



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un Sistema de
Monitoreo Aplicable a Microrredes**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Miguel Ángel Covarrubias Hernández

DIRECTOR DE TESIS

Dr. César Angeles Camacho



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Jurado asignado

PRESIDENTE: DR. GONZALO SANDOVAL RODRÍGUEZ

VOCAL: DR. CÉSAR ANGELES CAMACHO

SECRETARIO: ING. ALBERTO CORTEZ MONDRAGON

1er SUPLENTE DR. JUAN RAMÓN RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

2do SUPLENTE M.I. ROBERTO GIOVANNI RAMÍREZ CHAVARRÍA

Lugar donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

DR. CÉSAR ANGELES CAMACHO



Firma

Dedicatoria

Dedico ésta tesis a mis padres, por siempre darme el impulso para seguir adelante, por ayudarme en cada momento de mi vida y nunca dejar que me diera por vencido, a mis hermanas y sobrinas por estar siempre presentes ayudándome y alegrando cada momento, a cada amigo que me dio su apoyo cuando más lo necesitaba. Finalmente a Karina L. H., que estuvo conmigo en esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas para poder alcanzar mi meta dentro de la Facultad de Ingeniería. A cada uno de mis profesores de la carrera, por brindarme sus conocimientos para mi formación académica. Al Instituto de Ingeniería, al Centro Mexicano de Innovación en Energía – Océano y a la Dirección General de Tecnología de la Información y Comunicaciones, por todo el apoyo que me brindaron para la realización de este trabajo. Quiero agradecer especialmente al Dr. Cesar Ángeles Camacho y al M.C. José Guadalupe Fuentes Velázquez por la ayuda que recibí de ellos en todo momento.

Gracias a todos los que creyeron en mí...

Resumen

Este trabajo de tesis presenta el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo que permite tener el registro del comportamiento de una red eléctrica. El sistema presenta tres etapas: las mediciones eléctricas, que se realizan a partir de sensores y equipos de medición, concentradores que son los encargados de generar las bases de datos y por último la obtención de los archivos generados por los concentradores de manera remota.

El objetivo principal del diseño de un sistema de monitoreo es tener registros de cómo se comporta una red. Los registros de las variables se realizan en diferentes instantes de tiempo, y los archivos que contienen los datos de las mediciones se generan cada veinticuatro horas, cada registro cuenta con su respectiva estampa de tiempo. Las bases de datos podrán ser obtenidas de manera remota y también ser utilizadas para su análisis.

Contar con un sistema de monitoreo que sea capaz de llevar el registro del comportamiento eléctrico y además tener las respectivas estampas de tiempo, ayuda a que se conozca a qué hora se consume mayor energía, cuales son los equipos que emplean mayor potencia cuando se monitorean las cargas y poder llevar a cabo acciones preventivas o de ajustes para que se realice un mejor consumo energético y se despachen mejor la energía.

Abstract

This thesis paper presents the development and implementation of a monitoring system that allows to record the behavior of an electrical network. The system has three stages: electrical measurements, which are made from sensors and measuring equipment, concentrators that are responsible for generating the databases and finally obtaining the files generated by the concentrators remotely.

The main objective of the design of a monitoring system is to have records of how a network behaves. The records of the variables are made at different times, and the files containing the data of the measurements are generated every twenty-four hours, each record has its respective time stamp. The databases can be obtained remotely and also be used for analysis.

Have a monitoring system that is able to record the electrical behavior and also have the respective time stamps, helps to know at what time it consumes more energy, which are the equipment that uses more power when monitoring the loads and being able to carry out preventive actions or adjustments so that a better energy consumption is carried out and the energy is better dispatched.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Hipótesis.	3
1.4	Justificación	3
1.5	Objetivos.....	4
1.5.1	Objetivo General	4
1.5.2	Objetivos Específicos.....	4
1.6	Metodología.....	5
1.7	Logros.....	5
1.8	Estructura de la Tesis.....	6
2	Estado del Arte.....	7
2.1	Variables Eléctricas	7
2.1.1	Corriente.....	7
2.1.2	Voltaje	8
2.1.3	Armónicos	9
2.1.4	Potencia	10
2.2	Microrredes.....	12
2.2.1	Cargas en una Microrred	13
2.2.2	Generación Distribuida (GD)	13
2.2.3	Almacenamiento Distribuido (AD).....	14
2.3	Generación Eléctrica con energías del océano	15
2.3.1	Introducción	15
2.3.2	Energía Undimotriz	16
2.3.3	Energía Mareomotriz.....	17
2.3.4	Energía de las Corrientes Marinas	18
2.3.5	Energía del Gradiente Salino u Osmótico	18

2.3.6	Energía del Gradiente Térmico	19
2.4	Sistemas de Monitoreo	20
2.4.1	Introducción	20
2.4.2	Monitoreo Eléctrico.....	21
2.4.3	Sistema de Monitoreo Eléctrico	22
3	Sistema de Monitoreo Propuesto	24
3.1	Descripción del Sistema de Monitoreo.....	24
3.2	Búsqueda y Análisis de Equipo	25
3.2.1	Transformadores de Corriente.....	26
3.2.2	Analizador de Red.....	26
3.2.3	Monitor de Circuitos Ramales.....	27
3.2.4	Concentradores	28
3.2.5	Red de datos	29
3.3	Pruebas y Conexiones del Equipo a Instalar	31
3.3.1	Pruebas a Transformadores de Corriente	31
3.3.2	Conexión de Equipos de Medición	32
3.3.3	Configuración de Concentradores.....	34
3.3.4	Circuito de Prueba en Laboratorio	37
3.3.5	Implementación del Sistema de Monitoreo en el Circuito de Pruebas.	38
3.3.6	Resultados de las pruebas en el Laboratorio.	40
4	Implementación.....	42
4.1	Características del Caso de Estudio.....	43
4.2	Implementación del Sistema de Monitoreo en las Instalaciones de DGTIC.....	45
4.3	Resultados en DGTIC.....	47
4.3.1	Validación de Mediciones	47
4.3.2	Consumo de las Cargas del Centro de Datos.	48
4.3.3	Evaluación de Corrientes de línea en la Red Eléctrica de DGTIC.....	50
5	Conclusiones y Trabajo a futuro	52
5.1	Conclusiones.....	52
5.2	Trabajos a Futuro.....	53
	Referencias	54
	Anexos.....	56

A.	Configuración de los Concentradores.....	56
B.	Protocolos de Comunicación	58
	MODBUS-RTU	58
	TCP/IP.....	58
C.	Obtención de Archivos csv.....	59
D.	Gráficas de comportamiento eléctrico.....	61

