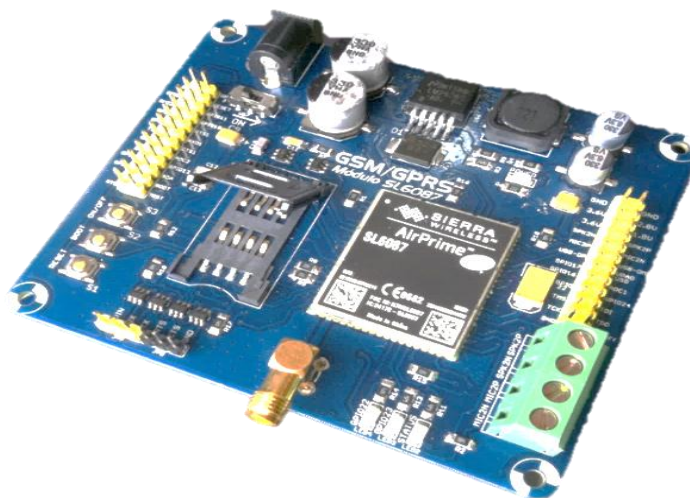


Figura 2. 7: Tarjeta SL6087.

2.3. Base de Datos

Dado que la información debe estar disponible en tiempo real, será publicada en una página web, necesitamos de un servidor para que en esta computadora se almacene la información que solicitamos del variador y ser almacenada en una base de datos y publicada en la web, en nuestro caso medición de la velocidad. La Figura 2.8 muestra como Internet cumple el papel de intercambiar datos entre el cliente y el servidor.



Figura 2. 8: Adquirir y enviar información hacia el servidor.

Se adquirió un dominio propio mecaprojects.com (ver Figura 2.9), ya que se tuvo dificultades para las primeras pruebas, en los inicios del proyecto se usó el subdominio karolyn.hostlemon.com que fue gratuito, en el cuál se tenía acceso a una base de datos, sin embargo se tuvo inconvenientes con el acceso al IP, ya que en este subdominio no se tenía acceso al dominio hostlemon.com y la tarjeta SL6087 no podía conectarse, al no identificar el IP.



Figura 2. 9: Dominio mecaprojects.com.

Este hosting fue adquirido en la empresa inkawebdesign que tiene servidores en Lima – Perú, la Figura 2.10 muestra la página web de esta empresa comercializadora.



Figura 2. 10: Empresa comercializadora de dominios inkawebdesign.

2.3.1 MySQL

My Structured Query Language o MySQL es un sistema de administración de bases de datos, es decir una colección estructurada de tablas que contienen datos. Esta puede ser desde una simple lista de compras a una galería de pinturas o el vasto volumen de información en una red corporativa. Para agregar, acceder y procesar datos guardados en un computador, se necesita un administrador como MySQL Server.

Dado que los computadores son muy buenos manejando grandes cantidades de información, los administradores de bases de datos juegan un papel central en computación, como aplicaciones independientes o como parte de otras aplicaciones. La Figura 2.11 muestra iconos como MySQL Bases de Datos, aquí se encuentran toda la información guardada en tablas, el icono phpMyAdmin, es una interfaz amigable de la base de datos. En el presente proyecto utilizamos los íconos que se encuentran en el lado izquierdo de la Figura 2.11.



Figura 2. 11: Base de datos.

2.3.2 PHP

PHP proviene de Hypertext Preprocessor, es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente

diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procese los datos.

Mediante este lenguaje se puede conectar y manipular bases de datos. MySQL es la base de datos más popular usada con PHP. La Figura 2.12 muestra cómo se relaciona el lenguaje PHP con la base de datos MySQL, cuando se solicita información. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesador de PHP que genera la página web resultante. PHP ha evolucionado por lo que ahora incluye también una interfaz de línea de comandos que puede ser usada en aplicaciones gráficas independientes. Puede ser usado en la mayoría de los servidores web al igual que en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin ningún costo.

Fue creado originalmente por Rasmus Lerdorf en 1995. Actualmente el lenguaje sigue siendo desarrollado con nuevas funciones por el grupo PHP.

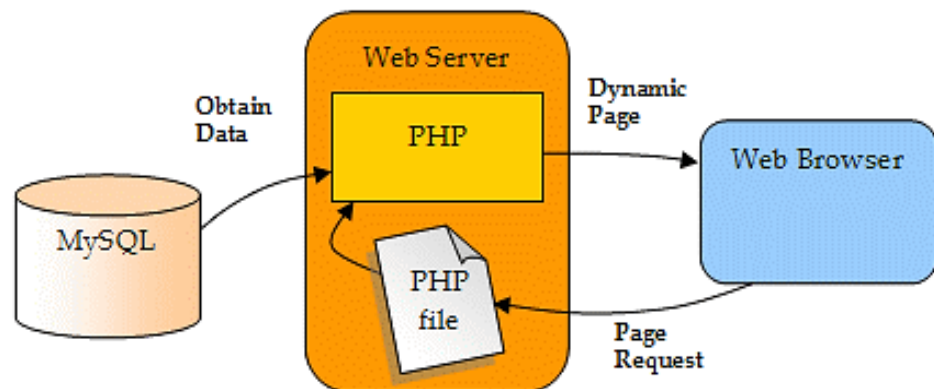


Figura 2. 12: Mediante PHP se obtiene datos de MySQL.

2.3.3 phpMyAdmin

Herramienta que ofrece una interfaz gráfica para la administración del servidor, como muestra la Figura 2.13 las bases de datos pueden ser creadas mediante esta herramienta que nos ayuda a gestionar, crear, modificar, borrar las bases de datos, tablas, campos, relaciones, índices, etc. Define usuarios y asigna permisos.

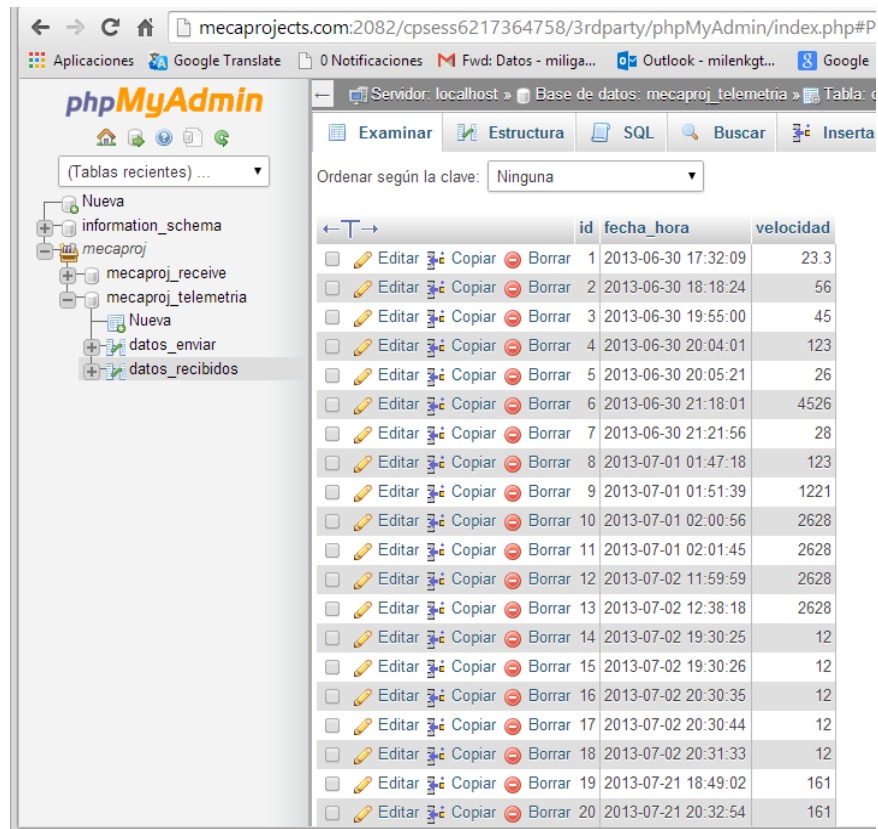


Figura 2. 13: Herramienta gráfica phpMyAdmin para administración de base de datos.

2.4 Aplicaciones de la telemetría

La telemetría se está aplicando en diversos sectores industriales, también en nuestra vida cotidiana, tal es el caso de la domótica o también llamadas casas

inteligentes, en seguridad ciudadana mediante videocámaras y acceso a internet podemos observar en tiempo real lo ocurrido.

La domótica integra el control y supervisión de los elementos existentes en un edificio de oficinas o en uno de viviendas o simplemente en cualquier hogar.

Existen varias empresas en Perú que venden e instalan productos de domótica con telemetría, para tener acceso a video cámaras, encendidos y apagados de llaves generales de la casa desde internet. Empresas como Bticino, PHILIPS tienen una gama de productos en domótica. Una de las tecnologías que ha desarrollado Bticino es My Home Web, una solución de servicios para tener siempre bajo control cada ambiente, aun estando lejos del hogar, conectándose a internet, como muestra la Figura 2.14.



Figura 2. 14: Monitoreo de tu casa desde el celular.

La empresa peruana e-Activa, tiene una página web, como se muestra en la Figura 2.15, que brinda el estudio, asesoría y ejecución del servicio integrado del uso de los equipos telemétricos en casa, de acuerdo a los gustos del usuario, utiliza productos de Bticino, PHILIPS.

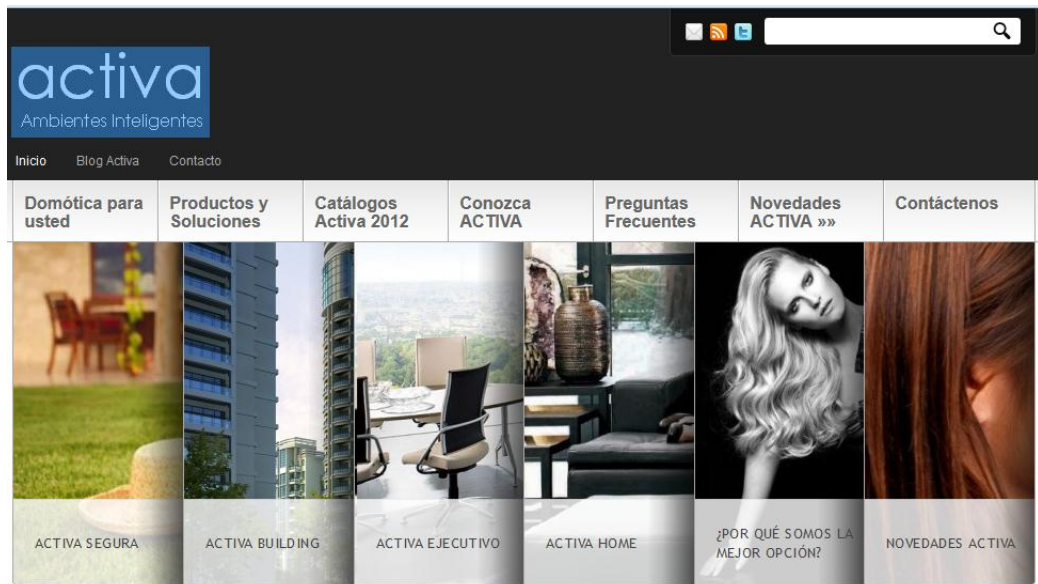


Figura 2. 15: Empresa e-Activa, brinda servicios en domótica.

En el direccionamiento de pozos petroleros también se utiliza la telemetría, la comunicación remota se realiza mediante pulsos de lodo, los cuales son recepcionados en la superficie mediante un sensor llamado SPT (Signal Pressure Transmitter), estos sensores envían en señal eléctrica la información hacia la consola, PC's, donde se procesarán los datos recibidos, las herramientas que transmiten estos datos de perforación son llamadas MWD (Measurement While Drilling), empresas como Schlumberger, Weatherford tienen esta tecnología desarrollada.

Como muestra la Figura 2.16, la herramienta MWD va dentro del BHA-BoreHole Assembly, que perforará el pozo petrolero, y así nos enviará datos en tiempo real de la perforación.

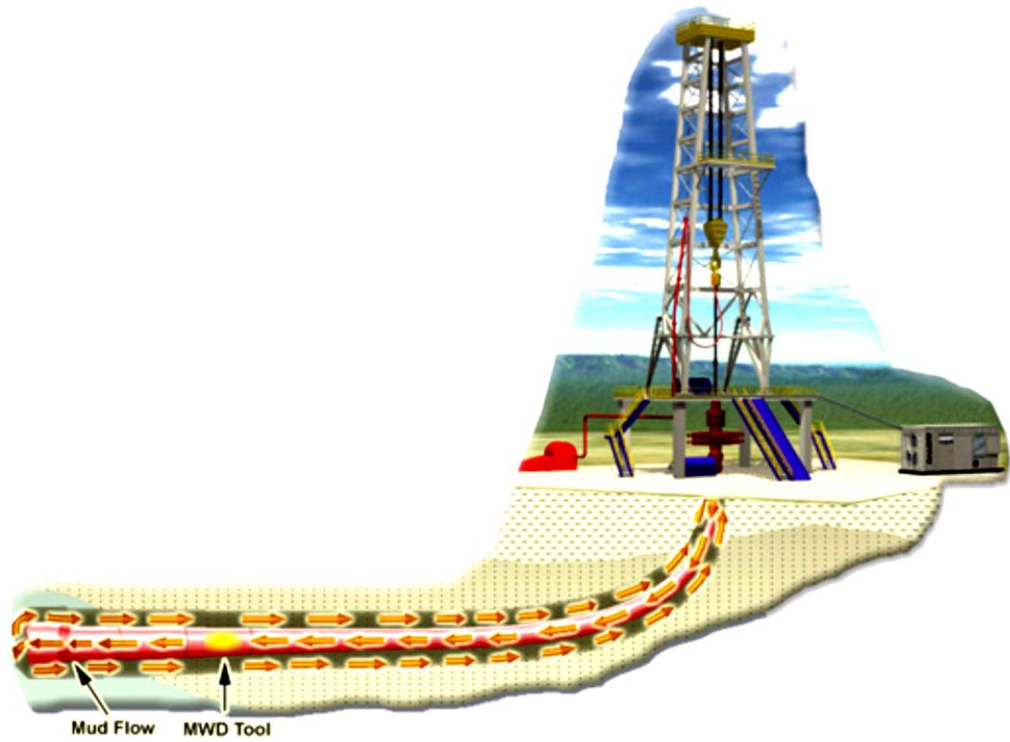


Figura 2. 16: Aplicación de la telemetría en pozos petroleros.

CAPITULO III

MOTORES ELÉCTRICOS Y VARIADORES DE FRECUENCIA

3.1 Introducción a los motores eléctricos

El motor eléctrico es una máquina que tiene la capacidad de producir movimiento mediante la transformación de la energía eléctrica en trabajo mecánico¹.

El motor eléctrico que utilizamos en este proyecto es alimentado con corriente alterna trifásica 220V, 60 Hz en la Figura 3.1 se muestran las partes principales del motor eléctrico.

Los motores eléctricos de corriente alterna AC son preferidos en las industrias para altas potencias debido a su bajo coste de mantenimiento y robustez, a diferencia de los motores eléctricos de corriente continua CC que tienen un alto coste de mantenimiento debido al desgaste de escobillas, los motores eléctricos CC son usados en bajas potencias orden de Watts, los cuáles podemos observar que se utilizan en juguetes, fajas para industrias farmacéuticas, impresoras, ventiladores de computadoras, etc. Los motores eléctricos AC son utilizados en industrias de lácteos, bebidas, minería, etc., o proyectos en los cuales la potencia requerida se encuentre en el orden de kW.

¹ Calloni, M. (2007). *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas*. Argentina: Nobuko

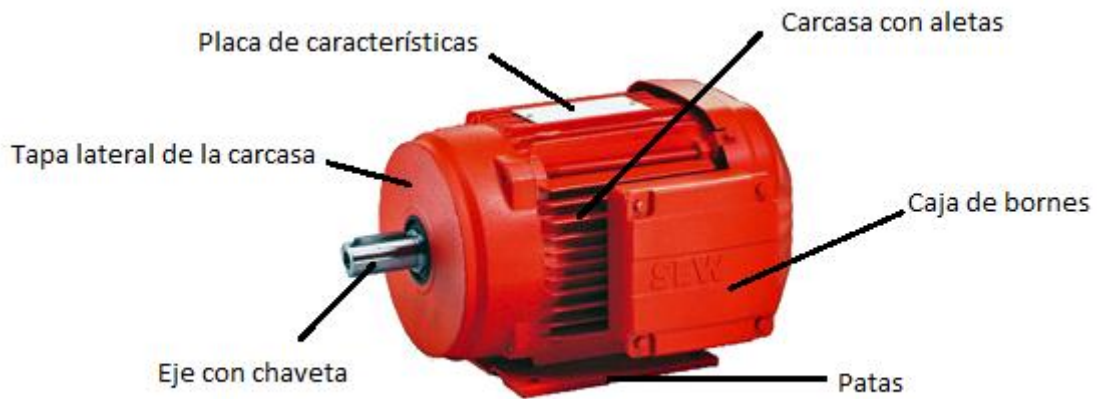


Figura 3. 1: Componentes de un motor eléctrico.

3.2 Principio de funcionamiento del motor eléctrico AC

El tipo de motor eléctrico que estamos usando es asíncrono, ya que la velocidad del motor no llega a ser igual a la velocidad de sincronismo debido a las pérdidas que se dan en el entrehierro, este tipo de motores constan de un estator y rotor, su rotor es de tipo jaula de ardilla, tienen un circuito magnético sin polos salientes estando ranurados tanto el estator como el rotor, los cuáles van a estar sometidos a la acción de campos magnéticos giratorios que darán lugar a pérdidas magnéticas.

El devanado inductor trifásico, suele estar colocado en el estator (ver Figura 3.2) y el devanado inducido en el rotor (ver Figura 3.3). Ambos devanados tienen el mismo número de polos ($2p$). Se denominará con subíndice 1 a las magnitudes del estator y con subíndice 2 a las del rotor. El devanado del rotor forma un circuito cerrado por el cual circulan corrientes que son inducidas por el campo magnético.

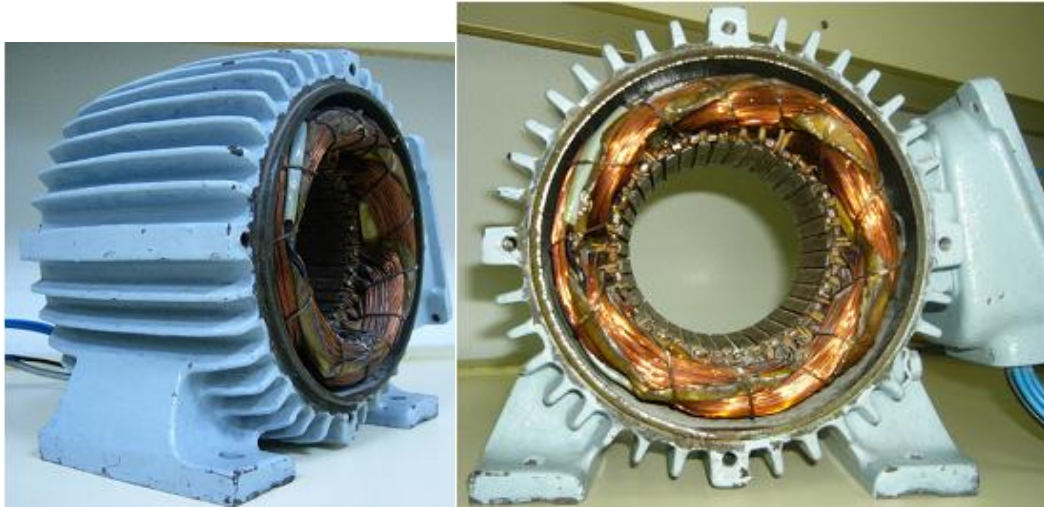


Figura 3. 2: Estator y carcasa.

Un rotor tipo jaula de ardilla está conformado por un devanado formado por unas barras alojadas en las ranuras del rotor que quedan unidas entre sí por sus dos extremos mediante sendos aros o anillos de cortocircuito. El número de fases de este devanado depende de su número de barras.

El bloque de chapas que forma el circuito magnético del rotor tiene un agujero central donde se coloca el eje o árbol de la máquina.



Figura 3. 3: Rotor de Jaula de Ardilla.

La corriente que fluye en el devanado del estator del motor produce un campo magnético giratorio cuya velocidad es conocida como velocidad de sincronismo n_1 , basado en el Teorema de Ferraris que se describe a continuación.

Teorema de Ferraris

Para un conjunto de bobinas separadas de forma equidistante, por las que circulan corrientes senoidales desfasadas en el tiempo, se crea un campo magnético senoidal que se desplaza en el espacio con una frecuencia igual a la que circula la corriente por las bobinas. Esta onda senoidal móvil es la que hace girar el rotor en los motores de corriente alterna AC.

Otro punto clave en la producción de un campo magnético giratorio es producir primero un campo magnético. Un motor de tres fases es esencialmente tres electroimanes 120° entre sí. Estos electroimanes son rollos de alambre envuelto alrededor de un pedazo de núcleo metálico como muestra la Figura 3.4.

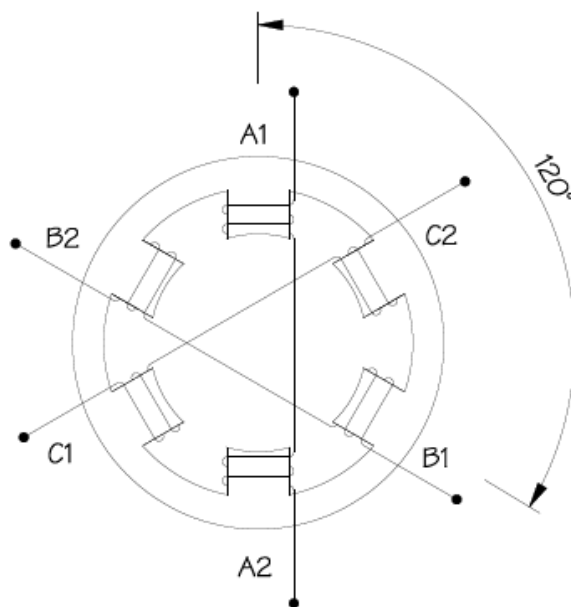


Figura 3. 4: Sección exterior de un motor AC conocida como el estator.

Los tres electroimanes son de A1 a A2, B1 a B2, y C1 a C2. Para que un motor tenga un giro del campo magnético alrededor de la sección del estator exterior, se debe conectar las tensiones correctas a los tres electroimanes en la Figura 3.4. Si el motor está correctamente conectado a un suministro trifásico estándar, entonces un campo magnético giratorio se desarrollará en el estator.

La Figura 3.5 muestra las ondas de voltaje de una fuente de alimentación AC de tres fases. Tres fuentes de alimentación monofásicas son desplazadas de los otros devanados por 120 grados eléctricos. Esto permite que la tensión de la fase A para llegar a su valor máximo positivo por delante de las fases B y C. Una fracción de segundo más tarde, aumenta la tensión de la fase B, a sus valores máximos positivos como la fase A la tensión se reducirá y la Fase C aumenta de tensión positivos. La fase C ahora alcanza su valor máximo positivo.