Índice de Figuras

Figura 2.1 a) Corriente directa, b) Corriente alterna.....	7
Figura 2.2 a) Voltaje en CD b) Voltaje en CA.....	8
Figura 2.3 Ejemplo de señal con armónicos	9
Figura 2.4 Circuito eléctrico.....	10
Figura 2.5 Arquitectura general de una microrred.	13
Figura 2.6 Interconexión de la red eléctrica con la generación por energías renovables.....	14
Figura 2.7 a) Captador Energía de olas, b) Sistema con boyas, c) sistema anclado a litoral marino con brazos flotantes, d) Sistema anclado al fondo marino con brazos flotantes.....	16
Figura 2.8 Generación mareomotriz.	17
Figura 2.9 a) Central de La Rance en Francia, b) Central Sihwa en Corea del Sur.....	17
Figura 2.10 Ejemplo de generación energía de las mareas	18
Figura 2.11 Funcionamiento de gradiente salino para la generación de energía eléctrica.....	19
Figura 2.12 Esquema de una planta OTEC de ciclo cerrado	20
Figura 2.13 Componentes de un Sistema de Monitoreo	21
Figura 2.14 Sistema de Monitoreo Eléctrico.....	23
Figura 3.1 Sistema de Monitoreo implementado en una microrred.....	25
Figura 3.2 Transformador de Corriente Dixsen	26
Figura 3.3 Analizador de Redes ANR96.....	27
Figura 3.4 a) CMS700, b) CMS-120xx.....	28
Figura 3.5 Conexión entre CMS 700 y los sensores CMS-120xx	28
Figura 3.6 Concentrador.....	29
Figura 3.7 Arquitectura de Red de Datos del Sistema de Monitoreo.....	30
Figura 3.8 Gráfica Voltaje contra Corriente de uno de los TC's	31
Figura 3.9 Conexión del Analizador de Red.....	32
Figura 3.10 Conexiones de Entradas y Salidas del ANR96 LAN.....	33
Figura 3.11 Conexiones del CMS700	34
Figura 3.12 SBC (Raspberry Pi3)	34
Figura 3.13 Conexión entre Equipos de Medición y la SBC	35
Figura 3.14 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo.	37
Figura 3.15 Sistema de pruebas	38
Figura 3.16 Diagrama de implementación del sistema de monitoreo de alimentación en el circuito de prueba	39
Figura 3.17 Diagrama de implementación del sistema de monitoreo de cargas en circuito de prueba	39

Figura 3.18 a) Sistema de monitoreo parte frontal b) sistema de monitoreo parte trasera.....	40
Figura 3.19 Gráfica de voltajes de fase a fase.....	41
Figura 4.1 Diagrama unifilar del centro de cómputo de DGTIC.....	44
Figura 4.2 Instalación de TC´s.....	45
Figura 4.3 Instalación del concentrador para el ANR96 LAN.....	45
Figura 4.4 Analizador de calidad de energía (AEMC CA8336).....	46
Figura 4.5 a) Tablero eléctrico de servidores, con varios sensores BCM, b) Sensores BCM monitoreando cargas	46
Figura 4.6 Gráfica de voltajes entre fases obtenida por el AEMC 6 del día 25 de Mayo de 2018	47
Figura 4.7 Gráfica de voltajes entre fases obtenida por medio de los concentradores del día 25 de Mayo de 2018	48
Figura 4.8 Archivo csv de corrientes RMS correspondiente al 24 de Mayo de 2018.....	49
Figura 4.9 Gráfica de corrientes rms de sensores 3, 4 y 5 tomadas el 24 de Mayo de 2018	49
Figura 4.10 Pico máximo que se presentó el día 24 de Mayo de 2018.....	50
Figura 4.11 Gráfica de corrientes de línea tomadas el 22 de Mayo de 2018	51
Figura 4.12 Gráfica de corrientes de línea de 17:00 a 23:59 horas del 22 de Mayo de 2018	51
Figura A.1 Configuración de los elementos en el gabinete del concentrador para el CMS700 ..	56
Figura A.2 Configuración de los elementos del concentrador en el gabinete para el ANR96 LAN	57
Figura B.1 Estructura de los mensajes	58
Figura C.1 Sección para ingresar datos de Dirección IP, usuario y contraseña.....	59
Figura C.2 Acceso a la carpeta que contiene los archivos csv.....	59
Figura C.3 Obtención de archivo csv.....	60
Figura D.1 Gráfica de Potencia Activa	61
Figura D.2 Gráfica de Potencia Reactiva.....	61
Figura D.3 Gráfica Potencia Aparente	62
Figura D.4 Gráfica de Factor de Potencia.....	62
Figura D.5 Gráfica de Frecuencia	62

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Transformación Senoide-Fasor	8
Tabla 2.2 Capacidad instalada a nivel mundial de Energías Renovables.....	15
Tabla 2.3 Equipos de monitoreo eléctrico	22
Tabla 3.1 Características de operación los TC's en el sistema eléctrico.....	26
Tabla 3.2 Características Eléctricas del Analizador de Red.....	27
Tabla 3.3 Resultados de las pruebas realizadas a los transformadores de corriente	31
Tabla 3.4 Variables que registra el concentrador cada segundo	35
Tabla 3.5 Variables que registra el concentrador cada 10 segundos.....	36
Tabla 3.6 Variables que registra el concentrador cada 60 segundos.....	36
Tabla 3.7 Características Eléctricas del Regulador de Energía.....	37
Tabla 3.8 Características Eléctricas del Circuito de Pruebas.	38
Tabla A.1 Elementos en Gabinete CMS 700	56
Tabla A.2 Elementos en gabinete ANR96 LAN	57

Simbología

i	Corriente
v	Voltaje
V_{max}	Amplitud de voltaje
I_{max}	Amplitud de corriente
v_{ab}	Voltaje de punto a al punto b
ω	Frecuencia angular
f	Frecuencia
θ	Ángulo de desfase entre voltaje y corriente
p	Potencia instantánea
P	Potencia Activa
P_H	Potencia Activa debida a presencia de armónicos
Q	Potencia Reactiva
Q_H	Potencia Reactiva debida a presencia de armónicos
$\cos \theta$	Factor de potencia en sistemas sin armónicos
S	Potencia compleja
S_H	Potencia compleja debido a presencia de armónicos
THD	Distorsión Armónica
V_{3f}	Voltaje trifásico
V_{1N}, V_{2N}, V_{3N}	Voltaje entre fase-neutro
$V_{L12}, V_{L23}, V_{L31}$	Voltaje entre fases
I_{3f}	Corriente trifásica
I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}	Corriente por fase
I_N	Corriente en el neutro
PF_{3f}	Factor de Potencia trifásico
$PF_{L1}, PF_{L2}, PF_{L3}$	Factor de Potencia por fase
φ	Angulo entre S y P
$\cos\varphi_{3f}$	Coseno de fi trifásico
$\cos\varphi_{L1}, \cos\varphi_{L2}, \cos\varphi_{L3}$	Coseno de fi por fase
S_{3f}	Potencia Aparente trifásica
S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}	Potencia Aparente por fase
P_{3f}	Potencia Activa trifásica
P_{L1}, P_{L2}, P_{L3}	Potencia Activa por fase
Q_{3f}	Potencia Reactiva trifásica
Q_{L1}, Q_{L2}, Q_{L3}	Potencia Reactiva por fase
$I_{S1} \ I_{S2} \dots \dots \dots I_{Sn}$	Corriente del sensor CMS núm. x
$P.h_{3f_a}$	Energía Activa Adquirida
$Q.h_{3f_a}$	Energía Reactiva Adquirida
$P.h_{3f_t}$	Energía Activa Transferida
$Q.h_{3f_t}$	Energía Reactiva Transferida