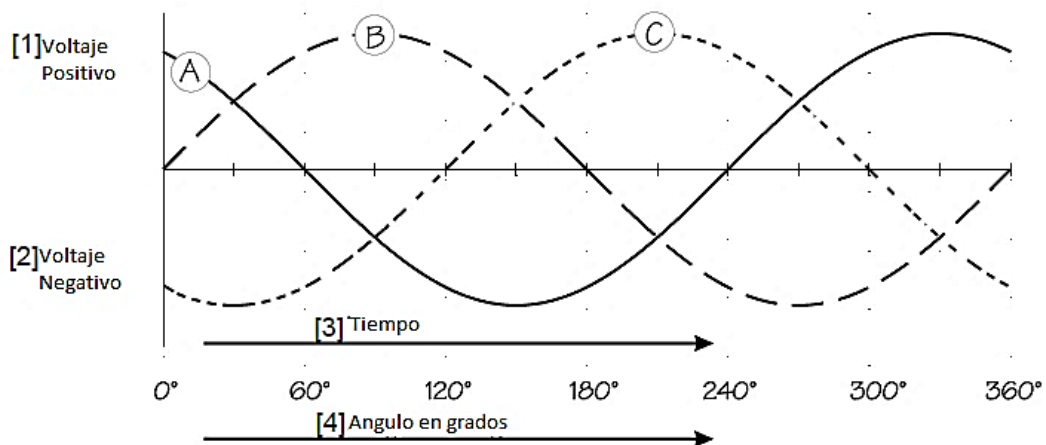


Figura 3. 5: Voltaje trifásico de la red de alimentación.

Cuando el voltaje trifásico que se muestra en la Figura 3.5 está conectado al estator en la Figura 3.4.

En la Figura 3.5, la corriente en tiempo ① es positiva en la fase A. Esto produce un polo norte magnético en A1 y un polo sur magnético en A2. La intensidad en la fase B es cero, por lo que no se produce el campo magnético. En la fase C la corriente es negativa, por lo que el polo norte magnético está en el C2 y el polo magnético sur está en C1. Dado que la cantidad de corriente en la fase A es igual a la cantidad de corriente en la fase C, los campos magnéticos creados por cada uno serán iguales. El campo magnético total se muestra por la flecha que apunta a medio camino entre A2 y C1.

La Figura 3.6 muestra la ubicación del campo magnético de un corto período de tiempo más tarde en el tiempo ②. El campo magnético está girando claramente.

La corriente en la fase A es cero, por lo que la fase A no produce ningún campo magnético. Fase B tiene corriente positiva por lo que hay un polo magnético norte en B1 y un polo sur magnético en B2. Fase C sigue siendo corriente negativa, por lo que todavía tiene un polo sur en C1 y un polo norte en el C2. La flecha muestra el campo magnético total. La flecha del campo magnético ha girado 60° en el sentido de su ubicación en ① tiempo.

En el campo magnético en el momento ③, la fase A tiene corriente negativa que causa un polo sur en A1 y un polo norte en A2. Fase B tiene una corriente positiva que causa un polo norte en B1 y un polo sur en B2. Fase C tiene corriente cero y no produce ningún campo magnético. El campo magnético total ha girado otros 60° hacia la derecha en comparación con el tiempo ②. El campo magnético está girando claramente.

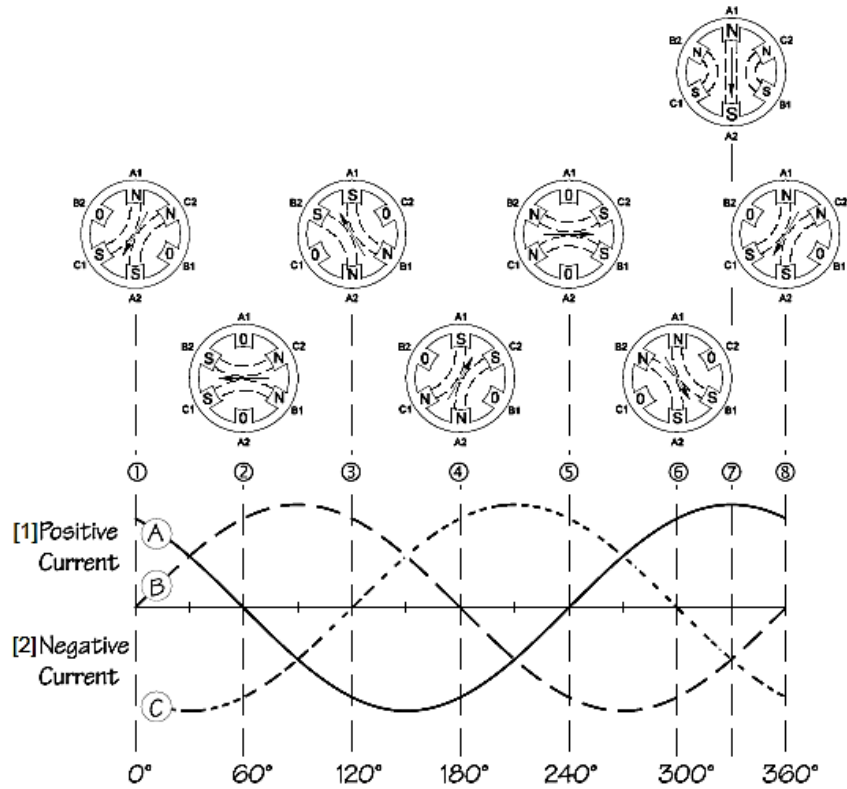


Figura 3. 6: Ubicación del campo magnético.

Según lo anterior, con el Teorema de Ferraris llegamos a la Ecuación 3.1, que nos indica la velocidad de sincronismo del motor.

Un bobinado cilíndrico de p pares de polos, polifásico recorrido por corrientes polifásicas de frecuencia f , crea un campo magnético en el entrehierro que gira respecto al bobinado a velocidad a :

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \tag{3.1}$$

Donde:

n_1 : Velocidad del campo giratorio o velocidad de sincronismo [rpm]

Ecuaciones del motor

Ya que el rotor gira a una velocidad diferente de la del campo magnético del estator, sus bobinas están sometidas a la acción de un flujo magnético variable y se inducen varias f.e.m. (fuerza electromotriz) debido a la Ley de Faraday que establece que la fuerza electromotriz inducida en un circuito es igual a menos la derivada del flujo magnético con respecto del tiempo.

Esto indica que la magnitud de la tensión inducida es proporcional a la variación del flujo magnético, como indica la ecuación 3.2.

$$\xi = -\frac{d\phi}{dt} \quad (3.2)$$

Donde:

ϕ : Flujo magnético expresado en weber

t : Tiempo en segundos

(-): Signo negativo debido a la ley de Lenz

La tensión inducida en el rotor o varias f.e.m. hace que la corriente fluya en los devanados del rotor, ya que el rotor se encuentra en cortocircuito, el rotor también produce su propio campo magnético.

Estas corrientes en el rotor al interactuar con el campo magnético del estator originan un par en el eje de la máquina, este par trata que el rotor alcance la misma velocidad que el campo magnético giratorio, ya que las variaciones de flujo en las bobinas del rotor son debidas al movimiento relativo del campo giratorio con respecto al rotor, pero sin conseguirlo nunca, ya que entonces no habría corrientes en el rotor ni, por consiguiente, par en el eje de la máquina.

La velocidad de estas máquinas es, pues, ligeramente distinta de la de sincronismo, de ahí su nombre de asíncronas. Por otra parte, las corrientes que

circulan por el rotor aparecen por inducción electromagnética, de ahí su otro nombre de máquinas de inducción.

Se denomina deslizamiento s a la siguiente relación:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1} \quad (3.3)$$

Donde

n_1 : Velocidad de sincronismo medida en r.p.m.

Ω_1 : Velocidad de sincronismo medida en rad/s

n : Velocidad de giro del rotor medida en r.p.m.

Ω : Velocidad de giro del rotor medida en rad/s

Los conductores del devanado rotórico ven girar el campo originado por el bobinado del estator con una velocidad relativa n_2

$$n_2 = n_1 - n = s \cdot n_1 \quad (3.4)$$

En consecuencia, como este campo magnético tiene p pares de polos (para nuestro caso $p=2$), sucede que un conductor del rotor en un minuto ha visto pasar frente a él $n_2 \cdot p$ ciclos magnéticos (cada par de polos constituye un ciclo de la onda del campo magnético en el entrehierro, la cual se va repitiendo en el siguiente par de polos y así sucesivamente en todos los pares de polos de la máquina). Cada ciclo magnético induce un periodo de la onda temporal de f.e.m. al girar por delante de un conductor del rotor. Esto hace que en las fases del rotor se induzcan unas f.e.m.s cuya frecuencia es de $n_2 \cdot p$ ciclos por minuto; es decir, una frecuencia f_2 que medida en Hz (ciclos por segundo) vale:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{(s n_1) p}{60} = s \left(\frac{n_1 p}{60} \right) \quad (3.5)$$

Luego, teniendo en cuenta la ecuación 3.1 se deduce que

$$f_2 = s f_1 \quad (3.6)$$

El deslizamiento s de una máquina asíncrona en condiciones normales de funcionamiento es pequeño; esto significa que la frecuencia en el rotor f_2 es pequeña, muy inferior a la del estator f_1 .

Las f.e.m. inducidas sobre las fases del rotor provocan la circulación de corrientes cuya frecuencia también es f_2 . Estas corrientes al circular por las fases del rotor originan, en virtud del Teorema de Ferraris, otro campo giratorio cuya velocidad relativa con respecto al rotor se calcula mediante una expresión similar a la ecuación 3.1

$$\frac{60 f_2}{p} = \frac{60 (s f_1)}{p} = s \frac{60 f_1}{p} = s n_1 = n_1 - n = n_2 \quad (3.7)$$

Su velocidad absoluta se obtiene teniendo en cuenta que el rotor está girando con una velocidad n :

$$n_2 + n = (n_1 - n) + n = n_1 \quad (3.8)$$

Luego, el campo magnético del rotor gira a la misma velocidad de sincronismo que el del estator.

Al final, se obtiene que el campo magnético total en el entrehierro, debido al efecto conjunto de las corrientes del estator y del rotor, gira a la velocidad de sincronismo n_1 .

El hecho de que los campos magnéticos del estator y rotor giren a la misma velocidad es importante, porque así la posición relativa de ambos campos no varía con el tiempo y la máquina produce, entonces, un par constante en el eje (sin pulsaciones en cada vuelta). Esta igualdad de velocidades es debida a que ambos devanados, el del estator y el del rotor, tienen el mismo número de polos.

Para las siguientes ecuaciones consideremos las siguientes variables:

ξ_{b1} : Factor de bobinado en el estator

ξ_{b2} : Factor de bobinado en el rotor

El factor de bobinado influye en la magnitud final que adopta el campo magnético, es un coeficiente que depende de cómo está devanada la fase, es decir depende del número de ranuras donde se alojan las bobinas de la fase, de la separación entre las ranuras, del paso del bobinas, etc.

m_1 : Número de fases en el estator =3

m_2 : Número de fases en el rotor =3

N_1 : Número de espiras del estator

N_2 : Número de espiras del rotor

Se denomina ϕ_M al flujo por polo debido al campo magnético común que existe en el entrehierro originado por la acción conjunta de los devanados del estator y del rotor. Este campo magnético gira a la velocidad de sincronismo n_1 .

El giro de este campo produce sobre las fases del estator unas f.e.m. de rotación cuyo valor eficaz se va a denominar E_1 y cuya frecuencia es igual a la de las corrientes del estator f_1 . Teniendo que:

$$E_1 = 4.44 \xi_{b1} f_1 N_1 \phi_M \quad (3.9)$$

Análogamente este campo magnético giratorio induce sobre el devanado del rotor unas f.e.m. de rotación cuyo valor eficaz se va a denominar E_{2S} y cuya frecuencia es f_2 . Se tiene que

$$E_{2S} = 4.44 \xi_{b2} f_2 N_2 \phi_M \quad (3.10)$$

En el caso de que el rotor estuviera parado, de acuerdo con las Ecuaciones 3.3 y 3.6 se tiene que:

$$n = 0 \rightarrow s = 1 \rightarrow f_2 = f_1 \quad (3.11)$$

Sea E_2 el valor eficaz de las f.e.m. inducidas sobre las fases del rotor cuando se encuentra parado. Se cumplirá que

$$E_2 = 4.44 \xi_{b2} f_1 N_2 \phi_M \quad (3.12)$$

Comparando las expresiones (3.10) y (3.12) y teniendo en cuenta la relación (3.6) se deduce que:

$$E_{2s} = s E_2 \quad (3.13)$$

Además del campo común existe el campo magnético de dispersión o de fugas, que da lugar a sendos enlaces de flujo de dispersión en las fases del estator y del rotor.

En la Figura 3.7 se tiene un esquema por fase de un motor asíncrono, hace una representación del estator y rotor mediante circuitos eléctricos, para realizar un mejor análisis de las pérdidas y potencia transferida, se puede considerar que sus efectos se pueden analizar utilizando para cada fase unas autoinductancias constantes, L_{d1} en el estator y L_{d2} en el rotor.

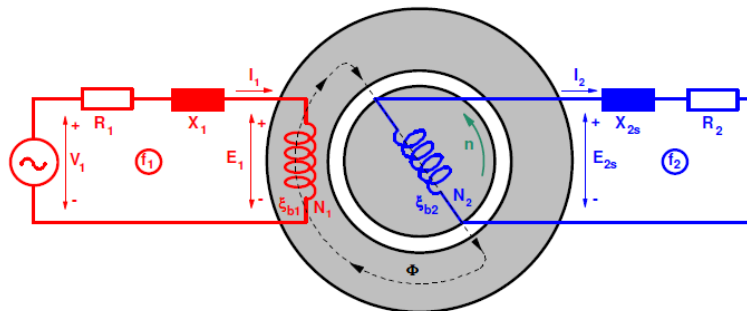


Figura 3. 7: Esquema por fase de un motor asíncrono polifásico.

El circuito en rojo hace referencia al estator que tiene como elementos V_1 : voltaje alterno que alimenta el motor, R_1 : resistencia de una fase de la bobina en el estator, X_1 : reactancia, E_1 : f.e.m. inducida por el flujo magnético ϕ_M en el estator. El circuito en azul de la izquierda hace referencia al rotor, X_{2s} : reactancia, R_2 : resistencia de una fase de la bobina del rotor, E_{2s} : f.e.m. inducida por el flujo magnético ϕ_M en el estator. Las reactancias debidas a estas autoinductancias son:
En el estator:

$$X_1 = 2\pi f_1 L d_1 \quad (3.14)$$

En el rotor:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L d_2 \quad (3.15)$$

Circuito Equivalente Exacto

Para facilitar el análisis de un motor asíncrono, se sustituye su rotor por otro equivalente, obteniendo así el circuito equivalente exacto del motor como se muestra en la Figura 3.8. El flujo de potencia a través del entrehierro y el campo magnético no cambiarán y, por lo tanto, el flujo por polo ϕ_M seguirá conservando el mismo valor.

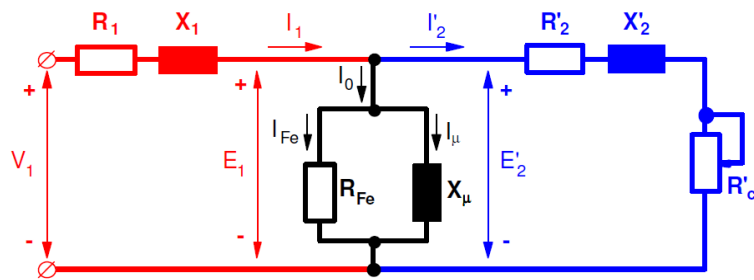


Figura 3. 8: Circuito equivalente exacto de un motor reducido al estator.

Se definen las siguientes variables:

I_0 : Corriente en vacío

I_{Fe} : Corriente debido a los fenómenos de histéresis y de las corrientes de Folcault.

$$E'_2 = E_1 \quad (3.16)$$

$$m_i = \frac{m_1 N_1 \xi_{b1}}{m_2 N_2 \xi_{b2}} \quad (3.17)$$

$$m_v = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\xi_{b1} N_1}{\xi_{b2} N_2} \quad (3.18)$$

$$R'_2 = m_v m_i R_2 \quad (3.19)$$

$$X'_2 = m_v m_i X_2 \quad (3.20)$$

Resistencia de carga reducida al estator

$$R'_c = R'_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \quad (3.21)$$

Para realizar cálculos más sencillos se simplifica el circuito equivalente exacto al circuito equivalente aproximado como se muestra en la Figura 3.9, los parámetros de este circuito se pueden obtener experimentalmente mediante los ensayos de vacío y de cortocircuito.

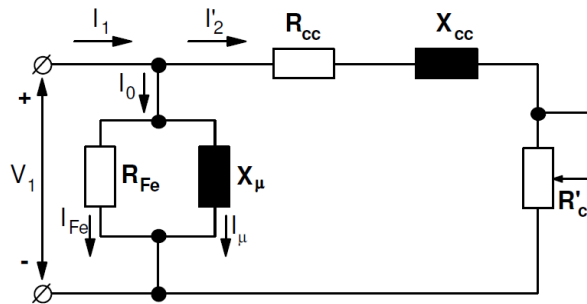


Figura 3. 9: Circuito equivalente aproximado de un motor asíncrono trifásico.

$$R_{cc} = R_1 + R'_2 \quad (3.22)$$

$$X_{cc} = X_1 + X'_2 \quad (3.23)$$

Del circuito equivalente aproximado de la Figura 3.9.

$$I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{cc} + R'_c)^2 + X_{cc}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{cc}^2}} \quad (3.24)$$

Par de Rotación

La potencia mecánica interna P_{mi} es la potencia que llega al eje de la máquina como muestra la Figura 3.10, esta es la potencia que en el circuito equivalente se consume en la resistencia de carga R'_c . Luego tenemos:

$$P_{mi} = m_1 R'_c I'^2_2 = m_1 R'_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) I'^2_2 \quad (3.25)$$

Siendo $m_1 = \text{número de fases del estator} = 3$

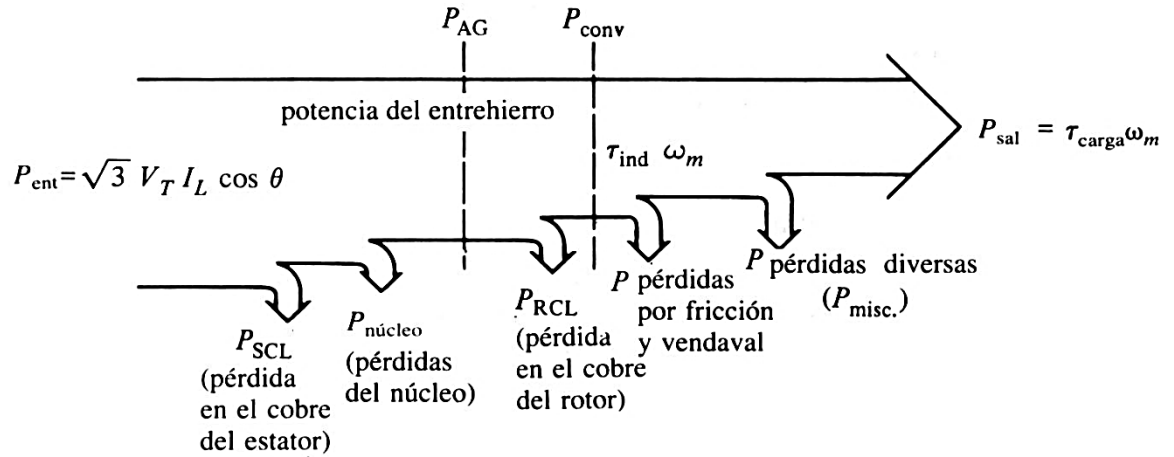


Figura 3. 10: Pérdidas en el motor de inducción.

Pérdidas en el cobre del devanado del estator, dado por efecto Joule en la resistencia R_1 .

$$P_{cu1} = m_1 R_1 I_1^2 \quad (3.26)$$

Pérdidas en el hierro o pérdidas magnéticas, debidas al fenómeno de histéresis y a las corrientes de Foucault.

$$P_{Fe} = m_1 E_1 I_{Fe} \quad (3.27)$$

Pérdidas por efecto Joule en el rotor.

$$P_{cu2} = m_2 R_2 I_2^2 \quad (3.28)$$

El par interno M se obtiene de la potencia mecánica interna

$$M = \frac{P_{mi}}{\Omega} = \frac{P_{mi}}{\frac{2\pi}{60} n} \quad (3.29)$$

Combinando las expresiones (3.2), (3.23), (3.25) y (3.29) se obtiene la siguiente expresión del par de un motor asíncrono polifásico

$$M = \frac{m_1 \frac{R'_2}{s}}{\frac{2\pi}{60} n_1} \frac{V_1^2}{\left(\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right)} \quad (3.30)$$

Esta expresión indica que, cuando la máquina funciona a tensión y frecuencia en el estator constantes, el par sólo varía en función del deslizamiento s ; es decir, el par varía solamente con la velocidad de giro del rotor, la Figura 3.11 muestra la gráfica Torque vs Deslizamiento teniendo en cuenta la ecuación 3.30.

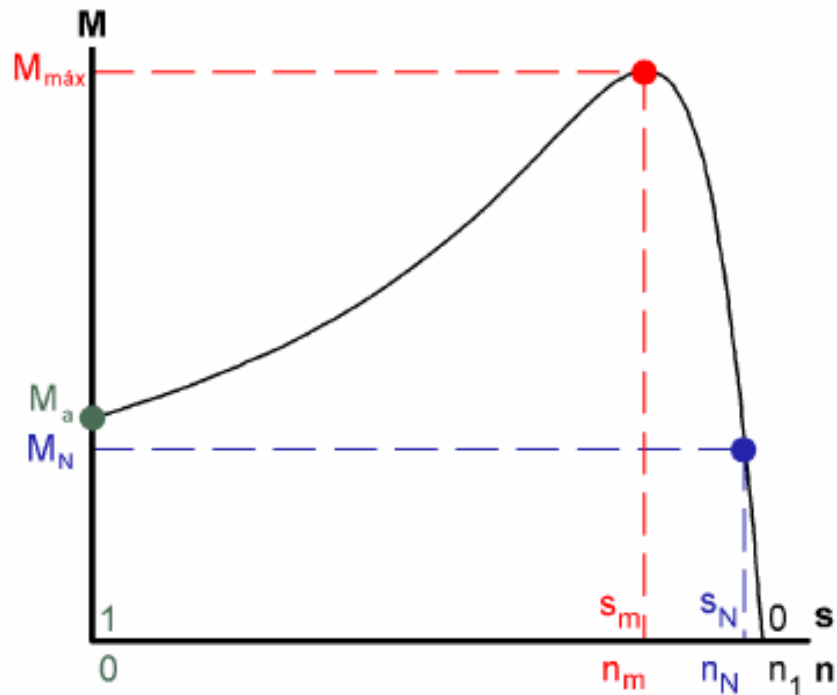


Figura 3. 11: Curva Torque vs Deslizamiento.

Donde:

M_N : Torque Nominal

3.3 Características Técnicas del motor utilizado

El motor que utilizamos en el proyecto es un motor asíncrono tipo jaula de ardilla de las siguientes características técnicas, la Figura 3.12 nos muestra la nomenclatura del motor y el significado de cada grupo de letras y números es definido a continuación.

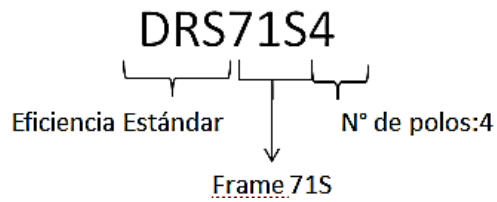


Figura 3. 12: Nomenclatura del motor utilizado.

Donde:

Potencia: 0.37 kW

Frecuencia: 60 Hz

FRAME: 71S, nos indica las medidas de las dimensiones del motor, mostradas en la Figura 3.13. /FF nos indica que el motor es bridado, /FI nos indica que el motor lleva patas, como es nuestro caso y es designado en la placa de la Figura 3.14. Por tanto la medida del motor será: LB=196.

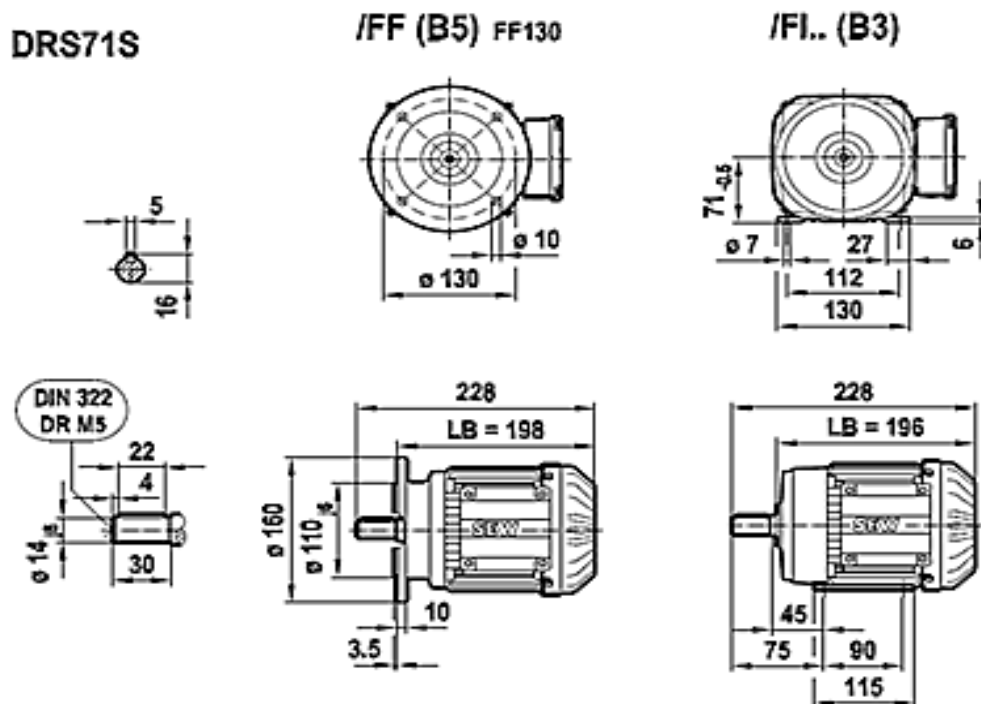


Figura 3. 13: Dimensiones FRAME 71S.

Además:

Velocidad del Rotor: 1700min-1

Torque: 2.08Nm

Voltaje: 220V

Estos valores son proporcionados en la placa de característica del motor, como se visualiza en la Figura 3.14.

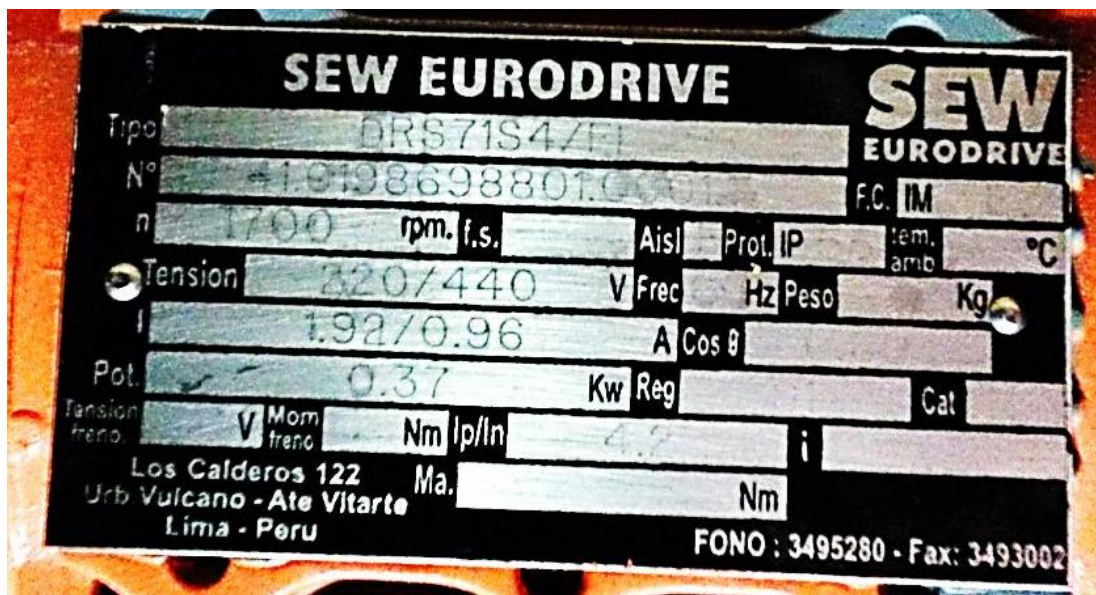


Figura 3. 14: Placa de características.

Las Figuras 3.15 y 3.16 son curvas reales del motor utilizado. La curva de la Figura 3.15 graficada con la relación de la ecuación 3.30 es similar a la curva de la Figura 3.16, que es la curva real, ya que el deslizamiento y la velocidad del rotor tienen la relación mostrada en la ecuación 3.3.

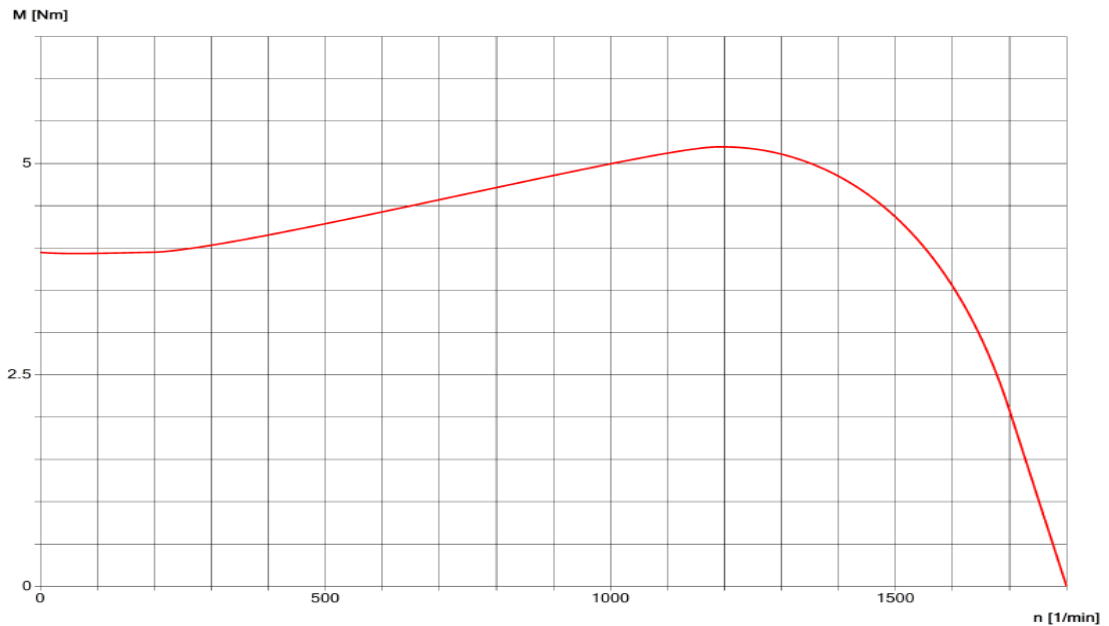


Figura 3. 15: Curva Torque – Velocidad.

En la Tabla 3.1 se muestran los valores de corriente, velocidad del rotor, factor de potencia, eficiencia, potencia de entrada para distintas cargas desde 25% hasta 125%, estos datos son graficados en la Figura 3.12. Se observa que a mayor carga la corriente aumenta, la velocidad en disminuye, el factor de potencia aumenta, la eficiencia aumenta hasta llegar a 100% de carga y luego comienza a decrecer, la eficiencia máxima es 72.3% para este motor, y a mayor carga siempre la potencia de entrada se incrementa hasta una carga máxima de 125%, luego de esta carga ya los aislantes del motor sufrirían daños.

Perc. rated load	25%	50%	75%	100%	125%
Current [A]	1.51//0.87	1.57//0.91	1.71//0.99	1.92//1.11	2.25//1.30
Speed min ⁻¹	1777	1754	1729	1700	1662
Power factor	0.31	0.46	0.59	0.69	0.76
Efficiency A* [%]	52,7	66,6	71,3	72,3	71,0
input power [kW]	0,176	0,278	0,389	0,512	0,651

A* IEC 60034-2-1 Ed.1 (2007)/PLL from Residual Losses

Tabla 3. 1: Valores Específicos a diferentes cargas.

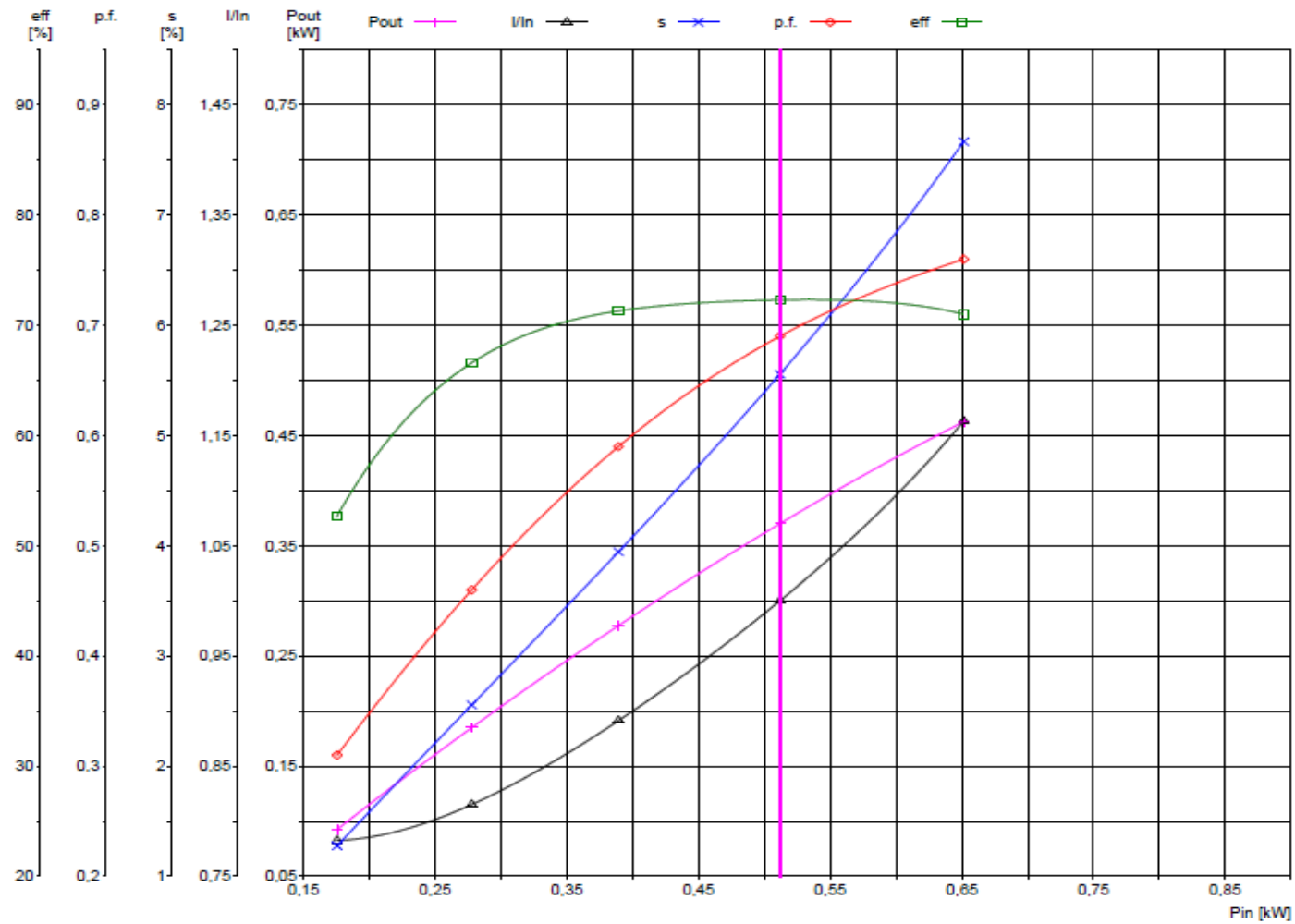


Figura 3. 16: Curvas eficiencia, deslizamiento, I/In, potencia de salida vs potencia de entrada.

3.4 Introducción a los variadores de frecuencia

Cuando se necesita velocidades específicas mucho menores a la velocidad nominal asíncrona del motor para determinadas aplicaciones, los motores CC de corriente continua son susceptibles a estos cambios, manteniendo el torque constante. Sin embargo en los motores de corriente alterna, si se varía la velocidad, no se mantiene el torque como se muestra en la ecuación 3.30.

Existen diversas formas de obtener diferentes velocidades en un motor de corriente alterna, una es haciendo cambios internos en el motor, por ejemplo hacer el número de polos variable, es el caso de los motores Dahlander, los cuales nos proporcionan velocidades específicas, mas no un rango, ,la otra alternativa es variar la frecuencia de alimentación del voltaje, por ello surge la necesidad del uso de los controladores llamados Variadores de Frecuencia (VDF) que han venido a resolver el problema de poder usar los motores en un rango de velocidades variables (ver Figura 3.17), sin disminuir mayormente su eficiencia y torque.



Figura 3. 17: Variador de Frecuencia de la marca SEW.

3.5 Principio de funcionamiento de los VDF

Los variadores de frecuencia entregan voltaje y frecuencia variable conforme a la necesidad del motor y la carga conectada. Para tal efecto, toma la alimentación eléctrica de la red, la cual tiene voltaje y frecuencia fija, la transforma en un voltaje continuo mediante el rectificador y filtro que se encuentra dentro del controlador, luego lo transforma en voltaje alterno trifásico de magnitud y frecuencia variable por medio de un puente inversor conformado por IGBTs y controlado por PWM's. La Figura 3.18 muestra la configuración de la electrónica y como va cambiando el voltaje de alimentación luego de pasar cada etapa.

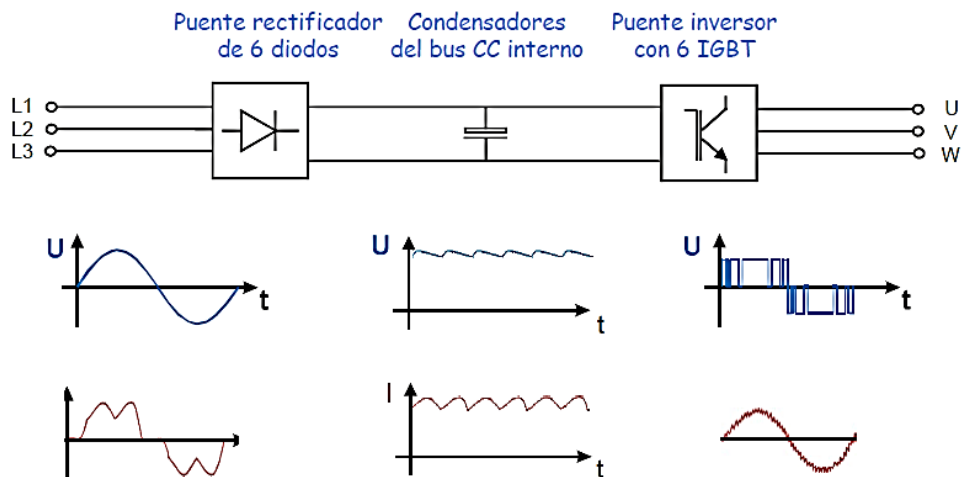


Figura 3. 18: Etapas de Potencia del Variador.

Contando sólo con la última etapa que son los inversores es posible también alimentar estos motores a partir de un suministro de corriente continua, por ejemplo baterías.

También se puede contar con un rectificador monofásico de modo de poder alimentar un motor trifásico a partir de una fuente de alimentación monofásica, como es nuestro caso, manejamos 220VAC de alimentación de la red de casa monofásico.

La forma de onda del voltaje de salida en estricto rigor no es una senoide perfecta, toda vez que entregan una señal de pulso modulada a partir de una frecuencia de conmutación alta. En todo caso con los equipos actuales, donde podemos encontrar frecuencias de conmutación del orden de los 50 KHz, los contenidos de armónica son bastante bajos, por lo que agregando filtros pasivos cumplen las exigencias normativas impuestas por muchos países.

La relación frecuencia voltaje es configurada por el usuario según la aplicación, siendo las más usuales una relación lineal, la cual produce un torque constante en todo el rango de velocidad, o una relación cuadrática, con la que el torque disminuye a medida que baja la velocidad.

En definitiva, conforme a la consigna de frecuencia que se le otorgue al equipo, la cual puede ser un comando en el mismo equipo o una señal externa, se entregará al motor un voltaje de magnitud según la relación V/F configurada y de frecuencia conforme a la consigna. Esto hará que el motor gire a una velocidad proporcional a la frecuencia.

Los equipos que se fabrican en la actualidad aprovechan de incorporar varias funciones adicionales, como las protecciones al motor y funciones de control para distintas aplicaciones, como controles PID, controles lógicos y secuenciales. Para permitir estas funciones encontraremos en estos dispositivos una gran cantidad de terminales de control para conectar entradas, salidas digitales y análogas, puertas de comunicación de datos y una gran cantidad de parámetros de configuración. Además existen diferentes métodos de control en los variadores como el control escalar y vectorial, con y sin retroalimentación de la medición de la velocidad mediante un encoder o resolver. En el variador modelo MCLTE, se usa el control escalar para la variación de la velocidad.

La técnica de control que se utiliza en el variador del presente proyecto es el control escalar, el modo de tensión frecuencia (V/f), mostrada en la Figura 3.19 es el método más conocido para ajustar la velocidad de un motor asíncrono utilizando un convertidor de frecuencia. Una curva característica muy simple Tensión vs Frecuencia, basada en la física del motor se utiliza para seleccionar la tensión de fase del motor y la frecuencia correspondiente.

El modo de control escalar no realiza cálculos del modelo del motor, por lo que tiene dificultad de control para frecuencias menores a 10 Hz cuando el motor se encuentra con carga, ya que si deseamos la velocidad en frecuencia de bajo rango, para seguir manteniendo el torque el voltaje debería ser muy alto debido a que se debe de cumplir con la relación $\frac{V}{f} = \text{cte.}$, por tanto es utilizado para aplicaciones estándar como fajas horizontales, bombas, donde las velocidades no bajan de 10Hz, y no existen picos altos de torque.

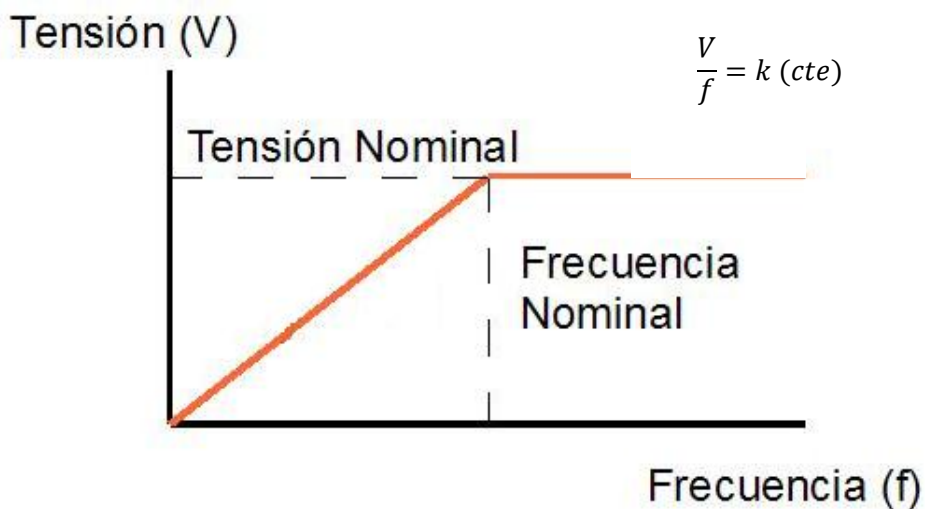


Figura 3. 19: Relación Escalar.

Si la relación $\frac{V}{f}$ es menor que los valores de diseño, entonces disminuye la capacidad de producción de torque del motor, caso contrario si $\frac{V}{f}$ es mayor al valor de diseño entonces se da la saturación magnética.

El variador utilizado posee el diagrama de control mostrado en la Figura 3.19, que mediante la especificación de un valor de consigna de velocidad, en este caso brindado por el potenciómetro, mediante la entrada analógica que posee.

La frecuencia asignada a la consigna de velocidad es limitada y controlada a través del generador de rampa. El dispositivo de protección de extracción influye en el generador de rampa. Se detiene o reduce la frecuencia una vez que se ha alcanzado el límite de corriente. El voltaje se suministra a cada nueva frecuencia de salida del generador de rampa a través de la curva característica de $\frac{V}{f}$.

La frecuencia de salida del generador de rampa y el nivel de tensión de la curva de $\frac{V}{f}$ son valores de entrada utilizados para generar el sistema de tensión trifásica. Los pulsos de voltaje modificados de ancho de pulso para controlar el inversor en el modulador PWM se crean a partir de la frecuencia de consigna y el nivel de tensión a través de un fasor de tensión. La energía para el accionamiento se toma del circuito intermedio alimentado por el sistema de suministro y se hace disponible para el motor a través del inversor.

Como observamos en la Figura 3.20, el circuito interno del variador está dividido en 2 partes, la sección de alimentación (Power Section) y la unidad de control (Unit Control). La sección de alimentación descrita ya anteriormente está conformada por rectificadores, condensador y los IGBT, por este circuito se transporta el voltaje de alimentación del motor.

La unidad de control se encarga de generar los PWM que controlarán la forma de onda que alimentará al motor.