THD_{V1} THD_{V2} THD_{V3}	Distorsión Armónica total de Voltaje
THD_{I1} THD_{I2} THD_{I3}	Distorsión Armónica total de Corriente
P_{avg_3f}	Potencia Activa Promedio trifásica
Q_{avg_3f}	Potencia Reactiva Promedio trifásica
I_{avg_3f}	Corriente Promedio trifásica
I_{avg_L1} I_{avg_L2} I_{avg_L3}	Corriente Promedio por fase

Abreviaturas

AD	Almacenamiento Distribuido
ANR	Analizador de Red
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
CSV	Comma-Separated Value (Archivo de datos separados por comas)
DGTIC	Dirección General de Tecnología de la Información y Comunicaciones
FTP	File Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de Archivos)
GD	Generación Distribuida
GW	Gigawatt
kWh	Kilowatt hora
PMU	Unidad de medición Fasorial
rms	Raíz Media Cuadrática
SCADA	Adquisición de datos y supervisión de control
TC	Transformador de corriente
UPS	Sistema de Potencia Ininterrumpible
TP	Teleprocesos
SE	Servidores
SC	Supercómputo

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

La generación eléctrica actualmente se lleva a cabo en su mayoría a partir de hidrocarburos, lo cual implica una emisión de gases contaminantes al ambiente, generando un agente importante en el cambio climático que afecta a nuestro planeta. Por ésta y algunas otras razones como cercanía de la ubicación de las fuentes de generación, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y potenciar la implantación de energías renovables, etc., se ha optado por el estudio, desarrollo e implementación de sistemas de generación eléctrica, que utilizan energías limpias.

Algunas de las energías por las cuales se ha puesto interés para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, son las energías que se puede obtener del océano. Existen diferentes tipos de energías que pueden aprovecharse del océano como la energía mareomotriz, undimotriz, etc. Actualmente se estudia como poder utilizar estas energías e incluso en algunos países ya se han implementado algunas plantas de generación, aunque no es suficiente para tener una relevancia importante en comparación de las demás fuentes renovables y no renovables utilizadas actualmente.

Debido a la demanda eléctrica, localización geográfica y otros factores, una de las apuestas actuales es la implementación de microrredes. Éstas generalmente están conformadas por: generación distribuida, almacenamiento distribuido y cargas. Una de las características de las microrredes es que son alimentadas por fuentes independientes a la red, como lo son las energías renovables y por lo tanto suelen contar con sistemas de almacenamiento de energía, con esto pueden autoabastecerse y operar completamente desconectadas de la red eléctrica. Las microrredes también tienen la posibilidad de interconexión a la red, para consumir de ésta cuando no se den abasto con sus propias fuentes (comportamiento como consumidor) o cuando tenga un excedente de energía que puedan aportar a la red (comportamiento generador). Este cambio de papeles entre las microrredes y la red eléctrica es muy variante, dependiendo de las condiciones climáticas, de los usuarios, de la época del año, entre otras, por lo cual debe ser considerado como un sistema dinámico el cual debe ser monitoreado permanentemente para permitir una adecuada interacción.

Existe una amplia gama de tecnologías implicadas en las microrredes, por lo que los niveles de voltajes y potencias suelen ser muy variables entre un elemento y otro. Para enfrentar este problema se utilizan inversores capaces de acondicionar (subir, bajar niveles de corriente o voltaje, convertir de C.C. a C.A. y viceversa) los niveles de voltajes. Estos inversores están basados en electrónica de potencia. Además, por parte de las cargas también la presencia de electrónica de potencia cada vez es más frecuente debido al amplio uso de fuentes conmutadas. La problemática de los dispositivos con electrónica de potencia también conocidos como elementos no lineales, es que en los sistemas eléctricos provocan la aparición de armónicos que distorsionan las formas de onda tanto de corrientes como de voltajes. Lo anterior contribuye a pérdidas y fenómenos causantes de anomalías, que afectan tanto a las cargas como a la red eléctrica de suministro. Por esta razón se ha hecho necesario tener un conocimiento constante de la calidad energética tanto de la red como del consumidor.

Para conocer el comportamiento y los problemas de calidad de energía en un sistema eléctrico en general, los sistemas de monitoreo adquieren un gran valor.

La generación de una base de datos con las variables eléctricas medidas por los sistemas de monitoreo, son esenciales para llevar un registro histórico del comportamiento del sistema que se está monitoreando. Además para conocer el comportamiento del sistema en diferentes momentos. Dichas bases de datos ayudarán al estudio del comportamiento y también para la realización de modelos de comportamientos de carga, al conocimiento de la cantidad y manera en que se consume la energía, así como a conocer la fiabilidad del sistema eléctrico ya que también se registrarán eventos como fallos o variaciones provenientes del suministro eléctrico.

El caso de estudio que se propone en esta tesis, es un centro de datos localizado dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria, en el cual se implementará el sistema de monitoreo propuesto para llevar a cabo las mediciones en múltiples puntos y el procesamiento de las señales eléctricas. Al final se obtendrá una base de datos que permitirá a futuro, el aprovechamiento de dichos valores para determinar el comportamiento del caso de estudio. Se implementará el sistema en dicho centro de cómputo ya que la institución a cargo del caso de estudio tiene interés de conocer el comportamiento eléctrico de sus cargas y su sistema eléctrico.

El sistema de monitoreo realizado e implementado en el caso de estudio, deberá mostrar su funcionalidad y ser fácilmente implementado en una microrred inteligente alimentada con energías renovables, como las energías del océano. Se planea además que en conjunto sea de bajo costo comparado con sistemas de monitoreo que se encuentran actualmente en el mercado. El sistema de monitoreo propuesto e implementado, tiene un costo menor de alrededor de un 20 % en comparación con un sistema comercial, esto se debe a las tecnologías utilizadas en el sistema propuesto.

El monitoreo en una microrred permite una administración eficiente y racional de las energías del océano. Además de una manera económica, la cual también aprovecha nuevas tecnologías. El sistema de monitoreo propuesto es fácilmente replicable en cualquier tipo de microrred.

Debido a que el sistema de monitoreo es fácilmente replicable en inmuebles domésticos, se puede tener un conocimiento de cuánto se consume y saber cuándo se realiza un consumo mayor de energía y cuáles son las cargas que llevan a cabo dicha acción, permitiendo así generar una concientización de cuanta energía se desperdicia y generar un pensamiento responsable en el consumo eléctrico.