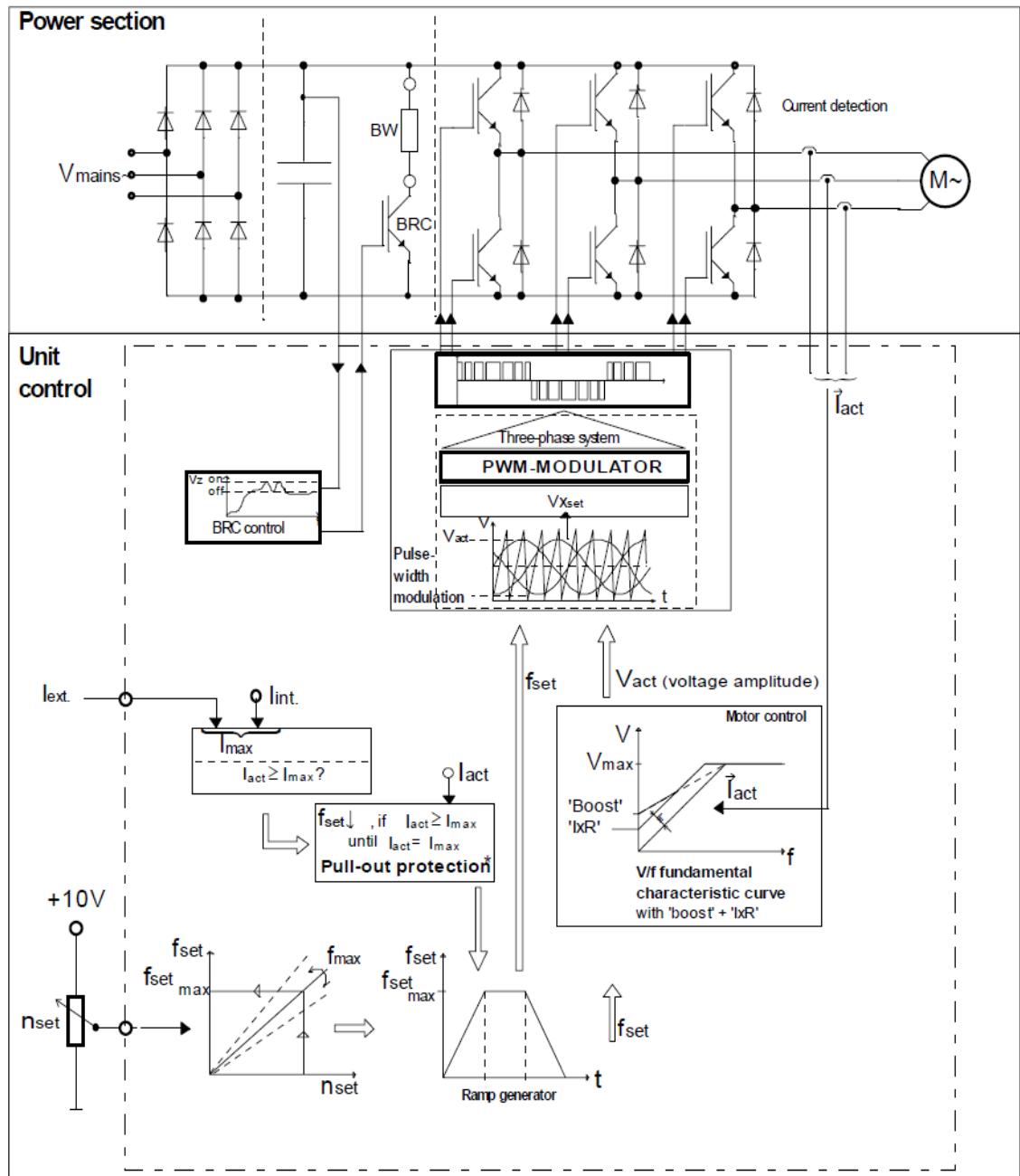


Figura 3. 20: Diagrama de control del variador.

3.6 Características técnicas del VDF utilizado

El modelo del variador utilizado en el presente proyecto es MOVITRAC® MC LT E A 0004-201-1-00 mostrado en la Figura 3.21, cuyas especificaciones técnicas son:

- Tensión de alimentación V_{red} : 1 × AC 220 ... 240 V ± 10 %, monofásico
- Frecuencia de alimentación F_{red} : 50 / 60 Hz ± 10 %
- Potencia de motor recomendada [kW]: 0.37
- Corriente de salida [A]: 2.3
- Calibre del cable de motor Cu 75C [mm²]: 1.0
- Dimensiones L × A × P [mm]: 80 × 155 × 130



Figura 3. 21: Variador modelo MC LTE.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA Y TELECONTROL

4.1 Introducción al diseño

Para el diseño del prototipo del sistema de telecontrol y telemetría, se elaboró la arquitectura que se puede visualizar en la Figura 4.1.

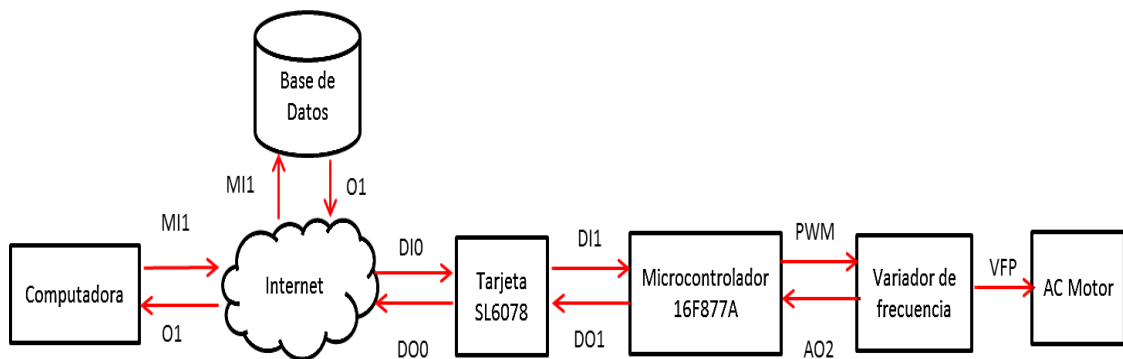


Figura 4. 1: Arquitectura de control y supervisión del prototipo a implementar.

Donde:

MI1: Manual Input 1

DI0: Digital Input 0

DI1: Digital Input 1

DO0: Digital Output 0

DO1: Digital Output 1

PWM: Señal Pulse with modulation

AO2: Analog Output 2

VFP: Variable Frequency Power

El microcontrolador PIC 16F877A leerá el valor su puerto conversor ADC y enviará esta información a la tarjeta SL6087 mediante la señal DO1, la tarjeta enviará la información vía GPRS al servidor mediante la señal DO0, ejecutando el programa enviar.php guardado en la base de datos, este programa se encarga de enviar a la tarjeta SL6087 el último valor de velocidad ingresado en la base de datos datos_recibidos, mediante la señal DI0.

Continuando la ejecución del programa enviar.php, la tarjeta SL6087 envía al microcontrolador mediante su puerto serial el valor de la última velocidad ingresada en la base de datos datos_enviar, mostrado en la Figura 4.2 (mediante la señal DI1), que son los valores de la velocidad ingresados en la página web, es decir la velocidad a la que deseamos que el motor gire (señal MI1).

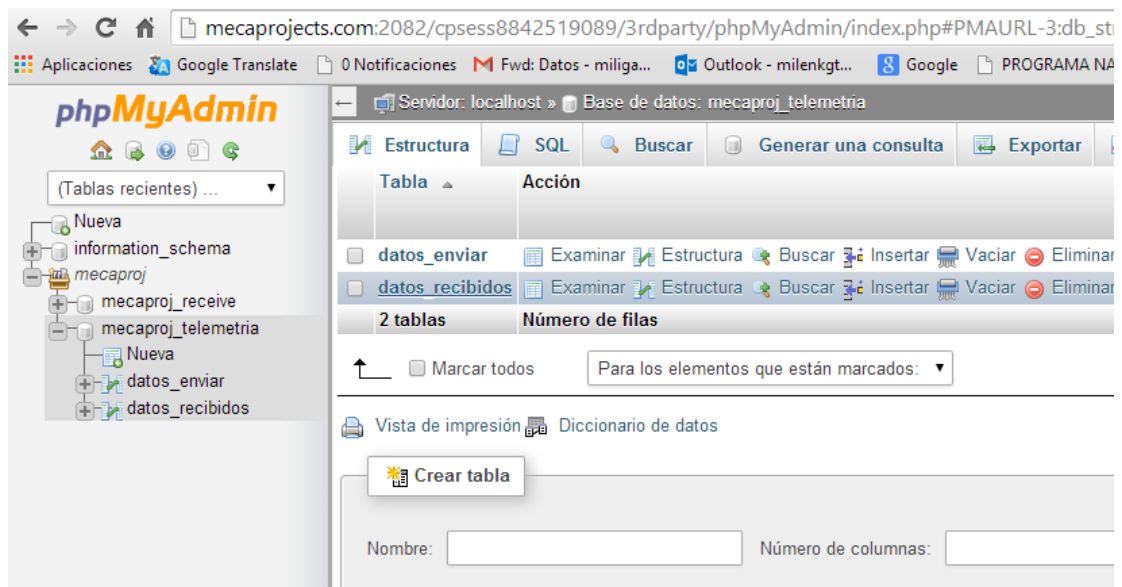


Figura 4. 2: Base de datos datos_enviar y datos_recibidos.

Cuando el microcontrolador recibe este dato la interrupción por puerto serial se activará y guardará este valor en la variable "c" la cual dará inicio a la señal PWM, con el cuál controla la velocidad del motor.

El puerto ADC del PIC recibe las señales desde el puerto analógico del variador que brinda un rango de voltaje de 0-10V dependiendo de la velocidad en la que se encuentre girando el motor, es la señal A02.

Continuamente el PIC envía información de su puerto ADC, mediante la señal DO1, por tanto recibe el último valor de velocidad ingresado.

Finalmente el variador de frecuencia envía la señal VFP que es modulada por la señal PWM, de esta manera varía la velocidad del motor.

4.2 Diseño del Hardware del Sistema

4.2.1 Diseño de la Tarjeta SL6087

La tarjeta mostrada en la Figura 4.3, fue diseñada por la empresa con razón social DELCOMP SAC, se ha basado en el manual del integrado “Product Technical Specification & Customer Design Guidelines AirPrime SL6087” que la empresa SIERRA WIRELESS publica en su página web.

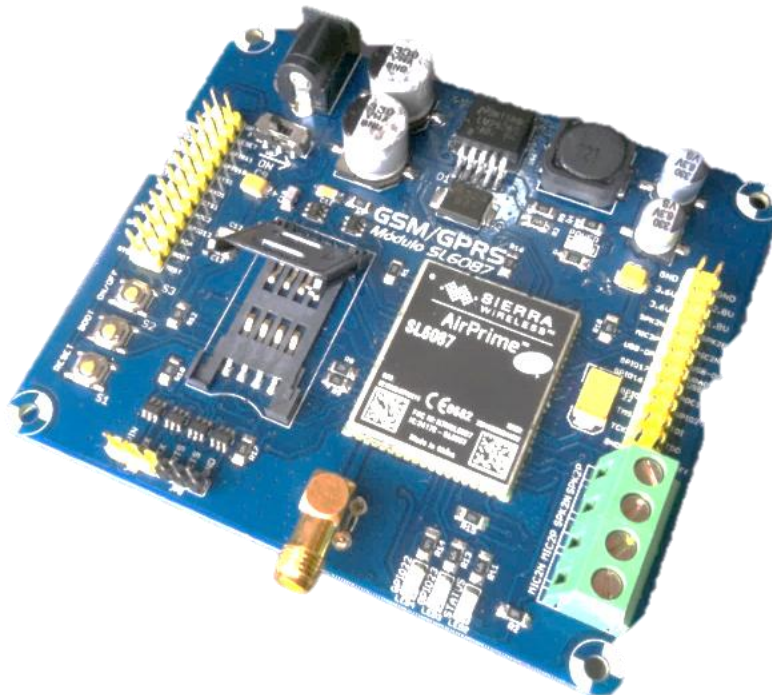


Figura 4. 3: Tarjeta SL6087.

La Figura 4.4 muestra los pines del integrado SIERRA WIRELESS AirPrime SL6087.

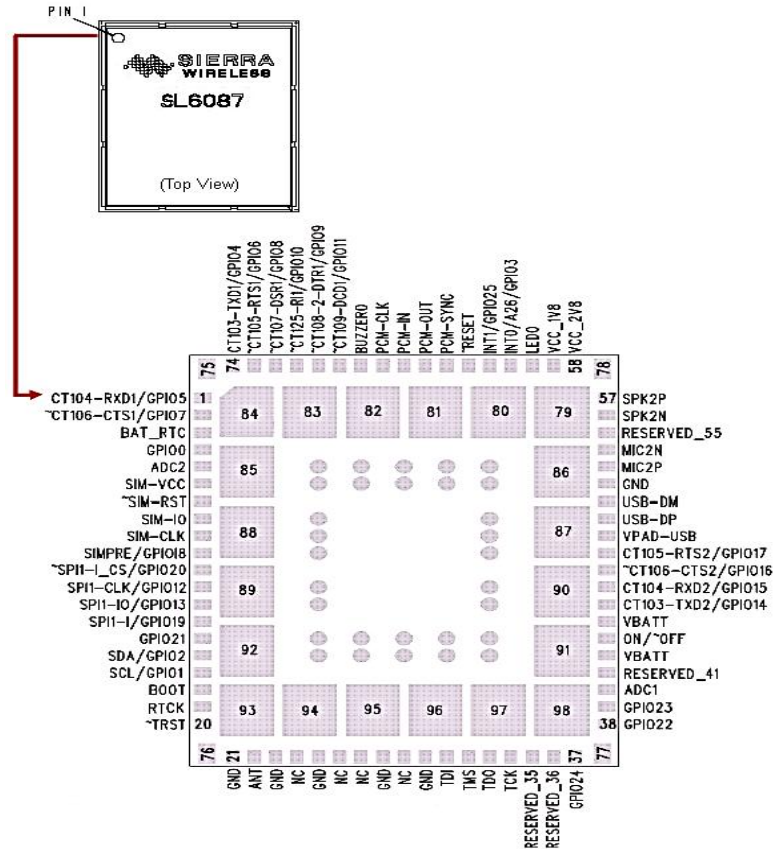


Figura 4. 4: Entradas y salidas del integrado SIERRA WIRELESS SL6087.

Para el conexionado entre el integrado SL6087 y la SIM card, se tiene la Tabla 4.1 y la Figura 4.5 como referencia para la comunicación entre ellos.

Pin #	Signal Name	Voltage	I/O	Description
6	SIM-VCC	1V8 or 3V	O	SIM Power Supply
7	~SIM-RST	1V8 or 3V	O	SIM reset Output
8	SIM-IO	1V8 or 3V	I/O	SIM Data
9	SIM-CLK	1V8 or 3V	O	SIM Clock
10	SIMPRES	VCC_1V8	I	SIM Detection
59	VCC_1V8	VCC_1V8	O	1.8V Supply Output

Tabla 4. 1: Pines del integrado SL6087 para la comunicación con la SIM card.

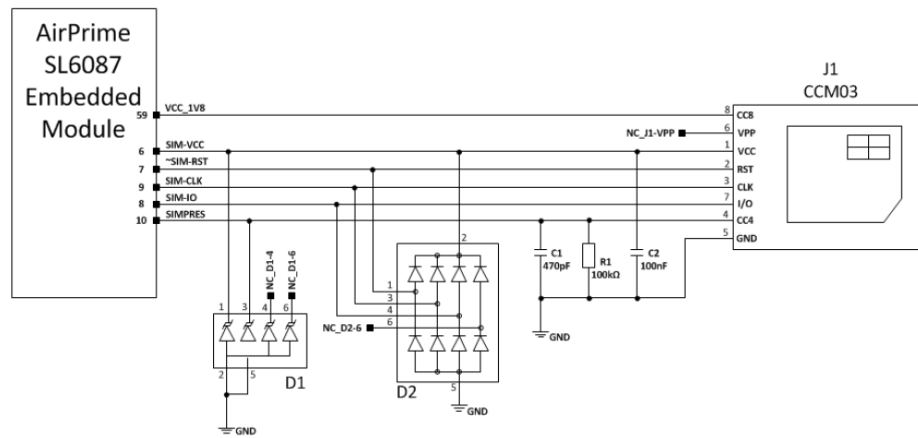


Figura 4. 5: Esquema de implementación para comunicación del microprocesador SL6087 con la tarjeta SIM.

La Figura 4.6 muestra el diagrama hecho en ARES para la implementación de la tarjeta SL6087.

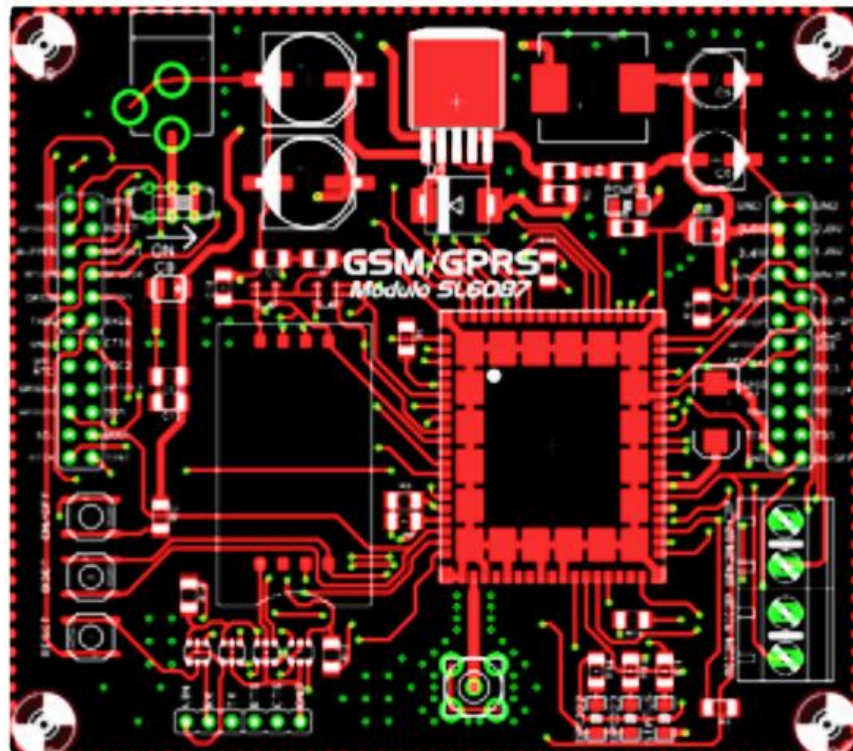


Figura 4. 6: Diagrama en ARES de la tarjeta SL6087.

4.2.2 Especificaciones Técnicas del hardware

El hardware que utilizamos es:

- PC (Personal Computer)
 Marca: Toshiba
 Procesador: Intel Core i5
 Memoria instalada (RAM): 8.00 GB
 Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits
 Sistema Operativo: Windows 8
- Tarjeta SL6087 (Descrita en la sección 2.2.2)
- Tarjeta entrenadora HFK-001 para PIC16F877

Esta tarjeta (ver Figura 4.7), nos permitirá la comunicación RS232 entre el microcontrolador PIC 16F877A y la tarjeta SL6087.

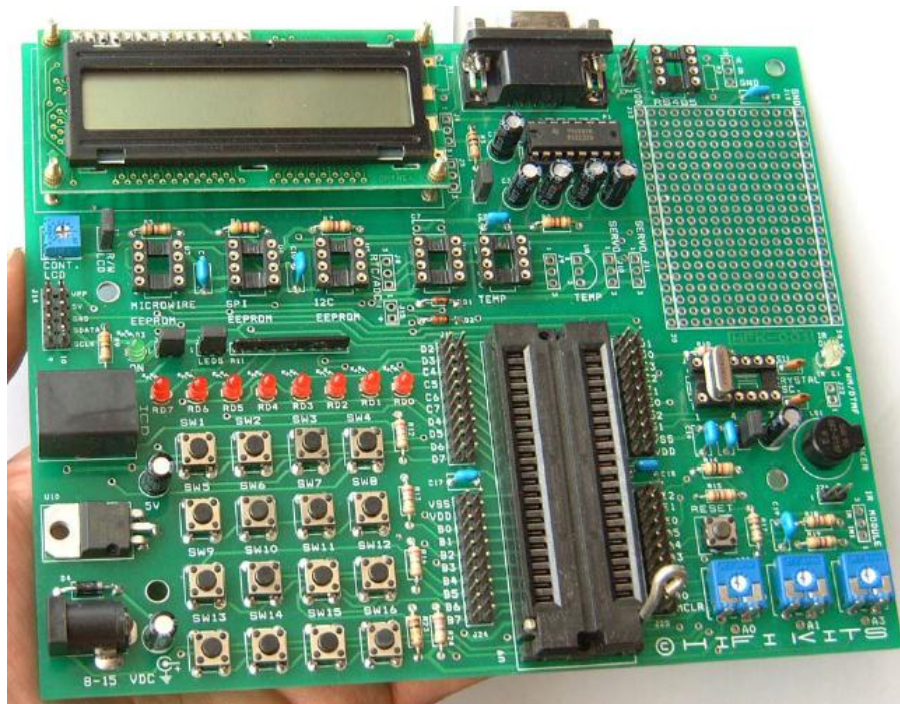


Figura 4. 7: Tarjeta entrenadora HFK-001.

El PIC 16F887A es un dispositivo programable fabricado por MicroChip capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales, de control y comunicación digital de diferentes dispositivos, pertenece a la familia PIC, posee una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Poseen principalmente una ALU, que es la Unidad Lógico Aritmética, memoria del programa, memoria de registros y pines de entrada y salida (ver Figura 4.8). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten como ADD, OR, AND, mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo.

Algunas características se muestran a continuación:

- ✓ Soporta modo de comunicación serial, posee los pines RC6 y RC7 para ello, que lo usaremos como medio de comunicación con la tarjeta SL6087.
- ✓ Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente.
- ✓ Set de instrucciones reducidas tipo RISC, con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

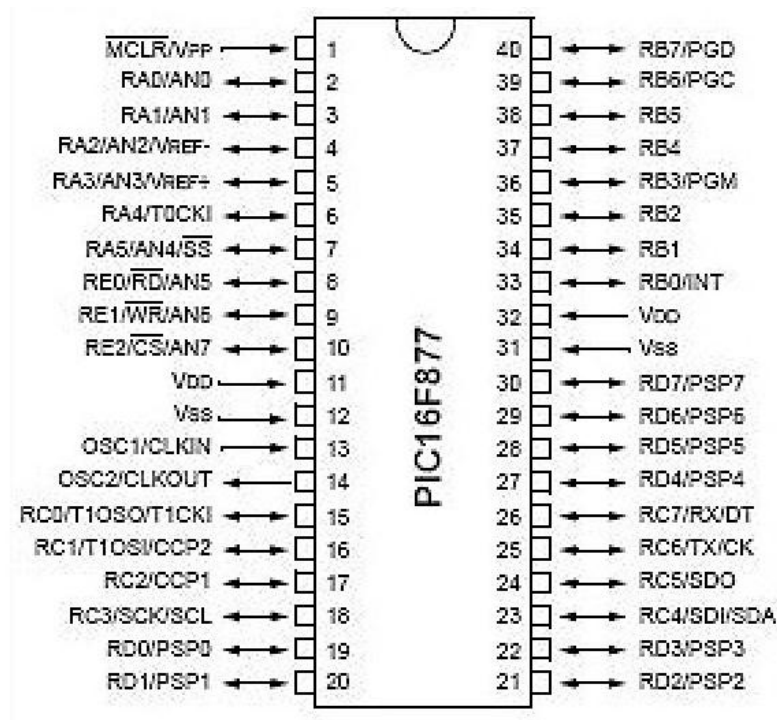


Figura 4. 8: Pines del PIC 16F877A.