1.2 Planteamiento del problema

Un sistema eléctrico en el cual se implemente el uso nuevas tecnologías como por ejemplo microrredes que utilicen energías renovables oceánicas, requiere contar con sistemas de monitoreo que permitan el registro y almacenamiento de su comportamiento eléctrico.

Cuando no se cuenta con un registro del comportamiento de un sistema eléctrico, no se puede conocer cuáles fueron las variaciones, de corriente, voltaje, potencia, etc., y no se pueden realizar análisis sobre dichos eventos.

Los sistemas de monitoreo actuales tienen un costo muy elevado, por lo cual un sistema que permita realizar el monitoreo de una red eléctrica utilizando componentes de calidad y otorgando las mismas prestaciones y funciones de los sistemas disponibles en el mercado resultará atractivo para cualquier usuario con necesidades de monitoreo eléctrico.

1.3 Hipótesis.

La obtención y validación de datos a través de un sistema de monitoreo depende del equipo utilizado y su algoritmo de cálculo de las variables eléctricas, para que pueda ser implementado en una red eléctrica real.

1.4 Justificación

Con el desarrollo de nuevas tecnologías que se implementan en una red eléctrica, se abre camino al estudio, desarrollo e implementación de microrredes que estén alimentadas de energías renovables. Con esto, también es importante que se desarrollen nuevos sistemas de monitoreo, los cuales permitan el control, visualización y registro del comportamiento de una microrred, tomando en cuenta los fenómenos que se presentan debido a los diferentes tipos de elementos que la conforman tanto en la generación como en las cargas alimentadas. Contar con sistemas de monitoreo en una microrred, que además de permitir tener una visualización del comportamiento eléctrico, también genere bases de datos, servirá para el aprovechamiento a futuro de los datos generados, para realizar análisis y/o modelos del comportamiento de cargas y de generación, detectar perfiles o patrones de comportamiento, diarios, semanales, mensuales, estacionales o

anuales, hacer análisis causa-efecto para encontrar el origen de problemas de calidad de la energía, entre otros.

Debido a los costos actuales de los sistemas de monitoreo eléctrico, se propone que el sistema de monitoreo a realizar, deberá mostrar su funcionalidad al tomar mediciones y generar bases de datos, además debe ser fácilmente implementado en una microrred inteligente. El sistema propuesto debe en conjunto ser de bajo costo comparado con sistemas de monitoreo que se encuentran actualmente en el mercado.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo eléctrico para tener una alternativa de menor costo y funcionalidad similar a los sistemas disponibles en el mercado. El sistema de monitoreo debe cumplir con las características necesarias para que a futuro pueda ser implementado en una microrred alimentada con energías renovables y que sea capaz de realizar el monitoreo tanto en la generación distribuida como en las cargas.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Conocer los diferentes tipos de energías del océano para saber cuáles pueden ser utilizadas en la generación eléctrica y que pueden ser implementadas en una microrred.
- Familiarizarse con la configuración y funcionamiento de una microrred alimentada con energías renovables, en específico las energías del océano, para conocer el tipo de elementos necesario que integrarán el sistema de monitoreo.
- Identificar puntos de medición en una microrred para saber dónde se colocará el sistema de monitoreo.
- Recabar información sobre el sistemas eléctrico para tener información del sistema a monitorear.
- Buscar equipos de medición y componentes para el sistema de monitoreo, para que puedan ser implementados en el sistema que se pretende monitorear.
- Realizar pruebas a componentes del sistema de monitoreo para comprobar que su funcionamiento sea óptimo.
- Integrar elementos del sistema en gabinetes y realizar las conexiones entre cada elemento para establecer las conexiones de comunicación, alimentación, etc.
- Realizar circuito de pruebas para implementar el sistema de monitoreo.
- Implementar el sistema de monitoreo en el circuito de prueba para corroborar su funcionamiento adecuado y comprobar que se realizaron las conexiones adecuadamente.
- Realizar análisis de datos obtenidos por el sistema de monitoreo para verificar que se toman y almacenan los datos medidos.

- Implementar el sistema de monitoreo en el caso de estudio para comprobar su funcionalidad en una red eléctrica real.
- Validar datos obtenidos en el caso de estudio para verificar que se realizan correctamente las mediciones y almacenamiento del comportamiento del caso de estudio.
- Obtener bases de datos del comportamiento eléctrico del caso de estudio de manera remota para el análisis de los datos sin necesidad de ir a sitio donde se encuentran instalados los concentradores.
- Analizar los archivos generados a partir de las mediciones en el caso de estudio para conocer su comportamiento eléctrico.

1.6 Metodología

Para poder cumplir con los objetivos anteriormente mencionados, se realizaron las siguientes actividades:

- a) Desarrollar un sistema de pruebas.
- b) Cotizar precios de los componentes que conforman el sistema de monitoreo de acuerdo a las especificaciones consideradas en el desarrollo del sistema de monitoreo, para realizar la adquisición de dichos componentes.
- c) Llevar a cabo las conexiones y comunicaciones entre los equipos y componentes utilizados, para el desarrollo del sistema.
- d) Implementar un circuito de pruebas en el laboratorio del Instituto de Ingeniería.
- e) Realizar pruebas del sistema de monitoreo tanto en la alimentación como en las cargas presentes en el circuito de prueba.
- f) Llevar a cabo un análisis de la base de datos obtenida a partir del circuito de pruebas.
- g) Realizar mediciones y consultar especificaciones eléctricas del caso de estudio.
- h) Realizar la implementación del sistema de monitoreo en el caso de estudio
- i) Colocar un analizador de energía comercial para la validación de valores obtenidos a través del sistema de monitoreo.
- j) Obtener los archivos de las bases de datos de manera remota.
- k) Graficar el comportamiento de algunas de las variables obtenidas por el sistema de monitoreo.
- l) Validar los datos obtenidos por el sistema de monitoreo, realizando una comparativa con los datos obtenidos por medio del analizador.

1.7 Logros

- Se implementó el sistema de monitoreo en una red real.
- Se validaron las mediciones realizadas por el sistema de monitoreo propuesto.
- Se obtuvieron los registros del comportamiento eléctrico de un centro de cómputo.

- Se generó una base de datos del comportamiento eléctrico del caso de estudio.
- Se obtuvieron los archivos de las bases de datos de manera remota.

1.8 Estructura de la Tesis

Este trabajo de tesis se encuentra dividido en 5 capítulos.

En el **Capítulo 1**, se presenta la introducción de la investigación, aspectos generales considerados para la realización del sistema de monitoreo y justificaciones para el desarrollo del tema.

En el **Capítulo 2** son estudiados los aspectos generales de las microrredes, la utilización de las energías del océano, elementos necesario y características de sistemas de monitoreo, mostrando detalles actuales de los mismos.

En el **Capítulo 3** se muestra la propuesta, los pasos que se siguieron para el desarrollo, configuración y pruebas detalladas del sistema de monitoreo propuesto.

En el **Capítulo 4** se aborda la implementación del sistema de monitoreo en el caso de estudio

En el **Capítulo 5** se muestran las conclusiones a obtenidas del trabajo realizado en esta tesis, así como los trabajos futuros que pueden ser desarrollados a partir de este trabajo.

En la sección de **Anexos** se muestra cómo se distribuyeron en los gabinetes los elementos que conforman a los concentradores. También en esta sección, se muestran los pasos a seguir para obtener de manera remota los archivos csv que contienen las bases de datos del sistema de monitoreo. Además en esta sección se muestran algunas graficas que se obtuvieron a partir de los archivos generados por los concentradores al ser implementados en el caso de estudio.

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1 Variables Eléctricas

2.1.1 Corriente

La corriente eléctrica se define como la velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo, medida en amperes (A) [1]. Matemáticamente, la relación entre la corriente i , la carga q y el tiempo t es:

$$i \triangleq \frac{dq}{dt} \quad (2.1)$$

Dado que en la ecuación 2.1 se muestra que no es necesario que la corriente sea una función de valor constante puede haber varios tipos de corriente; es decir, la carga puede variar con el tiempo de diversas maneras.

- Corriente directa (CD) es una corriente que permanece constante en el tiempo.
- Corriente alterna (CA) es una corriente que varía sinodalmente con el tiempo.

En la Figura 2.1 se muestra gráficamente el comportamiento de la corriente directa a) en el cual se observa que el valor de la corriente es constante a través del tiempo y el comportamiento en el tiempo de la corriente alterna b) donde se puede observar que el valor de corriente varía con el paso del tiempo. [2]

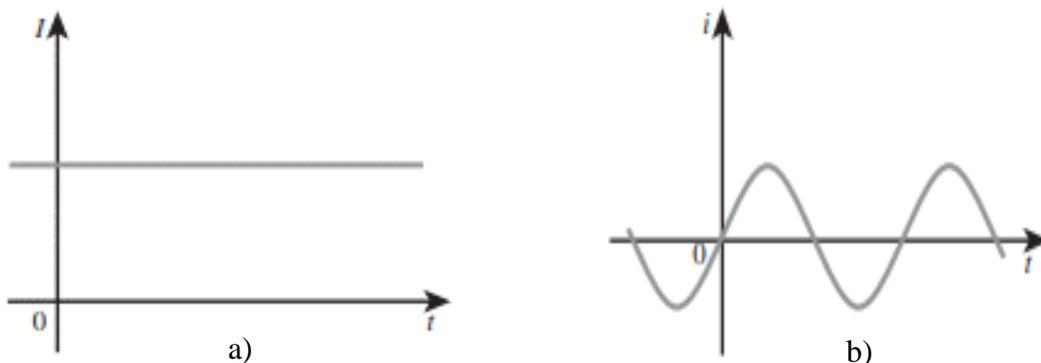


Figura 2.1 a) Corriente directa, b) Corriente alterna

2.1.2 Voltaje

En términos eléctricos, una diferencia de energía potencial eléctrica se define como voltaje. En general, la cantidad de energía necesaria para separar cargas depende del voltaje desarrollado y de la cantidad de carga desplazada [2]. Para la carga en un conductor en una dirección particular es necesario que se transfiera cierto trabajo o energía. Este trabajo lo lleva a cabo una fuerza electromotriz externa (FEM). La diferencia de potencial v_{ab} entre dos puntos a y b en un circuito eléctrico es la energía (o trabajo) necesaria para mover una carga unitaria desde a hasta b [1]. Matemáticamente:

$$v_{ab} \triangleq \frac{dw}{dq} \quad (2.2)$$

Donde w es la energía en Joules (J), y q es la carga en Coulombs (C). La tensión v_{ab} , o simplemente v , se mide en volts (V).

El voltaje también puede ser en CA o en CD como se muestra en la Figura 2.2. [1]

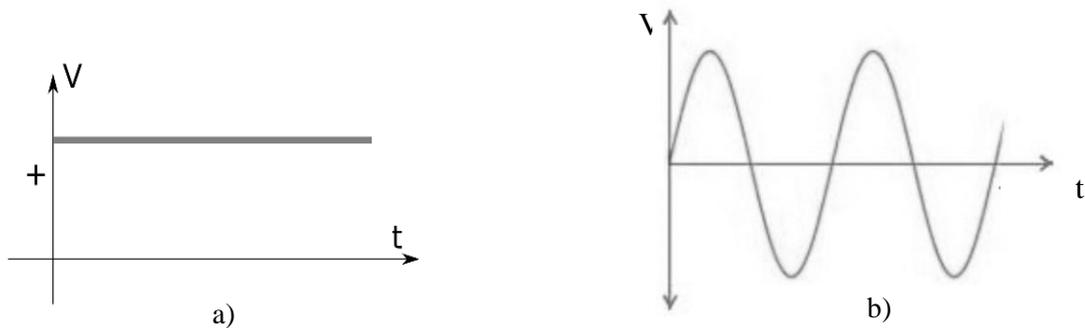


Figura 2.2 a) Voltaje en CD b) Voltaje en CA

Debido a que tanto la corriente y el voltaje se pueden representar por medio de una senoide, se pueden representar también por medio de fasores. Un fesor es una representación compleja de la magnitud y fase de una senoide. En la Tabla 2.1 [1] se muestra la transformación Senoide-Fasor.

Tabla 2.1 Transformación Senoide-Fasor

Representación en el dominio del tiempo	Representación en el dominio fasorial
$V_m \cos(\omega t + \varphi)$	$V_m \underline{/90^\circ}$
$V_m \sin(\omega t + \varphi)$	$V_m \underline{/ \varphi - 90^\circ}$
$I_m \cos(\omega t + \theta)$	$I_m \underline{/ \theta}$
$I_m \sin(\omega t + \theta)$	$I_m \underline{/ \theta - 90^\circ}$

2.1.3 Armónicos

El avance en la tecnología tanto en la industria como en el sector doméstico ha dado lugar a la utilización de aparatos electrónicos (cargas no lineales), que debido a sus principios de funcionamiento, absorben una corriente no sinusoidal.

Los armónicos son las componentes sinusoidales de una forma de onda periódica no senoidal y su utilización permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal, descomponiéndola en distintas componentes sinusoidales [3]. El armónico cuya frecuencia corresponde al periodo de la forma de onda original se llama armónico fundamental y el armónico con frecuencia igual a "n" veces la del fundamental se llama armónico de orden "n". En la Figura 2.3 [3] se presenta una representación de una señal con frecuencia fundamental de 60 Hz, la cual tiene una distorsión armónica en el tercer (180 Hz) y en el quinto (300 Hz) armónico.