- Motor SEW EURODRIVE

Las características técnicas se han especificado en la sección 3.3

- Variador de Frecuencia SEW EURODRIVE

Las características técnicas se han especificado en la sección 3.6.


4.3 Diseño del software del sistema

4.3.1 Diseño de la página web en Dreamweaver y programación del servidor con lenguaje PHP y MySQL

La página principal de la página web mecaprojects.com se muestra en la Figura 4.9, cuando colocamos en el buscador de internet la dirección mecaprojects.com estamos ejecutando el programa index.php.

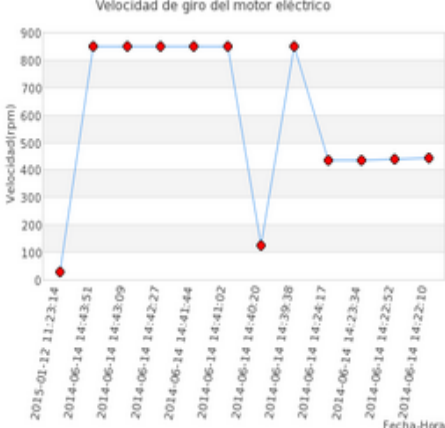
Diseño e Implementación de un Sistema de Telemetría y Telecontrol de la velocidad de un motor eléctrico Usando la tecnología GPRS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA




Lectura de Velocidad [RPM]			Envío de Velocidad	
ID	FECHA-HORA	VELOCIDAD		
324	2015-01-12 11:23:14	29.99		
323	2014-06-14 14:43:51	849.99		
322	2014-06-14 14:43:09	849.99		
321	2014-06-14 14:42:27	849.99		
320	2014-06-14 14:41:44	849.99		

Velocidad de giro del motor eléctrico



Velocidad:



ID	FECHA-HORA	VELOCIDAD
33	2015-01-07 11:57:27	800
32	2014-06-18 15:08:53	12
31	2014-06-14 14:15:19	400
30	2014-06-14 13:59:35	50
29	2014-06-14 13:56:34	100

Figura 4. 9: Página web mecaprojects.com.

El botón “Parámetros del VDF” mostrará los datos técnicos del variador de frecuencia (ver Figura 4.10).



Figura 4. 10: Botón “Parámetros del VDF”.

El botón “Parámetros del motor” mostrará los datos técnicos del motor utilizado (ver Figura 4.11).



Figura 4. 11: Botón “Parámetros del motor”.

La gráfica mostrada en la Figura 4.12 muestra los doce últimos valores de velocidad leídos.

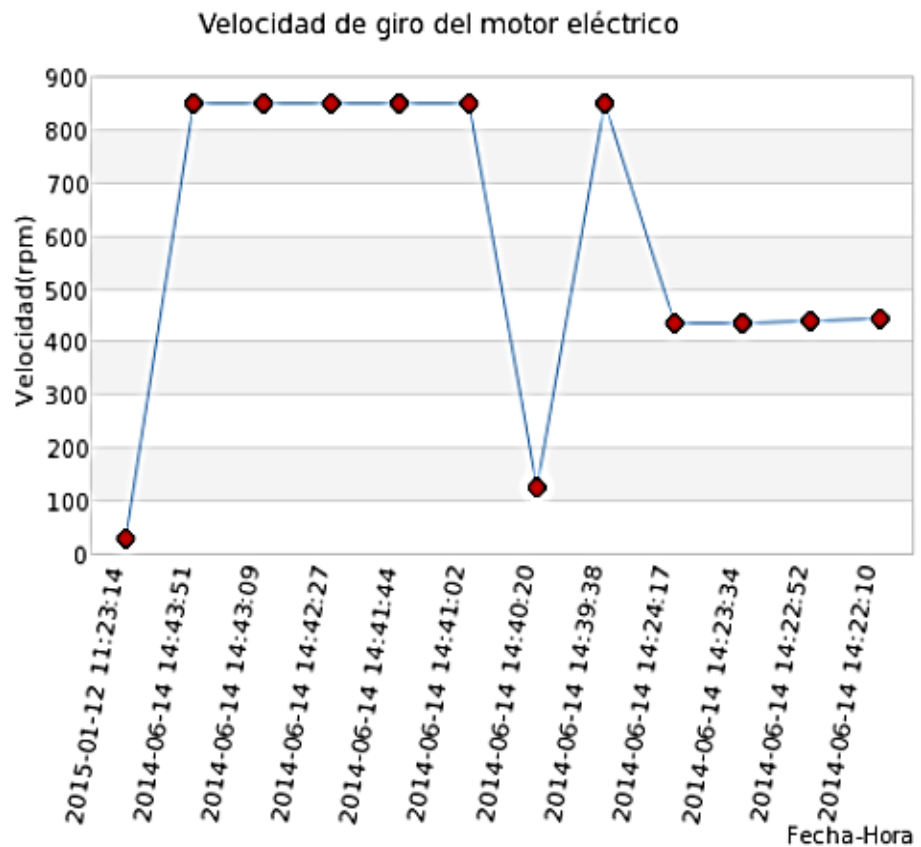


Figura 4. 12: Gráfica de velocidades.

El programa `index.php` es guardado en el servidor, como muestra la Figura 4.13, además también se observan los programas `connect_db.php`, `enviar.php` y una carpeta de imágenes, que se encuentran las imágenes del logo de la UNI y del motor que muestran en la página principal de la web.

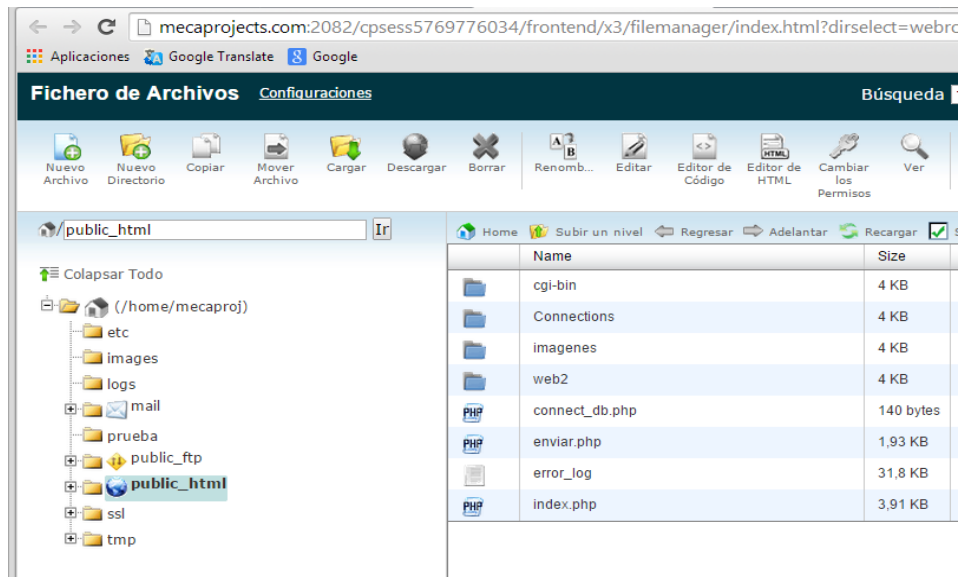


Figura 4. 13: Archivos guardados en el servidor.

Se ha realizado el diseño y la programación en lenguaje HTML y PHP, con el software Dreamweaver mostrado en la Figura 4.14. Los lenguajes PHP y MySQL son usados para ingresar, mostrar y obtener datos de la base de datos.

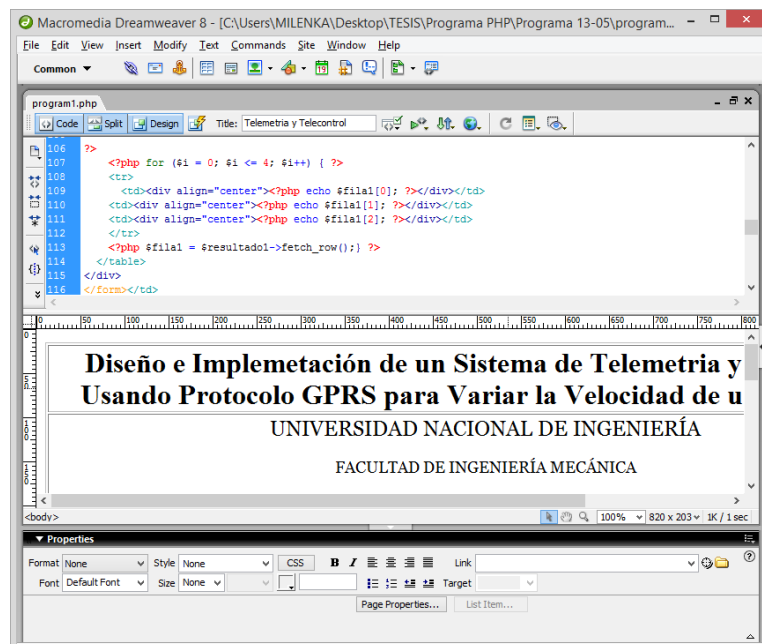


Figura 4. 14: Software Dreamweaver.

El pseudocódigo del programa index.php elaborado en Dreamweaver se muestra en la Figura 4.15, este programa tiene la finalidad de interactuar con el usuario, ingresando las velocidades deseadas por el usuario a la base de datos y leyendo las velocidades actuales a las que se encuentra girando el motor eléctrico.

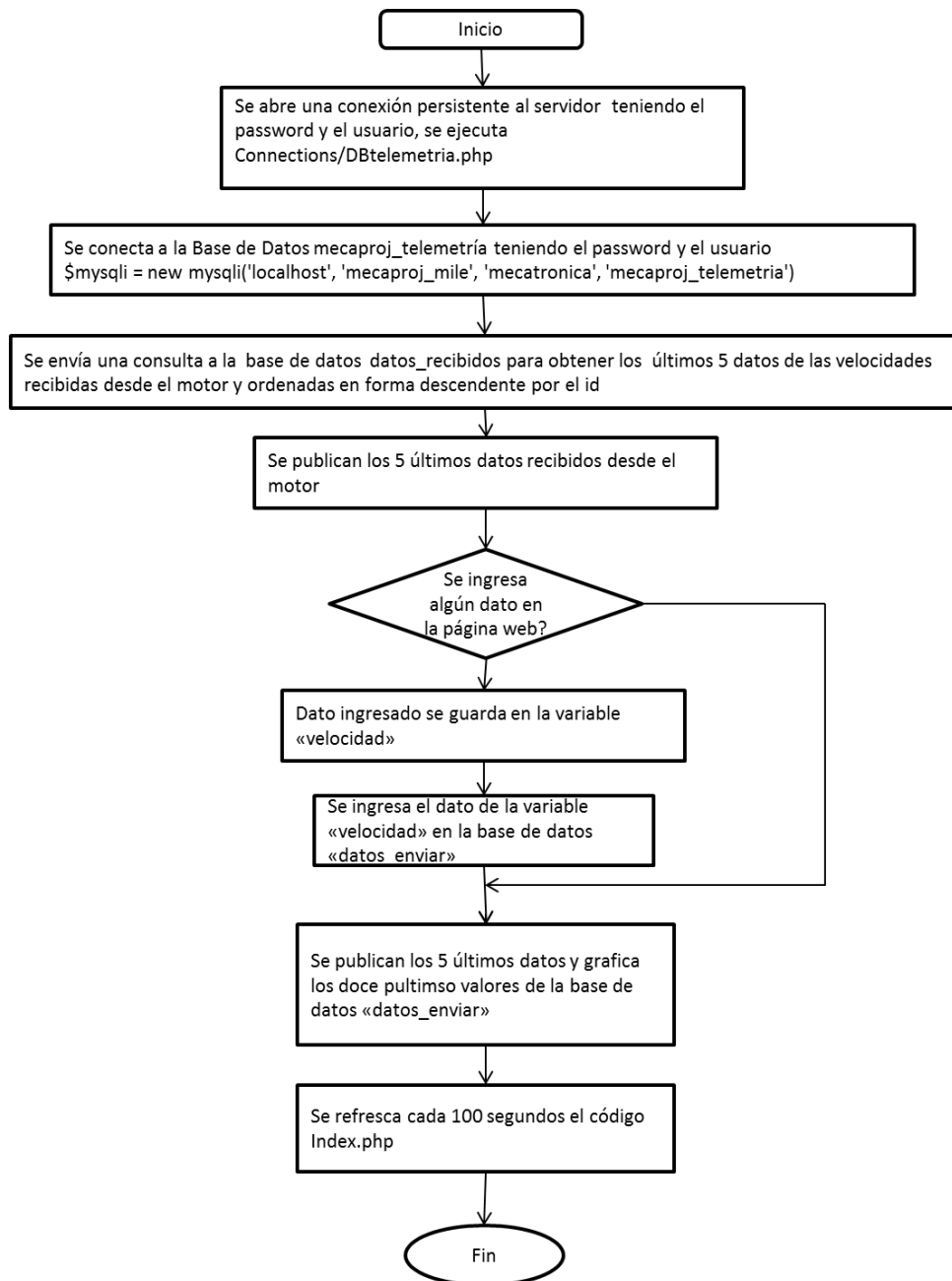


Figura 4. 15: Pseudocódigo de la página principal index.php.

4.3.2 Programación del microcontrolador PIC y del servidor

Para la comunicación entre el microcontrolador y el servidor se necesita establecer el medio de comunicación que será el protocolo TCP/IP y la comunicación móvil GPRS.

- Conexión vía GPRS con el servidor

La conexión GPRS cliente/servidor, permite enviar información desde el módem que se encuentra en un lugar remoto a un servidor, o desde un cliente al módem. La principal ventaja de esta tecnología de comunicación móvil es la tarificación por cantidad de datos enviados, mas no por tiempo de conexión, lo que permite ahorrar costos y con la ventaja de estar siempre conectado.

Para realizar la conexión con un servidor teniendo la tarjeta SL6087 se deben enviar los siguientes comandos AT, que se encuentran finalmente en el programa del microcontrolador PIC, los siguientes comandos deberán enviarse para establecer el intercambio de información con el servidor mediante la tecnología GPRS, utilizamos una SIM card de la empresa Claro, la comunicación es realizada por el puerto 80 y sockets.

```
at+wopen=1  
Abre la aplicación OPENAT, comandos AT
```



```
at+wipcfg=1  
Iniciamos el Stack TCP/IP
```



```
at+wipbr=1,6  
Abrimos el portador GPRS
```

```

at+wipbr=2,6,11,<APN_del_Operador>
Seteamos el APN del portador GPRS, claro.pe

at+wipbr=2,6,0,<usuario>
Indicamos el usuario, el nombre del operador todo en minúsculas, en
nuestro proyecto de tesis, usuario= "claro"

at+wipbr=2,6,1,<contraseña>
Indicamos la contraseña, en nuestro proyecto de tesis, contraseña= "claro"

at+wipbr=4,6,0
Iniciamos el portador GPRS

at+wipcreate=2,1,<SERVIDOR_WEB>,80
Creamos cliente TCP hacia dispositivos IP con el SERVIDOR_WEB por el
puerto 80

at+wipdata=2,1,1
Iniciamos el intercambio de datos socket 1

get /enviar.php?estado=" " HTTP/1.1 HOST: www.mecaprojects.com
Envío de datos en la variable estado al servidor y lectura del programa
enviar.php

```

El pseudocódigo del programa del microcontrolador PIC se muestra en las Figuras 4.16.a y 4.16.b, que es el programa principal, la Figura 4.17 muestra el pseudocódigo de la interrupción por puerto serial, enviando en la variable estado el valor actual de giro del motor, pero previo a esto ejecuta el programa enviar.php que se encuentra en el servidor.

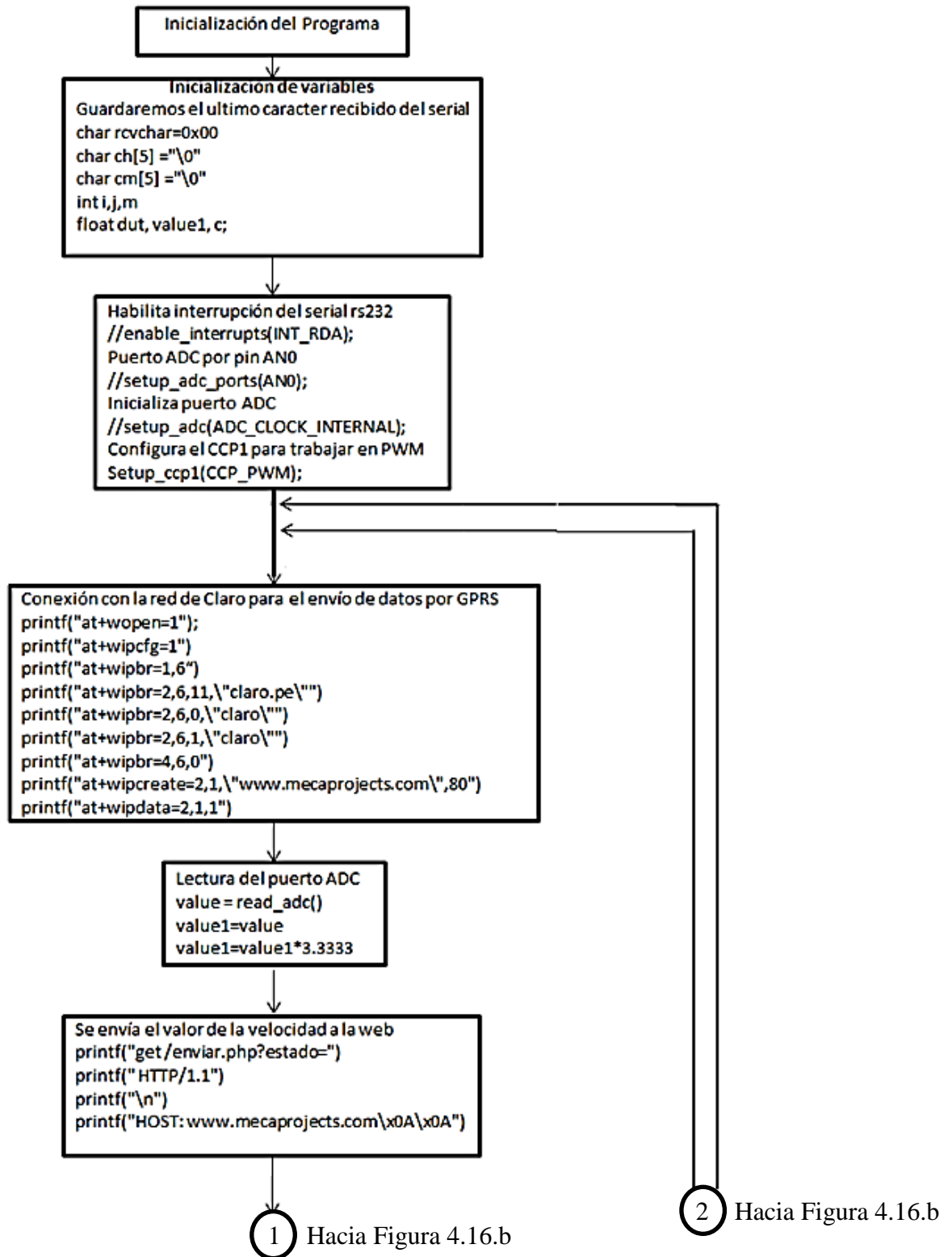


Figura 4. 16.a: Pseudocódigo del programa principal compic.c.

Desde Figura 4.16.a

Desde Figura 4.16.a

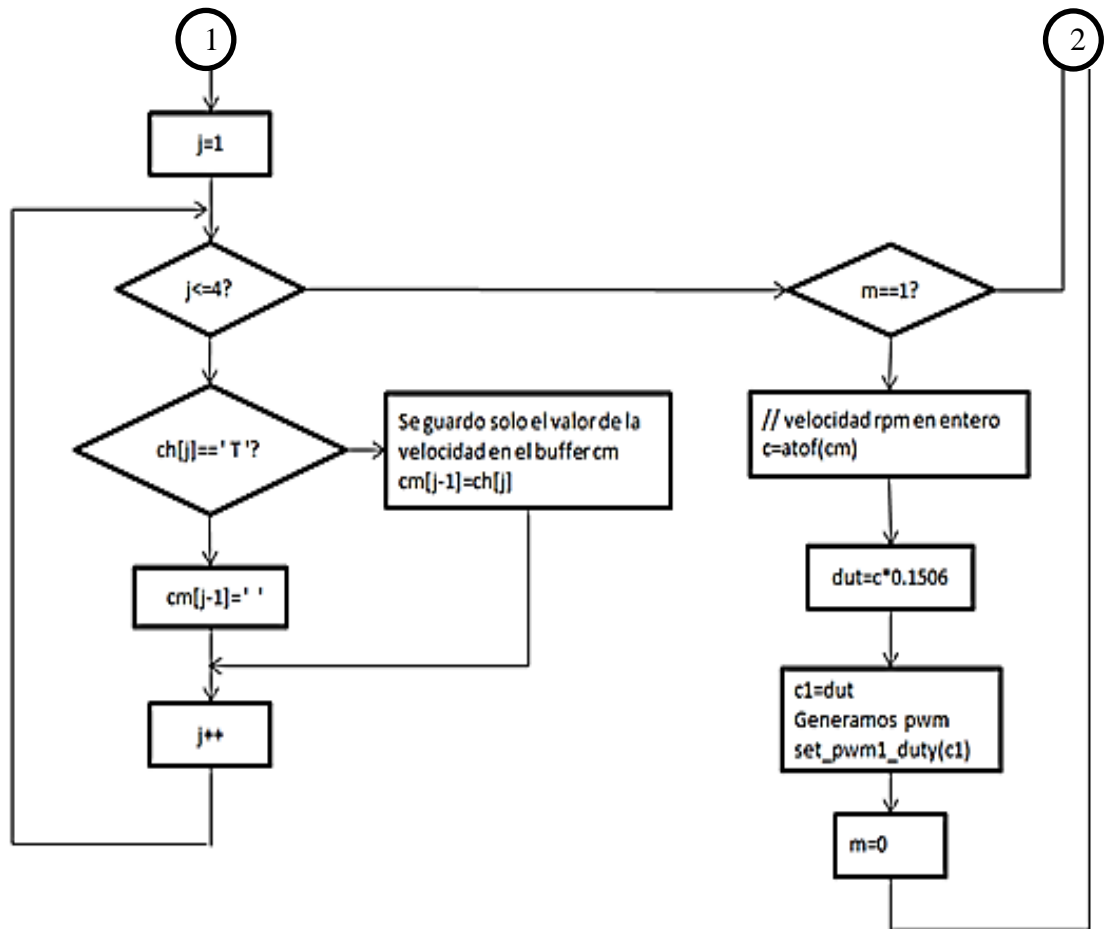


Figura 4.16.b: Pseudocódigo del programa principal compic.c.