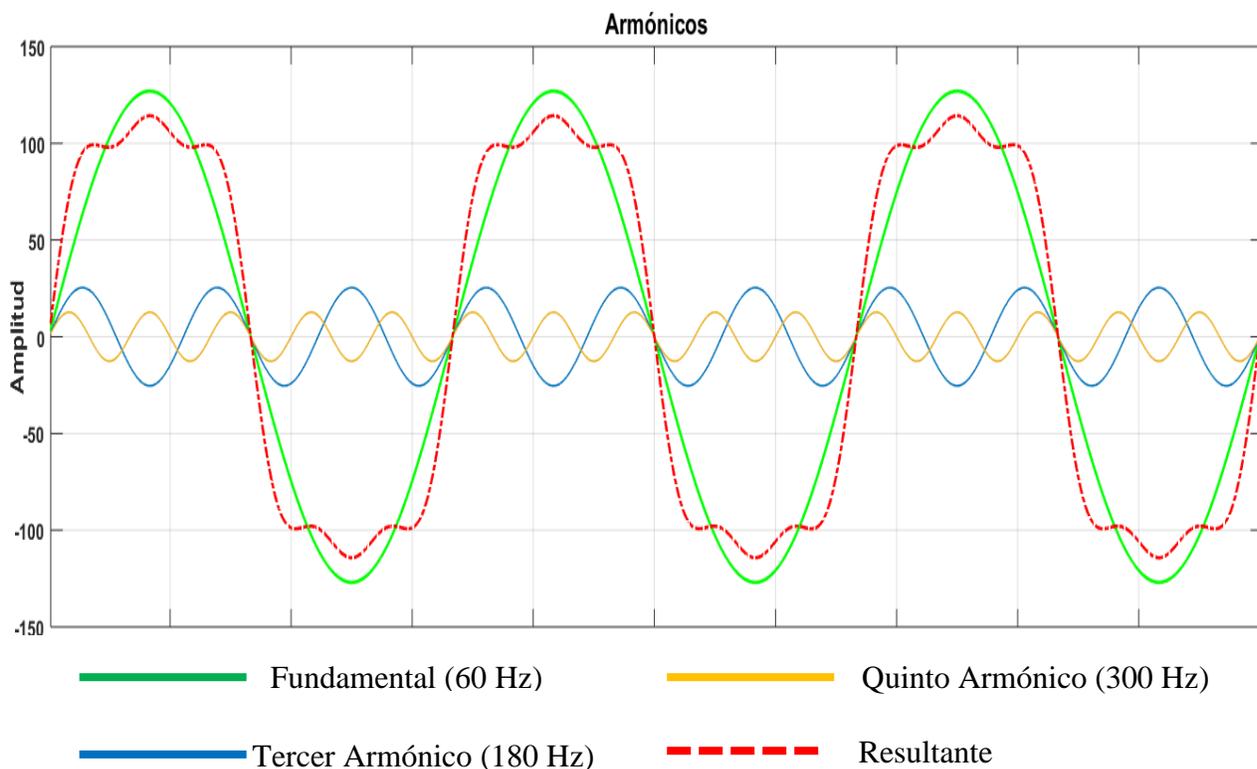


Figura 2.3 Ejemplo de señal con armónicos

La presencia de armónicos en un sistema eléctrico implica una deformación de la forma de onda de la tensión o de la corriente, lo cual puede generar efectos colaterales adversos para el sistema y la carga conectada a éste. Entre los principales equipos que generan armónicos en la red son computadoras, lámparas fluorescentes, convertidores estáticos, soldadoras, hornos de arco y de inducción, etc.

2.1.4 Potencia

La potencia se define como la razón de cambio de la energía con respecto al tiempo en términos del voltaje y la corriente. La unidad de potencia es el Watt (W). La potencia en Watts que es absorbida en cierto instante es el producto del voltaje instantáneo a través de la carga y de la corriente instantánea que entra a la carga. [4]

En la Figura 2.4 se muestra un sistema que cuenta con una carga alimentada por una fuente de voltaje de corriente alterna.

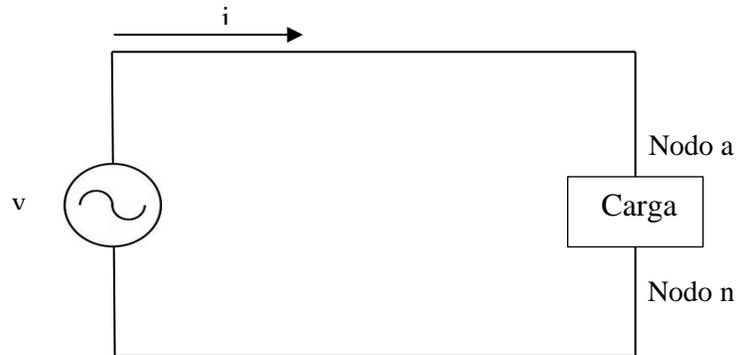


Figura 2.4 Circuito eléctrico

Si se designan las terminales de la carga con a y n, y si el voltaje y la corriente se expresan por:

$$v_{an} = V_{max} \cos \omega t \quad e \quad i_{an} = I_{max} \cos(\omega t - \theta)$$

Donde:

$$V_{max} = \text{Amplitud del voltaje}$$

$$I_{max} = \text{Amplitud de corriente}$$

$$\omega = 2\pi f = \text{frecuencia angular}$$

$$f = \text{frecuencia}$$

$$\theta = \text{ángulo de defasamiento entre voltaje y corriente}$$

La potencia instantánea es:

$$p = v_{an} i_{an} = V_{max} I_{max} \cos \omega t \cos(\omega t - \theta) \quad (2.3)$$

Al aplicar identidades trigonométricas a la ecuación 2.3 se reduce a

$$p = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \theta (1 + \cos \omega t) + \frac{V_{max} I_{max}}{2} \sin \theta \sin 2\omega t \quad (2.4)$$

Si se obtiene la potencia promedio de la ecuación 2.4, se obtiene el siguiente valor de potencia P.

$$P = \frac{V_{max}I_{max}}{2} \cos \theta \quad (2.5)$$

Si el ángulo θ está en los cuadrantes 1 y 4 entonces $\cos \theta$ siempre es positivo lo cual indica que P también es siempre positiva y esta condición equivale a extraer potencia P de la red.

Cuando se sustituyen valores rms de voltaje y corriente

$$P = |V||I| \cos \theta \quad (2.6)$$

Donde P es la potencia la *potencia real o activa* y su unidad fundamental es el watt.