El programa enviar.php del cual se muestra el pseudocódigo en la Figura 4.18, es ejecutado luego de inicializar la comunicación entre la tarjeta SL6087 y el servidor, este programa se encarga de guardar en el servidor el valor de la velocidad de giro del motor que ha sido enviada por el microcontrolador PIC, así mismo envía el último valor de velocidad deseada ingresado por el usuario al microcontrolador, el programa completo es mostrado en el apéndice.

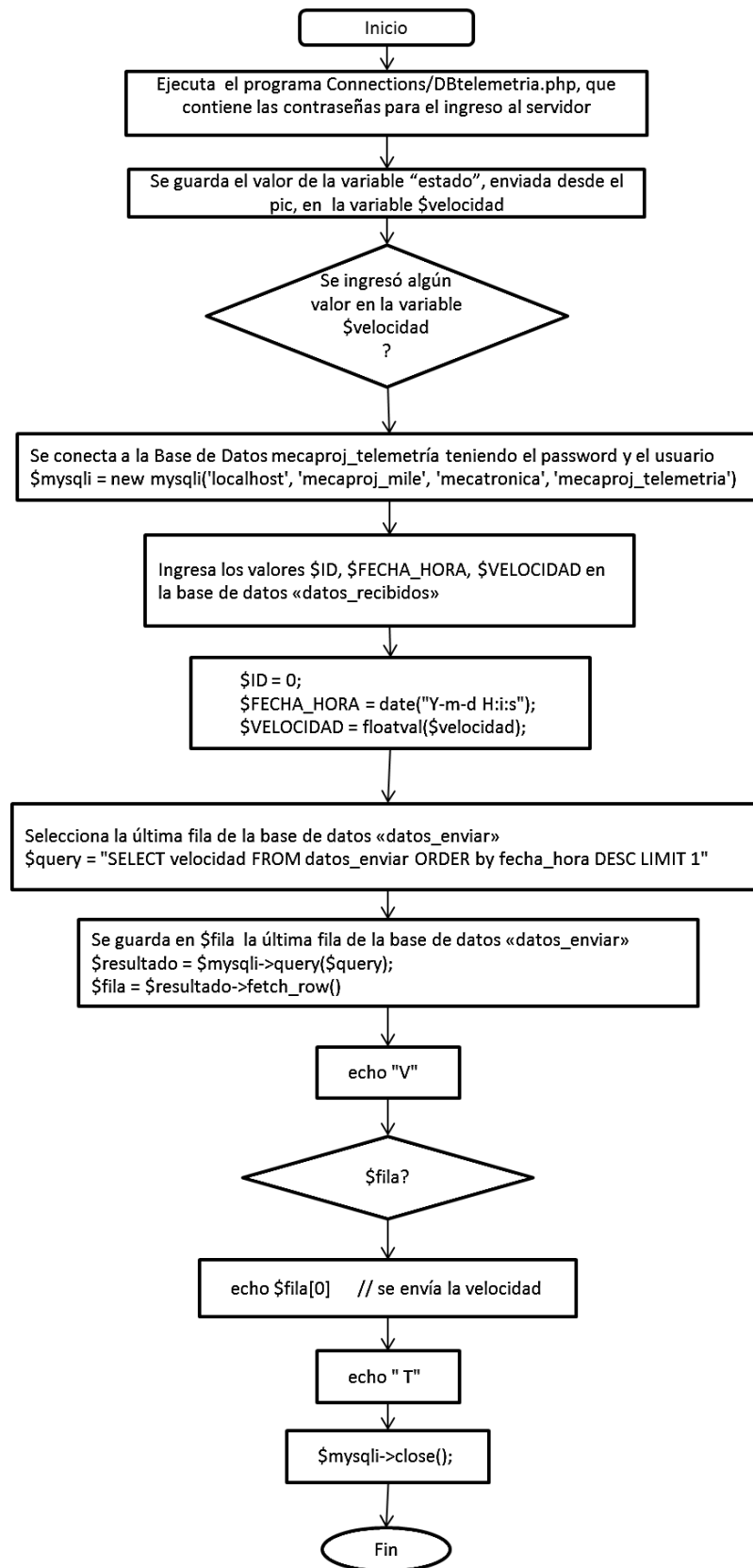


Figura 4. 18: Pseudocódigo del programa enviar.php.

4.3.3 Parametrización del variador de frecuencia

Las partes principales del variador se muestran a continuación en la siguiente Figura 4.19.

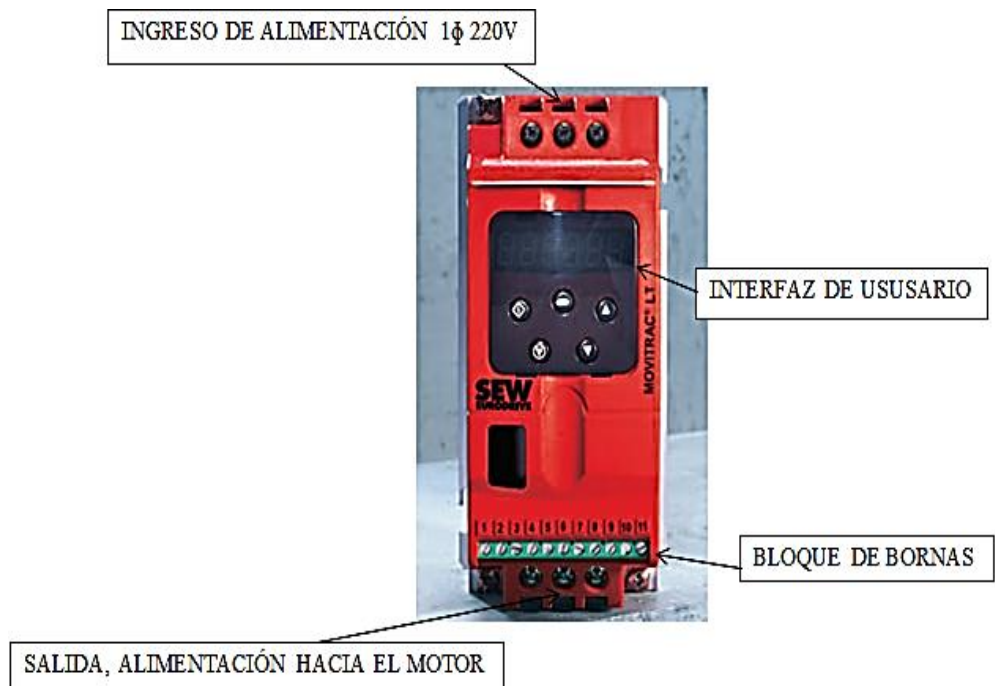


Figura 4. 19: Partes del Variador LTE.

La configuración realizada en el variador para que la salida analógica nos brinde información de la velocidad del motor y que a su vez la velocidad a la que gira el motor sea comandada por la entrada analógica se realizó teniendo en cuenta los siguientes partes del variador y siguiendo las instrucciones.

- Interfaz de Usuario (Teclado)

Para acceder al grupo de parámetros principales que aparecen en el Cuadro 4.1, pulsar la tecla Navegar mostrada en la Figura 4.20 durante >1 seg.

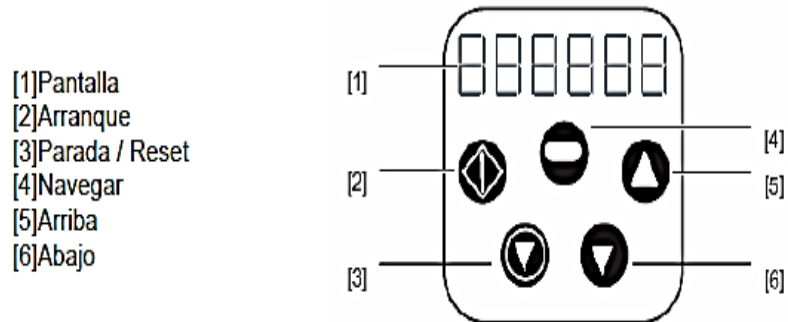


Figura 4. 20: Teclado.

Desplazarse de P-01 a P-14 y volver de nuevo a P-01 presionando ▲ o ▼. Para mostrar el valor del parámetro, pulsar la tecla Navegar. Para editar el valor del parámetro, pulsar ▲ o ▼. Para volver al número del parámetro, pulsar la tecla Navegar. Para guardar un valor y/o salir del modo de edición, pulsar la tecla Navegar durante >1 seg o no pulsar ninguna tecla durante >20 seg.

Para acceder al grupo de parámetros ampliados mostrado en el Cuadro 4.2.a y 4.2.b, ajustar P-14 = 101

- Bloque de borneras de control

Las Figuras 4.21 y 4.22 muestran la salida y entrada analógica que usamos, que son las borneras 8 y 6 respectivamente.

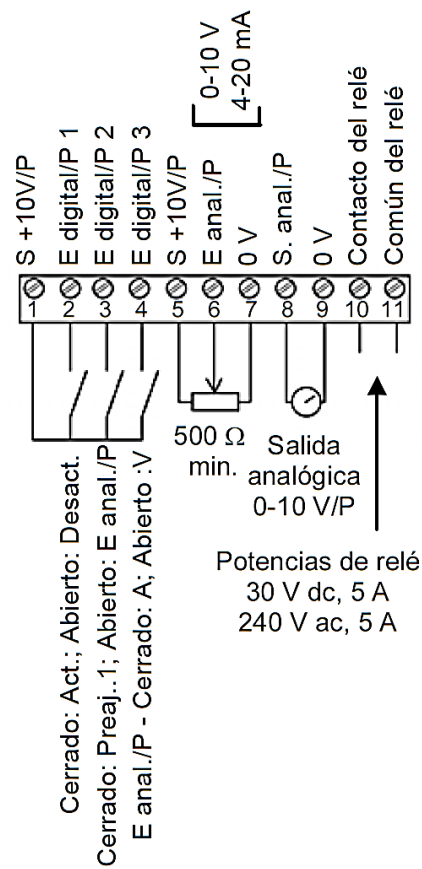


Figura 4. 21: Borneras de control.

Borne nr.	Descripción	Conexión
1	Ref. salida +10 V	Ref. para accionar DI1 ... DI3
2	Entrada digital 1	Conectar +8 V ... 30 V CC para accionar
3	Entrada digital 2	Conectar +8 V ... 30 V CC para accionar
4	Entrada digital 3	Conectar +8 V ... 30 V CC para accionar
5	Ref. salida +10 V	Ref. 10 V para entrada analógica (10 mA máx)
6	Entrada analógica (12 bit)	0 ... 10 V (4 ... 20 mA cuando Iref liberado)
7	Comun 0 V	Ref. 0 V para entrada analógica
8	Salida analógica (10 bit)	0 ... 10 V, 10 V / 20 mA digital programada
9	Comun 0 V	Ref. 0 V para salida analógica
10	Relé N.A.	Relé de contacto N.A. (250 V CA / 30 V CC @ 5A)
11	Comun relé	Relé de contacto N.A. (250 V CA / 30 V CC @ 5A)

Figura 4. 22: Descripción de las borneras.

Para la configuración del variador primero configuramos los siguientes parámetros estándar, mostrados en el Cuadro 4.1:

P-01: Velocidad máxima: 60 Hz

P-02: Velocidad mínima: 0 Hz

P-10: Velocidad nominal del motor: 60 Hz

P-12: Control de borna o de teclado: 0

Utilizamos la entrada analógica de 0-10V del variador, que se encuentra en los bornes 5,6 y 7, esta entrada es modulada por la señal PWM que son generados por el PIC 16F877A, para configurar esta entrada como analógica en el variador, y según esto se varíe la velocidad del motor, usamos el Cuadro 4.3, el cual nos indica que debemos configurar las borneras del siguiente modo para obtener la entrada analógica de 0-10V y la salida analógica de 0-10V.

Bornera 1: cerrado para dar inicio al START

Bornera 2: abierto para dar referencia a la velocidad analógica

Bornera 3: cerrado para configurar la entrada analógica como tensión

Par.	Descripción	Rango	Por defecto	Explicaciones
P-01	Velocidad máxima	P-02 a 5*P-09 (máx. 500 Hz)	50 Hz	Límite de velocidad máxima: Hz o r.p.m. Consulte P-10
P-02	Velocidad mínima	0 a P-01 (máx. 500 Hz)	0 Hz	Límite de velocidad mínima: Hz o r.p.m. Consulte P-10
P-03	Tiempo de rampa de acel. (s)	0 a 3.000 s	5 s	Tiempo de rampa de aceleración de 0 a velocidad de base (P-9) en segundos
P-04	Tiempo de rampa de desacel. (s)	0 a 3.000 s	5 s	Tiempo de rampa de desaceleración de velocidad de base (P-9) a 0 en segundos
P-05	Selección de modo de parada	0: 2: Rampa de parada 1: Descenso de la marcha hasta parar	0	Si se pierde la alimentación y P-05 = 0, el accionamiento continuará su movimiento reduciendo la velocidad de la carga utilizando la carga como un generador. Cuando P-05 = 2, el accionamiento utiliza la rampa P-07 hasta detenerse.
P-06	Característica V/f	0: Par constante, INDUSTRIAL 1: Bomba/ventilador, HVAC	0	Bien $V = kf$ (lineal), o $V = kf^2$ (bombas/ventiladores con un índice HVAC). Observe que al establecer P-06 en 1, las rampas se establecen automáticamente en 60 s.
P-07	Parada rápida (s)	0,0 a 25 s. (Desactivada en 0,0 s)	0,0s	Tiempo de rampa de desaceleración después de la pérdida de alimentación (P-05 = 0 ó 2) o al activar la parada rápida (consulte P-19). Cuando P-05 = 2 y P-07 = 0, la activación de la parada rápida desactiva el accionamiento sin frenar (sigue funcionando eficazmente hasta detenerse).
P-08	Corriente nominal del motor	25 % -100 % de la corriente nominal del accionamiento	Potencia de accionamiento	Corriente nominal (placa de características) del motor (amperios). En el modo HVAC (P-06 = 1), se incrementa el límite de la corriente nominal del motor, permitiendo la configuración de P-08 en un nivel superior
P-09	Frecuencia nominal del motor	25 Hz a 500 Hz	50 Hz	Frecuencia nominal (placa de características) del motor. La modificación de P-09 resetea P-02, P-10, P-26 y P-28 a 0 y P-01 = P-09.
P-10	Velocidad nominal del motor	0, P-09*12 a P-09*60 por ej.: para un motor de 50 Hz, el intervalo se sitúa entre 600 y 3000 r.p.m.	0	Cuando el valor no sea cero, la velocidad se muestra en r.p.m. en los parámetros P-01, P-02, P-20...P-23, P-27 y P-28; asimismo, la compensación de deslizamiento se activa automáticamente siempre que este parámetro no sea cero – véase también P-24.
P-11	Boost de tensión	0 a 25 % de tensión máx. de salida	3 %	Aplica un boost ajustable en la salida de tensión del MC LT a baja velocidad para facilitar el arranque con cargas pesadas que pongan más dificultad. En el caso de aplicaciones continuas a baja velocidad, utilice un motor con ventilación forzada.
P-12	Control de borna o de teclado	0: Control de borna 1: Control de teclado: sólo hacia adelante 2: Control de teclado: hacia delante y hacia atrás 3: Control de borna 4: Sin utilizar	0 (Control de borna)	Cuando P-12 = 2, la tecla Start del teclado conmuta hacia delante y hacia atrás. Cuando se detiene, se puede acceder o modificar la velocidad de origen con las teclas STOP las teclas ▲ ▼. 3: Control de borna
P-13	Registro de fallas o disparo	Las cuatro últimas fallas guardadas	Sólo lectura	Las 4 últimas fallas guardadas según el orden de ocurrencia. La pantalla muestra primero la primera falla más reciente. Pulse ▲ o ▼ para pasar por las otras cuatro fallas
P-14	Acceso a menú ampliado	Código 0 a 9999	0	Ajustado a «101» (valor predeterminado) para el acceso a menú ampliado. Modifique el código en P-37 para evitar el acceso no autorizado al grupo de parámetros ampliado

Cuadro 4. 1: Grupo de parámetros estándar.

Par.	Descripción	Rango	Por defecto	Explicaciones
P-15	Tensión nominal del motor	0 V (tensión del motor = tensión de alimentación) 40 V...tensión de alimentación	0	Se controla y escala la tensión del motor para obtener la tensión especificada a una frecuencia nominal de (P-09)
P-16	Formato de entrada analógica (V / mA)	Tensión: 0-10 V, 10-0 V Corriente: 4-20 mA, 0-20 mA, 20-4 mA	0-10 V	Formato de entrada analógica (en la borna 6).
P-17	Frecuencia de conmutación de etapa de potencia eficaz	8, 16, 32 kHz	8 kHz	Frecuencia de conmutación de etapa de potencia eficaz. Las mejoras en el ruido acústico y en la onda de la corriente de salida se producen con una frecuencia creciente de conmutación y a expensas de un incremento en las pérdidas dentro del accionamiento.
P-18	Función de salida del relé	0: Accionamiento habilitado 1: Accionamiento en buen estado 2: A una velocidad de ajuste 3: Velocidad > cero 4: Motor a velocidad máx. (P-01) 5: Sobrecarga del motor (corriente > P-08)	1 : (Accionamiento en buen estado)	Función de salida del relé. Los contactos se cierran si la condición seleccionada es verdadera. Cuando P-18= 3, (velocidad cero), los contactos del relé se cierran cuando la frecuencia de salida es superior al 5 % de la frecuencia básica. El accionamiento se encuentra sobrecargado cuando la corriente del motor supera P-08
P-19	Selección de la función de entradas digitales	0 a 12	0	Define la función de entradas digitales (véase también P-16 y la tabla Entradas digitales)
P-20	Velocidad manual/preajustada 1	-P-01 (inverso) a P-01	50 Hz	Define la velocidad manual/preajustada 1
P-21	Velocidad manual/preajustada 2	-P-01 (inverso) a P-01	0 Hz	Define la velocidad manual/preajustada 2
P-22	Velocidad manual/preajustada 3	-P-01 (inverso) a P-01	0 Hz	Define la velocidad manual/preajustada 3
P-23	Velocidad manual/preajustada 4	-P-01 (inverso) a P-01	0 Hz	Define la velocidad manual/preajustada 4
P-24	Sin utilizar			
P-25	Función de salida analógica	(A) 0: Velocidad del motor 1: Corriente del motor (D) 2: Accionamiento activado 3: Velocidad de ajuste	0	Selección de salida analógica Si P-25 = 0, entonces 10 V = 100 % de P-01, o si P-25 =1, entonces 10 V = 200 % de P-08. P-25 = 2 ó 3 obtiene una salida digital de 10 V.
P-26	Factor de ajuste de característica V/f	20 % a 250 %	100 %	Utilizado con P-29 para ajustar la característica V/f. Cuando P-26 > 100 %, la tensión del motor aumenta; cuando P-26 < 100 %, la tensión se reduce
P-27	Omisión de Frecuencia/velocidad	0 a P-01 (máx.)	0 Hz	Punto central para la banda de frecuencia de omisión. La banda de frecuencia de omisión que se define en P-27, P-28 se refleja en torno a cero para velocidades negativas.
P-28	Banda de omisión de frecuencia/velocidad	0 a 100 % de la velocidad/frecuencia nominal P-09	0 Hz	Ancho de banda de frecuencia de omisión, cuyo centro se define en P-27.
P-29	Frecuencia de ajuste de característica V/f	0 a frecuencia de base (P-09) (Función desactivada cuando se establece en cero)	0 Hz	Establece la frecuencia a la que se consigue un efecto máximo del factor de ajuste V/f en P-26. De este modo, se incrementa o reduce la tensión del motor a la frecuencia de P-29 cuando el factor se establece en P-26.

Cuadro 4. 2.a: Grupo de parámetros ampliados.