En el segundo término de la ecuación 2.4 el cual contiene al $\sin \theta$ tiene un valor promedio de cero. Esta componente se le llama *potencia reactiva instantánea*, la cual expresa la tasa de cambio del flujo de energía que, en forma alternada, va hacia la carga y regresa de ella. Al valor máximo de esta potencia se le denomina Q se llama *potencia reactiva*. La potencia reactiva matemáticamente se presenta como:

$$Q = |V||I| \sin \theta \quad (2.7)$$

Al cociente de P/S se le conoce como factor de potencia (FP) y cuando no hay armónicos el factor de potencia queda representado por la siguiente ecuación.

$$FP = \cos \theta$$

Reacomodando ecuaciones se obtiene que el factor de potencia es:

$$\cos \theta = \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right) \right] \quad o \quad \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Se puede hacer un cálculo de manera compleja y de manera conveniente de las potencias P y Q, si se conocen el voltaje y la corriente de forma fasorial.

$$V = |V| \angle \alpha \quad e \quad I = |I| \angle \beta$$

El producto del voltaje por el conjugado de la corriente en forma polar es:

$$VI^* = |V||I| \angle \alpha - \beta$$

A esta cantidad es llamada *potencia compleja* y se denota con la letra S

$$S = VI^* = |V||I| \cos(\alpha - \beta) + j|V||I| \sin(\alpha - \beta) \quad (2.8)$$

Debido a que $\alpha - \beta = \theta$ se puede denotar la potencia compleja como:

$$S = P + jQ \quad (2.1.4.7)$$

2.2 Microrredes

Una microrred eléctrica se puede definir como un sistema eléctrico bidireccional, lo que permite consumir o proporcionar energía a la red eléctrica, controlar los flujos de potencia activa y reactiva, además puede contar con almacenamiento de energía eléctrica [5]. Usualmente se busca que sean alimentadas por varios tipos de fuentes de generación, entre las cuales se suelen incluir fuentes renovables.

Las microrredes están compuestas por un conjunto de cargas y generadores operando como un sistema capaz de proporcionar energía. El funcionamiento y control de muchas de las fuentes que la integran están basados en electrónica de potencia, con lo que poseen la flexibilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema. Las microrredes pueden ser implementadas en el nivel de media y baja tensión [6].

La clasificación de las microrredes se presenta debido a diferentes factores principales: en función de la demanda eléctrica que tengan asociada, de acuerdo a su capacidad como sistemas de respaldo y por la naturaleza de la energía que puedan suministrar, ya sea en corriente alterna, directa o una combinación de las mismas. Las microrredes suelen contar con diferentes elementos dentro de su estructura [5].

- Cargas
- Generación Distribuida
- Almacenamiento Distribuido

Las microrredes pueden estar interconectadas a la red eléctrica general, aunque tiene la capacidad de autoabastecerse y de operar de forma aislada cuando sea necesario, aumentando la confiabilidad de proporcionar energía al sistema que alimentan. Mientras la microrred se encuentre conectada a la red, ésta puede pasar a operar en modo isla por medio del control de desconexión desde la red, o pasar a condición de apagado mediante el control de apagado.

En la Figura 2.7 [5] se muestra la arquitectura de una microrred, la cual cuenta con alimentación de la red eléctrica, cuenta también con varias fuentes de energía renovables que alimentan a las cargas en las cuales están generación fotovoltaica, generación eólica y generación a partir de energías del océano, además de contar con un generador de respaldo (G). Las cargas en esta microrred se consideran las cargas que existen en el sector doméstico. Existen además elementos que complementa el funcionamiento de la microrred, como lo son los inversores y el switch de conexión y desconexión a la red eléctrica.

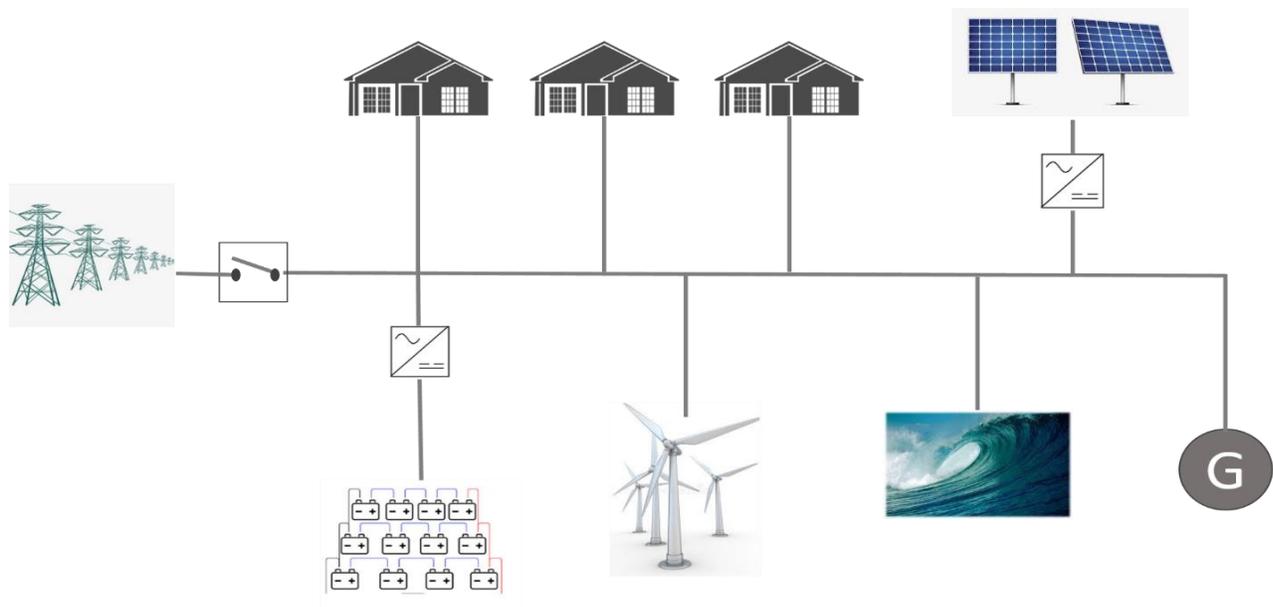


Figura 2.5 Arquitectura general de una microrred.

2.2.1 Cargas en una Microrred

Se refiere a todo consumo de energía eléctrica dentro de la microrred. La microrred puede servir cargas industriales, comerciales y residenciales. La meta de la microrred es que estas cargas puedan ser despachadas con la mayor calidad y a los menores costos [7]. Las cargas del sistema pueden ir desde motores, equipos eléctricos que utilizan fuentes conmutadas, rectificadores basados en diodos o tiristores, variadores de velocidad y control de motores, convertidores de AC a DC (inversores).

2.2.2 Generación Distribuida (GD)

No existe acuerdo a nivel mundial de la definición de generación distribuida (GD) [5], pues existen múltiples factores que afectan su definición: tecnologías empleadas, límite de potencia, conexión a la red, etc. Algunas organizaciones definen a la GD como cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en los puntos más cercanos al consumidor [8]. Así mismo se puede tener una conexión directa entre la GD y consumidor. También se le considera a la GD como únicamente la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y se le asocian tecnologías como motores, baterías y energías obtenidas de energías renovables.

La generación de energía puede darse a partir de fuentes convencionales como son motores diésel, turbinas y micro turbinas de gas, o con fuentes no convencionales como paneles fotovoltaicos, celdas de combustible, turbinas eólicas, biomasa e incluso la energía geotérmica. En la Figura 2.8 se muestra un ejemplo de una microrred con GD a partir de algunas fuentes renovables.