P-30	Modo de arranque del accionamiento	Flanco-r: Cierre de entrada digital 1 después puesta en marcha para arrancar el accionamiento el accionamiento se arranca siempre que la entrada digital 1 esté cerrada. Auto-0: Auto-1..4: como Auto-0, salvo 1..4 Intenta arrancar de nuevo después de un disparo	Auto-0	Una vez que se establece en Flanco-r, si el accionamiento se activa con la entrada digital 1 cerrada (habilitado), el accionamiento no arranca. Para que el accionamiento arranque, el interruptor debe abrirse y cerrarse después de la puesta en marcha o tras la eliminación de una falla. Una vez que se establece en Auto-0, la unidad se arranca siempre que la entrada digital 1 esté cerrada (si no ha tenido una falla). Auto-1..4 realiza 1..4 intentos para efectuar nuevamente el arranque automático después de una falla (25 s entre intentos). Una vez se haya eliminado la falla, arranca el accionamiento. Para resetear el contador de autoreset, el accionamiento debe apagarse, resetearse a través del teclado o mediante la reactivación del accionamiento. Cuando se establece P-12 en 1 ó 2, P-30 cambia automáticamente a Flanco-r.
P-31	Tensión de inyección de corriente continua	0,1 a 20 % de tensión máx.	10 %	Si la selección de P-05 es «rampa para parar», P-31 establece el nivel de frenado de corriente continua aplicado cuando la rampa llega a cero
P-32	Tiempo de frenado por inyección de corriente continua	0 a 250 s	0 s	Si la selección de P-05 es «rampa para parar», P-32 establece la duración del frenado de corriente continua aplicado cuando la rampa llega a cero
P-33	Inyección de corriente continua activada	0: Inactivo 1: Activado	0	Cuando está en 1, la inyección de corriente continua se aplica siempre que se activa el accionamiento
P-34	Sin utilizar		0	
P-35	Factor de escala de referencia de velocidad (analógica o digital)	1 % a 500 %	100 %	Escala hacia arriba o hacia abajo la entrada analógica en el control de boma 6, o la referencia digital en el modo de teclado (o Esclavo) (consulte P-12).
P-36	Sin utilizar			
P-37	Definición de código de acceso	0 a 9999	101	Define el código de acceso del conjunto de parámetros ampliado, P-14
P-38	Bloqueo de acceso de parámetros	0: Los parámetros se pueden modificar y guardar automáticamente al apagar 1: Los cambios de los parámetros no se han guardado al apagar 2: Sólo lectura. No se permiten cambios.	0 (se ha activado el acceso de escritura y el modo de guardado automático)	Controla el acceso del usuario a los parámetros. Cuando P-38 = 0, se pueden modificar todos los parámetros y estas modificaciones se guardan de forma automática. Cuando P-38 = 1, se pueden realizar modificaciones, pero éstas no se guardan cuando MC LT está apagado. Cuando P-38 = 2, los parámetros se bloquean y no se pueden modificar, impidiendo, de este modo, el acceso no autorizado.
P-39	Contador de horas	0 a 99999 horas	Sólo lectura	Funciona independientemente del comando que permite resetear al valor por defecto
P-40	Identificador de accionamiento	Potencia de accionamiento/versión de software	Sólo lectura	Potencia de accionamiento, tipo de accionamiento y códigos de versión de software

Cuadro 4.2.b: Grupo de parámetros ampliados

P-19	Función Entrada 1	Función Entrada 2	Función Entrada 3	Información adicional
0	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	Abierto: Entrada analógica de tensión Cerrado: Entrada analógica de corriente	El formato de la entrada analógica de corriente se define en P-16, si P-16 se establece en 0-10 V; se adoptará un formato 4-20mA al cerrar la entrada 3
1	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/ preajustada 1 ó 2 que la entrada digital 3 ha seleccionado	Abierto: Velocidad manual/preajustada 1 Cerrado: Velocidad manual/preajustada 2	
2	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Entrada digital 2 Abierto + Entrada digital 3 Entrada digital 2 Cerrado + Entrada digital 3 Entrada digital 2 Abierto + Entrada digital 3 Entrada digital 2 Cerrado + Entrada digital 3	Abierto = Velocidad manual/preajustada 1 Abierto = Velocidad manual/preajustada 2 Cerrado = Velocidad manual/preajustada 3 Cerrado = Velocidad manual/preajustada 4	Entrada de tensión analógica utilizada como la cuarta entrada digital: si $5V < V_{in} < 30V$, entonces la velocidad preajustada se invierte
3	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Entrada de disparo externo: Abierto: DISPARO; Cerrado: sin disparo.	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	
4	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Abierto: Ejecutar hacia delante Cerrado: Ejecutar hacia atrás	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	
5	Abierto: Parada hacia delante (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia adelante (activado)	Abierto: Parada hacia atrás (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia atrás (activado)	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	Modo de rotura de cable. Parada rápida (P-07) activada cuando las entradas 1 y 2 se cierran al mismo tiempo.
6	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Abierto: Ejecutar hacia delante Cerrado: Ejecutar hacia atrás	Entrada de disparo externo: Abierto: DISPARO; Cerrado: sin disparo.	
7	Abierto: Parada hacia delante (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia adelante (activado)	Abierto: Parada hacia atrás (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia atrás (activado)	Entrada de disparo externo: Abierto: DISPARO; Cerrado: sin disparo.	Modo de rotura de cable. Parada rápida (P-07) activada cuando las entradas 1 y 2 se cierran al mismo tiempo.
8	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Abierto: Ejecutar hacia delante Cerrado: Ejecutar hacia atrás	Abierto: Velocidad manual/preajustada 1 Cerrado: Velocidad manual/preajustada 2	
9	Abierto: Parada hacia delante (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia adelante (activado)	Abierto: Parada hacia atrás (desactivado) Cerrado: Funcionamiento hacia atrás (activado)	Abierto: Velocidad manual/preajustada 1 Cerrado: Velocidad manual/preajustada 2	Modo de rotura de cable. Parada rápida (P-07) activada cuando las entradas 1 y 2 se cierran al mismo tiempo. La entrada analógica es la cuarta entrada digital. Cuando $V_{in} > 5V$, se seleccionan las velocidades preajustadas 3 / 4.
10	Normalmente abierto (N.A.) Momentáneamente cerrado para ejecutar hacia adelante	Normalmente cerrado (N.C.) Momentáneamente abierto para parar (desactivado)	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	
11	Normalmente abierto (N.A.) Momentáneamente cerrado para ejecutar hacia adelante	Normalmente cerrado (N.C.) Momentáneamente abierto para parar (desactivado)	Normalmente abierto (N.A.) Momentáneamente cerrado para ejecutar hacia atrás	
12	Abierto: Parada (desactivado) Cerrado: Funcionamiento (activado)	Cerrar para ejecutar Abrir para activar parada rápida (P-07)	Abierto: Referencia de velocidad analógica Cerrado: Velocidad manual/preajustada 1	Parada rápida (P-07) activada cuando la entrada 2 está abierta

Cuadro 4. 3: Entradas digitales, modo de borna (P-12 = 0, 3 ó 4).

CAPITULO V

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1 Descripción de la implementación

A continuación se presentarán los aspectos más relevantes de la implementación del prototipo del sistema de telemetría y telecontrol para control de velocidad de un motor eléctrico AC.

En el caso del cableado de envío y recepción de información, para la comunicación RS232 entre la tarjeta HFK-001 y la tarjeta SL6087 se utilizan tres cables de 24 AWG para el Tx (transmisor), Rx (receptor), GND (tierra). Para la comunicación entre la tarjeta HFK-001 y el variador de frecuencia MOVITRAC® MC LT E A 0004-201-1-00 se usan tres cables, para las señales PWM, AO2 y GND.

Para el cableado de la alimentación del variador de frecuencia, se ha tomado una derivación desde una instalación domiciliaria en 220 VAC monofásico a través de tres cables de 16 AWG, y el variador alimenta al motor mediante la señal VFP a través de tres cables de 16 AWG.

La Figura 5.1 muestra el sistema completo implementado.



Figura 5. 1: Sistema de telemetría y telecontrol.

5.2 Características de la página web

En el recuadro inferior que se muestra en la Figura 5.2 ingresamos manualmente la velocidad deseada en rpm y apretamos el botón Enviar, será enviada al microcontrolador mediante la tarjeta SL6087, el microcontrolador enviará en señal analógica la información hacia el variador, éste posee una entrada analógica de 0-10V con lo cual regula el valor de la velocidad del motor.

Velocidad:



ID	FECHA-HORA	VELOCIDAD
33	2015-01-07 11:57:27	800
32	2014-06-18 15:08:53	12
31	2014-06-14 14:15:19	400
30	2014-06-14 13:59:35	50
29	2014-06-14 13:56:34	100

Figura 5. 2: Grupo de datos de velocidades ingresadas, telecontrol.

La velocidad recibida desde el motor se mostrará en los valores de velocidad recibida en el cuadro inferior izquierdo y la gráfica de los doce últimos valores leídos (ver Figura 5.3).

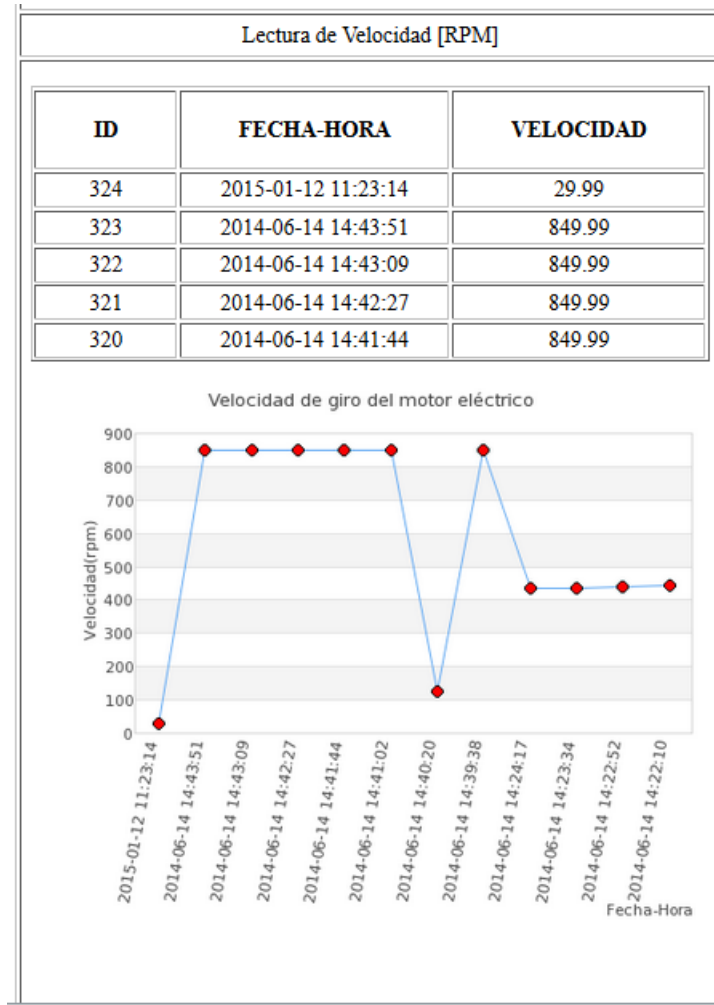


Figura 5. 3: Grupo de datos de velocidades leídas desde el motor, telemetría.

En cada grupo de velocidades tanto recibidas como enviadas se mostrarán en la web los últimos cinco valores, teniendo toda la data en el servidor, graficando los últimos doce datos que han sido guardados en el servidor.

5.3 Funcionamiento y pruebas del sistema

Para verificar la funcionalidad del sistema, se ingresó el valor de 800 RPM en la web. Para corroborar la velocidad de giro del motor se utiliza un tacómetro, el cual se describirá a continuación.

- Lectura de Velocidad del Motor mediante tacómetro

Para verificar que la velocidad deseada en rpm, ingresada en la página web mecaprojects.com coincide con la velocidad a la que gira el motor, utilizamos el tacómetro digital CEM DT-6236B, su láser nos brindará directamente el valor de la velocidad en rpm.

Especificaciones técnicas del tacómetro mostrado en la Figura 5.4:

Referencia	:	DT-6236B
Tipo	:	Contacto y fotoeléctrico con mira laser
Rango contacto	:	0.5-19.999 RPM
Rango fotoeléctrico	:	2,5 a 99.999RPM
Rango Velocidad	:	0,05 a 1.999,9 m/min
Distancia para sensor fotoeléctrico:		50 a 500 mm
Resolución	:	0.1 a 1 RPM; 0.01 a 0.1 m/min
Exactitud	:	$\pm (0,05\% + 1 \text{ dig})$

Algunas Características y funciones

Memorias: Ultima lectura, Máx, Mín, Baterías 4x1.5 V AA



Figura 5. 4: Tacómetro digital CEM utilizado.

Se ingresó el valor de 800 rpm en la web como muestra la Figura 5.5.

Velocidad:



ID	FECHA-HORA	VELOCIDAD
33	2015-01-07 11:57:27	800
32	2014-06-18 15:08:53	12
31	2014-06-14 14:15:19	400
30	2014-06-14 13:59:35	50
29	2014-06-14 13:56:34	100

Figura 5. 5: Envío de velocidad 800 rpm.

Para corroborar la velocidad de giro del motor se utiliza un tacómetro digital CEM DT-6236B, su láser nos brindará directamente el valor de la velocidad en rpm. Como muestra la Figura 5.6, esta lectura nos da 807 rpm.



Figura 5. 6: Lectura de velocidad del motor con tacómetro.

Así mismo obtenemos la gráfica de los doce últimos valores registrados en el servidor, esta gráfica nos ayuda en el mantenimiento predictivo del accionamiento.

Las siguientes gráficas muestran casos de comportamientos de la velocidad del motor versus el tiempo, en la Figura 5.7 se observa que aproximadamente cada noventa segundos la velocidad baja a cero por un lapso de veinte segundos, esta lectura nos puede indicar que existe algún objeto que esté impidiendo su giro, se debe analizar llamando a los operarios que se encuentren en la planta industrial.

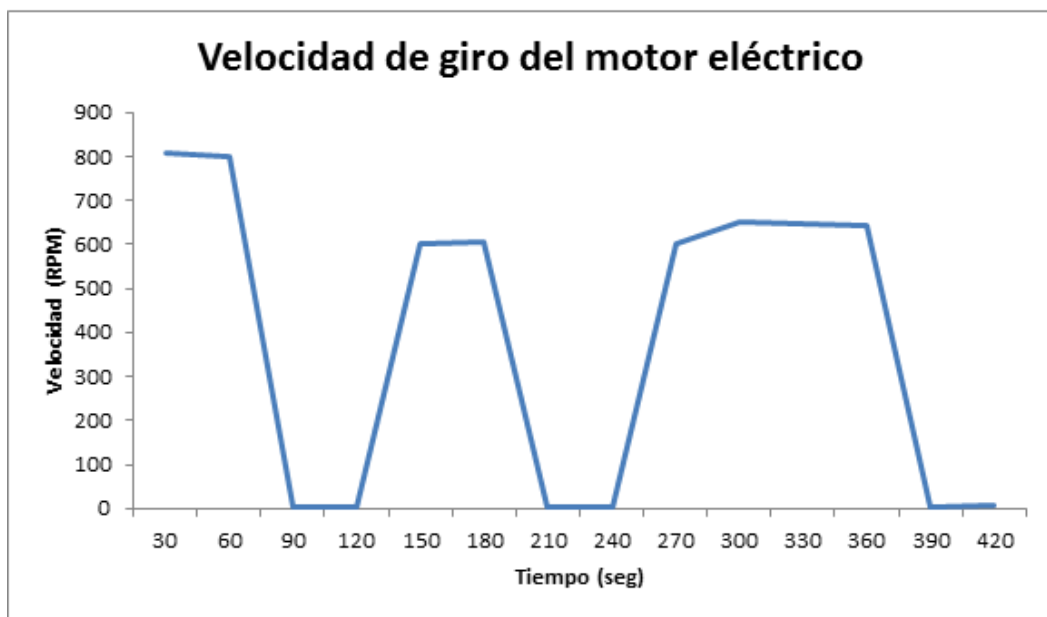


Figura 5. 7: Caso de mantenimiento 1.

En la Figura 5.8 se observa que la velocidad de 800rpm disminuye a 750 rpm a los 210 segundos, esto nos puede indicar un desgaste de rodamientos, ya que inicialmente el variador inyectará mayor corriente para mantener la velocidad deseada 800 rpm, pero con el tiempo se notará la disminución de la velocidad, ya que los rodamientos se desgastarán más y el variador ya no podrá cubrir este requerimiento.

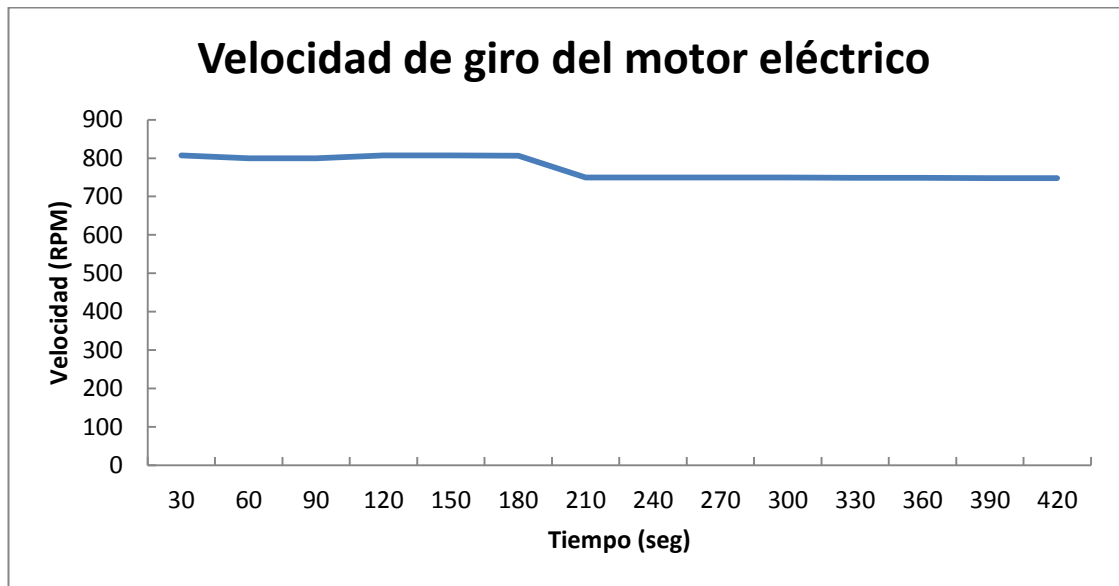


Figura 5. 8: Caso de mantenimiento 2.

En el caso de mantenimiento 3 de la Figura 5.9, la velocidad deseada de 800 rpm disminuye aproximadamente hasta cero en el segundo 300, esto nos puede indicar que hay un atoramiento total en el motor, por tanto inmediatamente se debe setear el valor de giro del motor a cero, para que no exista un sobrecalentamiento del variador, y esto pueda ocasionar perjuicios.

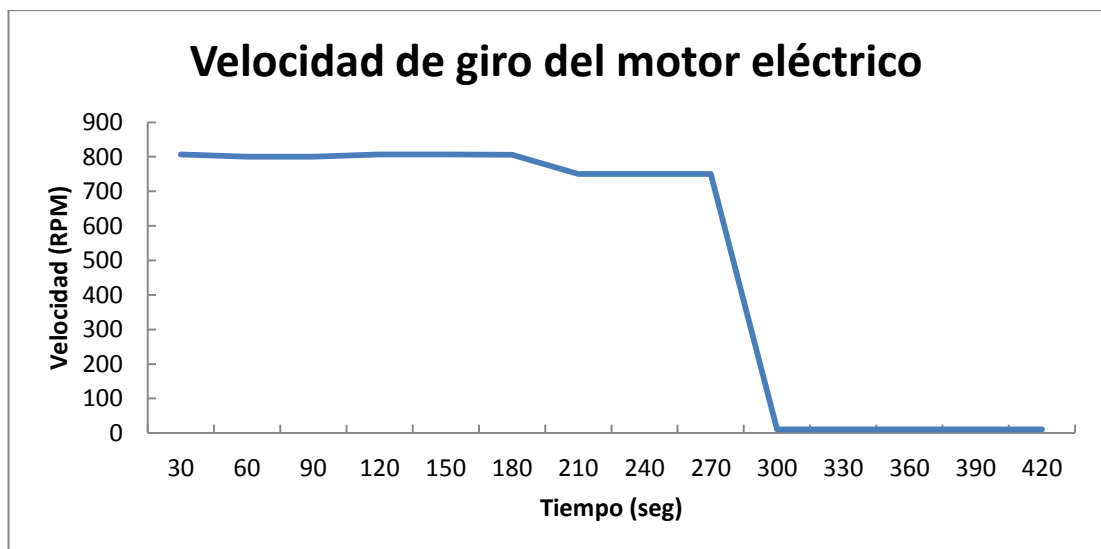


Figura 5. 9: Caso de mantenimiento 3.

CAPITULO VI
ESTUDIO ECONÓMICO

6.1 Costo total del equipo incluyendo puesta en marcha

6.1.1 Costo por mano de obra

Para la programación del servidor y del microcontrolador se han utilizado treinta horas, el precio a considerar por hora es de 60 soles. Por lo tanto el costo total por programación sería el resultado de la ecuación 6.1.

$$30 \times 60 = 1800 \text{ nuevos soles} \quad (6.1)$$

6.1.2 Costo de materiales

Para la implementación y las pruebas con el accionamiento, se han comprado los siguientes materiales, cuyos costos se resumen en la Tabla 6.1.

TARJETAS Y EQUIPOS	PROVEEDOR	COSTO(S/.)
Tarjeta SL6087	DELCOMP	S/. 270.00
Tarjeta HFK-001	HI FI	S/. 100.00
PIC 16F877A	HI FI	S/. 14.00
Cables	HI FI	S/. 10.00
Alquiler del servidor	INKAWEBDESIGN	S/. 75.00
Variador MOVITRAC® MC LT E A 0004-201-1-00	SEW EURODRIVE	S/. 300.00
Motor 1HP	SEW EURODRIVE	S/. 769.00
	TOTAL	S/. 1,538.00

Tabla 6. 1: Costo total de los materiales utilizados.

La Tabla 6.2 muestra el costo de los materiales para la comunicación remota, excluyendo el accionamiento conformado por el variador y motor, ya que el accionamiento ya se debe encontrar en la planta industrial, comprado por el cliente.

TARJETAS Y EQUIPOS	PROVEEDOR	COSTO(S/.)
Tarjeta SL6087	DELCOMP	S/. 270.00
Tarjeta HFK-001	HI FI	S/. 100.00
PIC 16F877A	HI FI	S/. 14.00
Cables	HI FI	S/. 10.00
Alquiler del servidor	INKAWEBDESIGN	S/. 75.00
	TOTAL	S/. 469.00

Tabla 6. 2: Costo del sistema de telemetría de la presente tesis.

6.1.3 Costo total del equipo

Para el costo total se considera los gastos en mano de obra (Ecuación 6.1), costo de los materiales (Tabla 6.2) y el precio de la instalación del sistema en la planta industrial, mostrado en la Tabla 6.3.

	COSTO(S/.)
Mano de obra	S/. 1,800.00
Equipos y software	S/. 469.00
Instalación	S/. 2,500.00
TOTAL	S/. 4,769.00

Tabla 6. 3: Costo total considerando la instalación en la planta industrial.

6.2 Comparación de precios con el equipo de telemetría de Siemens

Se realizará un análisis entre los precios del equipo de telemetría de la empresa Siemens y el sistema de telemetría y telecontrol de la presente tesis.

Siemens ofrece equipos de telecontrol que se acopla a los variadores de frecuencia de su misma marca. La Tabla 6.3 muestra tanto el hardware como

software que se debe comprar a esta empresa, para implementar en sistema. En el caso del software cada año se debe renovar la licencia.

EQUIPOS	PROVEEDOR	COSTO (€)	COSTO(S/.)
CP 1242-7 GPRS module	SIEMENS	1,097.20 €	S/. 3,840.20
Omni Directional Antenna	SIEMENS	119.60 €	S/. 418.60
Software License for up to 8 stations	SIEMENS	964.60 €	S/. 3,376.10
Instalación	SIEMENS	928.57 €	S/. 2,500.00
		TOTAL	S/. 10,134.90

Tabla 6. 4: Costo del equipo de telemetría de la empresa Siemens.

El precio del equipo de telemetría de Siemens es 213% mayor que el sistema de comunicación remota implementado en la presente tesis, además se debe considerar que la licencia del software se debe renovar cada año. La ecuación 6.2 es la división entre el equipo de Siemens y el de la presente tesis.

$$\frac{10,134.90}{4,769.00} = 2.13 \quad (6.2)$$

6.3 Ahorro por visitas de mantenimiento

Ahorro por vistas del especialista para el mantenimiento de los equipos cuesta 1500 nuevos soles, el especialista realiza una visita cada dos meses, ellos nos ayudará para evaluar el período de retorno de inversión.

6.4 Período de retorno de inversión

Se evalúa el tiempo que tomará la recuperación de nuestra inversión; esta evaluación se resume en la Tabla 6.5 mostrada a continuación.

Período (Bimestral)	0	1	2	3	4
Inversión	S/. 4,769.00				
Ahorro por mantenimiento		S/. 1,500.00	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
Pendiente por recuperar	S/. 4,769.00	S/. 4,769.00	S/. 3,269.00	S/. 1,769.00	S/. 269.00
Saldo a recuperar	S/. 4,769.00	S/. 3,269.00	S/. 1,769.00	S/. 269.00	S/. -1,231.00

Tabla 6. 5: Análisis del retorno de inversión.

Como se observa la recuperación del precio pagado por el sistema de telemetría y telecontrol del presente proyecto, muestra la recuperación en el cuarto bimestre. Por tanto a partir del octavo mes ya podemos generar ahorro para la compañía.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó el sistema de telemetría y telecontrol de la velocidad del motor de corriente alterna usando el protocolo GPRS, de manera satisfactoria, logrando un prototipo competitivo, el cual ha logrado registrar valores de la velocidad del motor de corriente alterna en 42 segundos, en la interfaz se observarán los 5 últimos valores de velocidad a las que giró el motor, además se muestra una gráfica de los doce últimos valores de velocidad, esta gráfica se analiza, como se mostró en la Figura 5.3, para determinar comportamientos del motor eléctrico.
- Se utilizó la comunicación móvil GPRS por ser más económica y brindarnos acceso a internet, a diferencia de la tecnología GSM/SMS, en el cual su costo es por tiempo de uso de la comunicación o por cada mensaje enviado, mientras que en GSM/GPRS el costo es por un paquete de bytes intercambiados, para esta comunicación se debe configurar la transferencia de datos mediante el protocolo TCP/IP y la tecnología GPRS al módulo SL6087, luego se enviarán los datos de las lecturas de velocidad de giro del motor eléctrico, estos datos tienen una frecuencia de 42 segundos, es decir cada 42 segundos se registra el valor de la velocidad de giro del motor. Por otro lado se envía la velocidad del motor requerida por el usuario.

- Mediante el sistema de telemetría usado y la publicación de los datos en una página web, se logró que los usuarios se mantengan informados de la velocidad del motor, el cual se puede asemejar a un sistema SCADA inalámbrico, y poder de esta manera analizar los fenómenos que ocurren en un motor AC como atoramiento, que es el caso de las Figuras 5.7 y 5.9, en los que se muestran un atoramiento parcial, por momentos la velocidad baja hasta cero, hay sobrecarga, y el atoramiento total en el cual la velocidad es cero luego de los 300 segundos, en este caso es necesario setear la velocidad a cero, ya que el variador de frecuencia se puede perjudicar, por la constante sobrecarga. Otro caso de mantenimiento predictivo que se puede detectar es el desgaste de rodamientos, en la Figura 5.8 se observa una caída de la velocidad de 50 rpm, el cual nos puede indicar que los rodamientos del motor están desgastados.
- Se logró controlar la consigna de velocidad del motor con solo tener acceso a la página web, ingresando el valor de la velocidad deseada y monitoreando el valor de la velocidad actual del motor. El variador de frecuencia utiliza el control escalar, para variar la velocidad de acuerdo a la variación de frecuencia, la frecuencia es regulada por la señal PWM que recibe del microcontrolador PIC por medio de su puerto analógico. En la programación la información que se envía desde el servidor es inicializada por la letra V, luego el valor de la velocidad ingresada y finalmente la letra T, estas letras se envían para que el microcontrolador reconozca y lea la velocidad enviada.

- Se realizó el diseño de software para el prototipo del sistema de telemetría y telecontrol basado en programación en lenguaje PHP-MySQL en el servidor y en lenguaje C en el microcontrolador. La interfaz se realiza en lenguaje PHP en el software Dreamweaver, la lectura de datos del servidor y el ingreso de datos a este es configurado en el programa index.php. Los resultados se muestran en la página web mecaprojects.com, se observa que hay dos tablas en las cuales figuran los cinco últimos valores de velocidad ingresados y leídos. Además se muestra una gráfica de los últimos doce valores de velocidad de giro del motor, tomando en cuenta que entre cada dos lecturas de velocidad hay 42 segundos.

- Se realizó la conversión de la señal digital que se obtiene de la base de datos a señal analógica mediante el microconcontrolador, a través de que el módulo SL6087 nos proporcionó el valor de la velocidad en digital, la señal analógica brindada por el microcontrolador es una señal PWM de frecuencia 1.2KHz, que nos modulará la señal de 0-5V. La información recibida es la letra V, el valor de la velocidad ingresada y la letra T, el puerto serial del microcontrolador detectará mediante la interrupción serial, si ha sido enviada la letra V, luego continuará leyendo la cadena de caracteres, el último carácter de la velocidad se encuentra antes de la letra T, por lo que se guardará en un array el valor de la cadena de sólo la velocidad.

- Se logró configurar en el variador de frecuencia, con el objetivo de regular la velocidad del motor eléctrico de corriente alterna, mediante el puerto analógico del variador de frecuencia y la señal PWM. El variador de

frecuencia utiliza el control escalar, el cual se ha detallado la configuración del variador en la sección 4.3.3.

RECOMENDACIONES

1. Para industrias que se ubican a grandes altitudes es preferible cambiar el microcontrolador PIC, ya que tiene inconvenientes con su correcto funcionamiento, toda esta programación podría configurarse en el integrado SIERRA WIRELESS AirPrime SL6087.
2. Se podría cambiar la comunicación móvil 2.5G por la 3G o 4G, en el desarrollo de futuros prototipos de diseño del sistema de telemetría y telecontrol, para incrementar la velocidad de transmisión, por lo que su tarifa es más costosa. La tecnología 3G es recomendada para envío de videos e imágenes
3. Los programas del microcontrolador PIC y del servidor se pueden ampliar a la cantidad necesaria de accionamientos que se necesiten, tomando en cuenta que la frecuencia de los datos de velocidad obtenidos será mayor a 42 segundos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Calloni, M. (2007). *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas*. Argentina: Nobuko
- [2] SEW DEL PERU MOTORES REDUCTORES S.A.C. (2006). *Catálogo MOVITRAC MC LTE / LTS*. PERU: [s.n]
- [3] SIERRA WIRELESS (2011). *AT Command Manual for Firmware L22*. Canada: [s.n]
- [4] SIERRA WIRELESS (2011). *AT Commands Interface Guide for Firmware 7.45*. Canada: [s.n]
- [5] SIERRA WIRELESS (2013). *Product Technical Specification & Customer Design Guidelines AirPrime SL6087*. Canada: [s.n]
- [6] SIEMENS (2013). *Industrial Remote Communication: Data Communication via GPRS with S7-1200 and CP 1242-7*. Alemania: [s.n]
- [7] WAVECOM (2008). *AT COMMANDS USER GUIDE FOR WAVECOM IP*. Francia: [s.n]
- [8] SEW EURODRIVE (2008). *AC Motor Basics: Operation and Construction*. Alemania: [s.n]

[9] PHILIPS (2002), *Philips Telemetry System*, E.E.U.U. : [s.n]

[10] Barnes, M. (2013). *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*.
Australia: Vivek Mereh

[11] Schlumberger (2013). *Online Interactive Learning Awareness Topics*. Francia :
[s.n]

[12] HI FI (2013), *Manual para tarjeta entrenadora HFK-001 para PIC16F877*. Peru:
[s.n]

Página web (referencias)

[1] Gamero, M. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA Y TELECONTROL DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR ELÉCTRICO USANDO LA TECNOLOGÍA GPRS*. Enero 02, 2015. Sitio web:
<http://mecaprojects.com/>

APÉNDICE A

PROGRAMAS

En esta sección se colocan los códigos de los programas utilizados tanto en el servidor como en el microcontrolador.

A.1 Programa Index.php

```
<?php require_once('Connections/DBtelemetria.php'); ?>
<?php

$mysqli = new mysqli('localhost', 'mecaproj_mile', $password_DBtelemetria ,
'mecaproj_telemetria');
if (mysqli_connect_errno())
{
printf("Error de conexion: %s\n", mysqli_connect_error());
exit();
}

?><title>Telemetria y Telecontrol</title>
<style type="text/css">
<!--
.style1 {font-family: Georgia, "Times New Roman", Times, serif}
.style2 {font-family: Georgia, "Times New Roman", Times, serif; font-size: 24px; }
.style3 {font-family: Georgia, "Times New Roman", Times, serif; font-size: 18px; }
-->
</style>
</head>

<body>
<table width="999" height="639" border="1">
<tr>
<td height="76" colspan="2" align="center"><h1 align="center">Diseño e
Implemetación de un Sistema de Telemetria y Telecontrol de la velocidad de un
motor eléctrico Usando la tecnología GPRS</h1></td>
</tr>
<tr>
<td height="40" colspan="2" align="center"><p align="center"
class="style2">UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</p>
<p align="center" class="style3">FACULTAD DE INGENIER&iacute;A
MEC&Aacute;NICA</p>
<p align="center" class="style1"></p> </td>
```

```

</tr>
<tr>
<td width="464" height="32" align="center" valign="middle"><div
align="center">Lectura de Velocidad [RPM] </div></td>
<td width="519" align="center">Env&iacute;o de Velocidad </td>
</tr>
<tr>
<td height="163" align="left" valign="middle"><form id="form2" name="form2"
method="post" action="">
<p align="center">
<label for="datos_recibidos"></label>
</p>
<div align="center">
<table width="351" height="95" border="1">
<tr>
<th width="32" scope="col"><div align="center">
<blockquote>
<p>ID</p>
</blockquote>
</div></th>
<th width="201" scope="col"><div align="center">
<blockquote>
<p align="center">FECHA-HORA</p>
</blockquote>
</div></th>
<th width="96" scope="col"><div align="center">
<blockquote>
<p>VELOCIDAD</p>
</blockquote>
</div></th>
</tr>
<tr>
<td colspan="3"><?php
$query1 = "SELECT id, fecha_hora, velocidad FROM datos_recibidos ORDER by id
DESC LIMIT 5";

$resultado1 = $mysqli->query($query1);

?>
<tr>
<td><div align="center"><?php echo $fila1[0]; ?></div></td>
<td><div align="center"><?php echo $fila1[1]; ?></div></td>
<td><div align="center"><?php echo $fila1[2]; ?></div></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3"><?php } ?>
</table>
<p></p>
<p>&nbsp;</p>
</div>
</form></td>
<td width="519" align="center">

```



```

<p align="center">
  <form method="post" action="dtecnicos/dvariador.php">
    <input name="Enviar2" type="submit" id="Enviar2" value="Par&aacute;metros del
VDF" />
  </p></form>
  <p align="center">
    <form method="post" action="dtecnicos/dmotor.php">
      <input name="Enviar3" type="submit" id="Enviar3" value="Par&aacute;metros del
motor" />
    </p></form>
  <p align="center">&nbsp;</p>
</div>
<form action="<?php echo $editFormAction; ?>" method="POST"
name="enviar_Datos" id="enviar_Datos">
<p>
Velocidad:
<?php
if ($_POST != NULL)
$velocidad = $_POST["velocidad"];
else
$velocidad = "";

$velocidad = trim($velocidad);

if ( strcmp($velocidad, "" ) != 0)
{

$stmt = $mysqli->prepare("INSERT INTO Prueba1 VALUES (?, ?, ?)");
$stmt->bind_param('isd', $ID, $FECHA_HORA, $VELOCIDAD);

$ID = 0;
$FECHA_HORA = date("Y-m-d H:i:s");
$VELOCIDAD = $velocidad;

$stmt->execute();
}

?>
<label for="velocidad"></label>
<input name="velocidad" id="velocidad" VALUE="" />
<input name="Enviar" type="submit" id="Enviar" value="Enviar" />
</p>
<p>
  <label for="datos_Enviados"></label>
  </p>
<p>&nbsp;</p>
<table border="1">
<tr>
<td><div align="center">ID</div></td>
<td><div align="center">FECHA-HORA</div></td>

```

```

<td><div align="center">VELOCIDAD</div></td>
</tr>
<?php
$query2 = "SELECT id, fecha_hora, velocidad FROM Prueba1 ORDER by id DESC
LIMIT 5";
$resultado2 = $mysqli->query($query2);

?>
<?php while ($fila2 = $resultado2->fetch_row()) { ?>
<tr>
<td><div align="center"><?php echo $fila2[0]; ?></div></td>
<td><div align="center"><?php echo $fila2[1]; ?></div></td>
<td><div align="center"><?php echo $fila2[2]; ?></div></td>
</tr>
<?php } ?>
</table>
<p>&nbsp;</p>
</form></td>
</tr>
</table>
<!-- #BeginDate format:IS1m -->2014-05-13 14:44<!-- #EndDate -->
</body>
</html><?php

?>

```

A.2 Programa enviar.php

```

<?php require_once('Connections/DBtelemetria.php'); ?>
<?php
if (!function_exists("GetSQLValueString")) {
function GetSQLValueString($theValue, $theType, $theDefinedValue = "",
$theNotDefinedValue = "")
{
if (PHP_VERSION < 6) {
    $theValue = get_magic_quotes_gpc() ? stripslashes($theValue) : $theValue;
}

    $theValue = function_exists("mysql_real_escape_string") ?
mysql_real_escape_string($theValue) : mysql_escape_string($theValue);

switch ($theType) {
case "text":
    $theValue = ($theValue != "") ? "'" . $theValue . "'" : "NULL";
    break;
case "long":
case "int":
    $theValue = ($theValue != "") ? intval($theValue) : "NULL";
    break;
case "double":
    $theValue = ($theValue != "") ? doubleval($theValue) : "NULL";

```

```

        break;
    case "date":
        $theValue = ($theValue != "") ? "" . $theValue . "" : "NULL";
        break;
    case "defined":
        $theValue = ($theValue != "") ? $theDefinedValue : $theNotDefinedValue;
        break;
    }
    return $theValue;
}
}
?>
<?php
$velocidad = (isset($_GET['estado'])) ? $_GET['estado'] : null;
if ( strcmp($velocidad, "" ) != null)
{
    $mysqli = new mysqli('localhost', 'mecaproj_mile', 'mecatronica',
'mecaproj_telemetria');
    if (mysqli_connect_errno()) {
        printf("Error de conexión: %s\n", mysqli_connect_error());
        exit();
    }
    $stmt = $mysqli->prepare("INSERT INTO datos_recibidos VALUES (?, ?, ?)");
    $stmt->bind_param('isd', $ID, $FECHA_HORA, $VELOCIDAD);

    $ID = 0;
    $FECHA_HORA = date("Y-m-d H:i:s");
    $VELOCIDAD = floatval($velocidad);
    $stmt->execute();
//Leer datos para enviar al modulo
    $query = "SELECT velocidad FROM datos_enviar ORDER by fecha_hora DESC
LIMIT 1";
    $resultado = $mysqli->query($query);
    $fila = $resultado->fetch_row();
    echo "V";
    if ($fila)
        echo $fila[0];
    echo "T";
    $mysqli->close();
}
?>

```

A.3 Programa DBtelemetría.php

```

<?php
# FileName="Connection_php_mysql.htm"
# Type="MYSQL"
# HTTP="true"
$hostname_DBtelemetria = "localhost";

```

```

$database_DBtelemetria = "mecaproj_telemetria";
$username_DBtelemetria = "mecaproj_mile";
$password_DBtelemetria = "mecatronica";
$DBtelemetria = mysql_pconnect($hostname_DBtelemetria,
$username_DBtelemetria, $password_DBtelemetria) or
trigger_error(mysql_error(),E_USER_ERROR);
?>

```

A.4 Programa graficas.php

```
<?php // content="text/plain; charset=utf-8"
```

```

require_once ('src/jpgraph.php');
require_once ('src/jpgraph_line.php');
require_once ('src/jpgraph_error.php');
require_once('Connections/DBtelemetria.php');

```

```

$con=mysqli_connect("localhost","mecaproj_mile",$password_DBtelemetria,"mecap
roj_telemetria");
mysqli = new mysqli('localhost', 'mecaproj_mile', $password_DBtelemetria ,
'mecaproj_telemetria');
if (mysqli_connect_errno())
{
printf("Error de conexion: %s\n", mysqli_connect_error());
exit();
}

```

```

$x_axis = array();
$y_axis = array();
$i = 0;

```

```

$result = mysqli_query($con,"SELECT * FROM datos_recibidos ORDER by id
DESC LIMIT 12");

```

```

while($row = mysqli_fetch_array($result)) {
$x_axis[$i] = $row["fecha_hora"];
$y_axis[$i] = $row["velocidad"];
    $i++;
}

```

```
    mysqli_close($con);
```

```

$graph = new Graph(500,400);
$graph->img->SetMargin(80,20,35,150);
$graph->img->SetAntiAliasing();
$graph->SetScale("textlin");
$graph->SetShadow();
$graph->title->Set("Velocidad de giro del motor eléctrico");
//$graph->title->SetFont(FF_FONT1,FS_BOLD);

```

```
// Use 20% "grace" to get slightly larger scale than min/max of
// data
```

```
$graph->yaxis->title->Set("Velocidad(rpm)");
$graph->yaxis->SetLabelAlign('right','center');
$graph->yscale->SetGrace(0);
$graph->yaxis->SetLabelMargin(2);
```

```
$graph->xaxis->title->Set("Fecha-Hora");
$graph->xaxis->SetTitleMargin(110);
$graph->xaxis->SetTickLabels($x_axis);
$graph->xaxis->SetLabelAngle(80);
$graph->xaxis->SetLabelMargin(3);
```

```
$p1 = new LinePlot($y_axis);
$p1->mark->SetType(MARK_FILLEDCIRCLE);
$p1->mark->SetFillColor("red");
$p1->mark->SetWidth(4);
$p1->SetColor("blue");
$p1->SetCenter();
$graph->Add($p1);
```

```
$graph->Stroke();
```

```
?>
```

A.5 Programa del Microcontrolador

```
#include <16F877A.h>
#use delay(clock=1000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
#fuses HS,NOPROTECT,NOWDT,NOLVP //PUT
#include <stdlib.h>
//#include "lcd.c"
```

```
char rcvchar=0x00; // último caracter recibido
char ch[5]="\0";
char cm[5]="\0";
int i,j,m;
int c1;
int f=0;
int band;
int value;
float dut, value1,c;
#INT_RDA //interrupcion cuando se activa el serial
rda_isr()
{
  rcvchar=getch(); // lo descargo y ...
  if(rcvchar=='V'){
    ch[0]=' ';
```

```

ch[1]=' ';ch[2]=' ';ch[3]=' ';ch[4]=' ';
i=1;
m=1;
f=0;
}

if(i==1){
ch[f]=rcvchar;
f++;
if(rcvchar=='T'){
i=0;
m=1;
}
}
}

void main(void)
{
char enter = 0x0b;
SET_TRIS_D(0x05);//entrada
//SET_TRIS_A(0x05);//entrada
output_high(PIN_D2);

enable_interrupts(GLOBAL);
enable_interrupts(INT_RDA);//habilita interrupcion del serial rs232
setup_adc_ports(AN0);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
setup_ccp1(CCP_PWM); // Configura el CCP1 para trabajar en PWM
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 127, 1); // Frecuencia de 1'2KHz

while(1){
printf("at");
printf("\n");

delay_ms(2000);
printf("at+wopen=1");
printf("\n");
delay_ms(2000);
printf("at+wipcfg=1");
printf("\n");

delay_ms(2000);
printf("at+wipbr=1,6");
printf("\n");

delay_ms(2000);
printf("at+wipbr=2,6,11,\"claro.pe\"");
printf("\n");

delay_ms(2000);
printf("at+wipbr=2,6,0,\"claro\"");
}
}

```

```

printf("\n");

delay_ms(2000);
printf("at+wipbr=2,6,1,\"claro\"");
printf("\n");

delay_ms(1000);
printf("at+wipbr=4,6,0");
printf("\n");

delay_ms(9000);
delay_ms(1000);
printf("at+wipcreate=2,1,\"www.mecaprojects.com\",80");
printf("\n");
delay_ms(9000);
printf("at+wipdata=2,1,1");
printf("\n");

delay_ms(1000);
set_adc_channel(0);
delay_us(10);
value = read_adc();

value1=value;
value1= value1*3.3333; //value1*850/255 /1.25(factor)

printf("get /enviar.php?estado=");
printf("%f",value1);
printf(" HTTP/1.1");
printf("\n");
printf("HOST: www.mecaprojects.com\x0A\x0A");
printf("\n");
printf("\n");

delay_ms(9000);
for(j=1;j<=4;j++)
{ if(ch[j]=='T')
  {
    cm[j-1]=' ';
  }
  else
  {
    cm[j-1]=ch[j];
  }
}
if(m==1){
c=atof(cm); // velocidad rpm en entero
dut=c*0.1506; //c*128/850 *1.2(factor)
c1=dut;
set_pwm1_duty(c1);
m=0;}}}

```

APÉNDICE B

DATOS TECNICOS VARIADOR MCLTE

B.1 Capacidad de sobrecarga

Puede tener una sobrecarga de 150 % por 60 segundos o 175 % por 2 segundos.

B.2 Características de protección

Se puede detectar anomalías en el motor en caso se presenten las siguientes condiciones de irregularidad:

- Fase de salida - cortocircuito de fase de salida
- Fase de salida - cortocircuito a tierra
- Sobre fase de salida-corriente de disparo
- Sobrecarga térmica de corriente de salida
- Sobrecarga térmica del disipador de calor, disparo a 95 °C.
- Circuito intermedio sobretensión
- Circuito intermedio sub-tensión
- Disparo externo, mediante el termistor.

B.3 Conformidad

Todos los productos están en conformidad con los siguientes estándares internacionales:

- Marca CE para directiva de baja tensión
- Coordinación de aislamiento dentro dos sistemas de baja tensión IEC 664-1
- Equipamiento de conversión de potencia UL 508C

- Sistemas de potencia eléctrica de velocidad ajustable EN 61800-3
- EN 61000-6 / Inmunidad genérica -2, -3, -4 / Estándares de emisión (EMC)
- Nivel de protección conforme NEMA 250, EN 60529
- Clasificación de inflamabilidad conforme UL 94

B.4 Ambiental

Rango operacional de temperatura ambiente 0...50 °C a frecuencia PWM de 8 kHz

Rango máximo de temperatura ambiente: -40 °C...60 °C

Altitud máxima para operación nominal: 1000 m

Reducción de capacidad normal encima de 1000 m: 1 % / 100 m hasta no máximo 2000 m

Humedad relativa: <95 %

Clasificación de protección: IP22

Grado de protección

El Grado de protección IP hace referencia al estándar internacional IEC 60529 Degrees of Protection, utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico, en general de uso industrial como sensores, medidores, controladores, etc. Especifica un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados a los mismos por los contenedores que resguardan los componentes que constituyen el equipo.

Este estándar ha sido desarrollado para calificar de una manera alfa-numérica, como muestra la Figura B.1 y las tablas B.1 y B.2, a equipamientos en función del nivel de protección que sus materiales contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos

numéricos, el grado de protección del equipamiento puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

Las letras «IP» identifican al estándar, como regla general se puede establecer que cuando mayor es el grado de protección IP, más protegido está el equipamiento.

Nomenclatura estándar IEC 60529

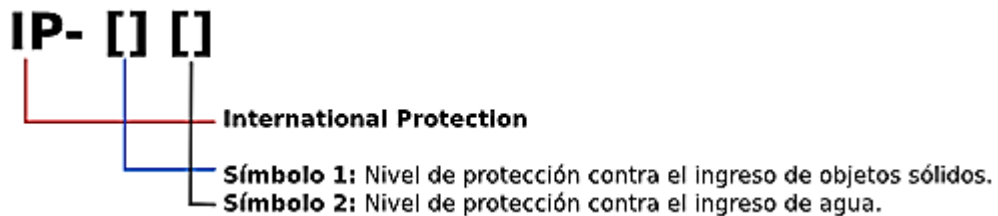


Figura B. 1: Nomenclatura IP.

Símbolo1

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	-	Sin protección
1	<50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	<12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	<2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	<1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

Tabla B. 1: Números IP referentes al símbolo 1.

Símbolo 2

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento en poco tiempo.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos, a razón de 3-5 mm ³ por minuto.
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos, a razón de 3-5 mm ³ por minuto. Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro, desde cualquier ángulo, por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.

6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros, desde cualquier ángulo por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento eléctrico y/o electrónico debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente.	No debe entrar agua

Tabla B. 2: Números IP referentes al símbolo 2.