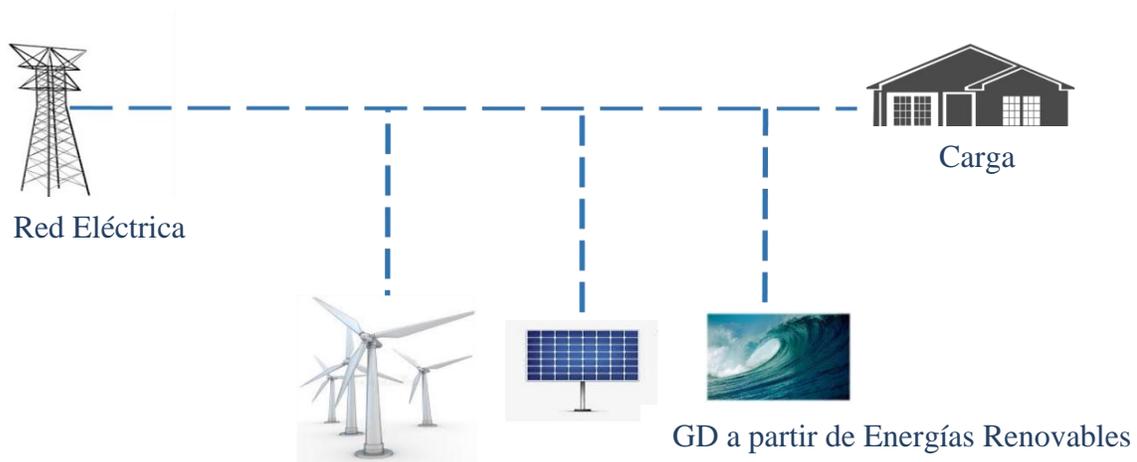


Figura 2.6 Interconexión de la red eléctrica con la generación por energías renovables

Las ventajas de contar con generación distribuida es que permite mejorar la confiabilidad del sistema, garantizando el suministro de energía a usuarios prioritarios, pueden cubrir la demanda de energía de los usuarios que se encuentran alejados de los centros de generación o que se encuentran en las zonas no interconectadas del país, evitando una gran inversión en infraestructura y la transmisión de energía a largas distancias, obteniendo una reducción en los costos y en pérdidas de potencia eléctrica.

2.2.3 Almacenamiento Distribuido (AD)

Los sistemas de almacenamiento como su nombre lo indica, permiten almacenar energía eléctrica para poder ser utilizada posteriormente en alguna operación que la requiera el sistema eléctrico. De esta forma se puede realizar un desacople entre la generación de energía eléctrica y las cargas permitiendo el uso de la energía contenida en el sistema de almacenamiento [9].

El incluir energías renovables en la generación de energía eléctrica, hace necesario estudiar la integración de estas energías en los sistemas eléctricos, en consecuencia tener un sistema de almacenamiento de energía dentro de una microrred es esencial para el aprovechamiento de la energía eléctrica.

Las energías renovables son típicamente una fuente de generación intermitente, variable e impredecible en algunos casos, debido a esto, se hace necesario la integración a la microrred de sistemas de almacenamiento, para poder tener un sistema más robusto, autónomo y confiable. Cuando se utilizan energías renovables los sistemas de almacenamiento permiten tener un respaldo de energía, ya que almacenan la energía que produce intermitentemente dichas energías, y así poder proporcionar la energía almacenada en el momento que ésta sea requerida por el sistema eléctrico [10]. Una de las ventajas de contar con un sistema de almacenamiento, es que ante una posible falla de la red de distribución, se puede realizar la desconexión de ésta y alimentar las cargas por medio de la energía almacenada. Ello permitirá alimentar la microrred y facilitar la reconexión del sistema de distribución.

2.3 Generación Eléctrica con energías del océano

2.3.1 Introducción

Debido a los cambios climáticos actuales y el precio de los hidrocarburos, algunos países se han puesto como meta el generar más del 20% de su energía eléctrica [11] por medio de diferentes tipos de energías renovables, siendo las energías del océano algunas de las opciones más atractivas.

Las energías del océano, se refieren a las energías que se producen por el movimiento de grandes cantidades de masa de agua, por ejemplo las olas, mareas, etc [12]. También existen otro tipo de energías que se pueden obtener del océano, como el gradiente salino o el gradiente térmico. Estas energías pueden ser aprovechadas de manera que a partir de ellas se pueda obtener energía eléctrica, para consumo en diferentes sectores.

Se han llevado análisis y estudios que estiman que la cantidad de energía disponible en los océanos es de aproximadamente 5000 GW [13]. El océano representa una fuente limpia de energía, ya que es un recurso gratuito y no genera grandes impactos ambientales en su aprovechamiento. Una de las desventajas de las energías del océano es que aún está en desarrollo por lo que actualmente existen pocas plantas de generación que aprovechen sus recursos.

Si se hace una comparación de las energías del océano con otras energías renovables, se puede notar que su investigación y desarrollo de proyectos aún están en etapa inicial. En Tabla 2.2 [14] se muestra una comparación entre diferentes energías renovables.

Tabla 2.2 Capacidad instalada a nivel mundial de Energías Renovables

Fuente/Tecnología	Capacidad Agregada en 2011	Capacidad existente a finales de 2011
Generación de electricidad (GW)		
Eoloeléctricas	40	238
Solar fotovoltaica	30	70
Concentración solar termoeléctrica	0.46	1.76
Hidroeléctricas	25	970
Biomasa	5.9	72
Geo termoeléctrica	0.1	11.1
Energías oceánicas	0.3	0.5
Calentamiento de agua/calentamiento (GTt)		
Calentamiento solar de agua/calentamiento de espacios	>49	232
Biomasa	10	290
Geotermia	7	58
Combustibles líquidos (billones de litros/año)		
Etanol	-0.4	86.1
Biodiesel	2.9	21.4

2.3.2 Energía Undimotriz

También conocida como energía del oleaje, la energía undimotriz es la energía producida por el movimiento de las olas, debido a la acción del viento sobre la superficie del mar [15]. Para entender cómo se obtiene la energía undimotriz es necesario saber que una ola es el movimiento de energía, pero el agua no se traslada horizontalmente, sino que solamente se mueve de arriba hacia abajo, este comportamiento es similar al de una cuerda al hacerla oscilar. Por tanto, una ola no refleja un flujo de agua, si no que representa un flujo de energía desde su origen hacia una eventual rotura (puede ser tanto la costa como en medio del mar).

Existen diferentes formas de aprovechamiento de la energía undimotriz que se han desarrollado a lo largo de la historia, algunos sólo se quedaron en etapa de prueba. La clasificación de los dispositivos que se utilizan depende de varios criterios [16]. Algunas de ellas son:

- Onshore (en la costa).
- Nearshore (de 10 a 40m de la costa).
- Offshore (mar adentro).

En la Figura 2.9 [16] se muestran algunos tipos de generación eléctrica que utiliza la energía undimotriz.

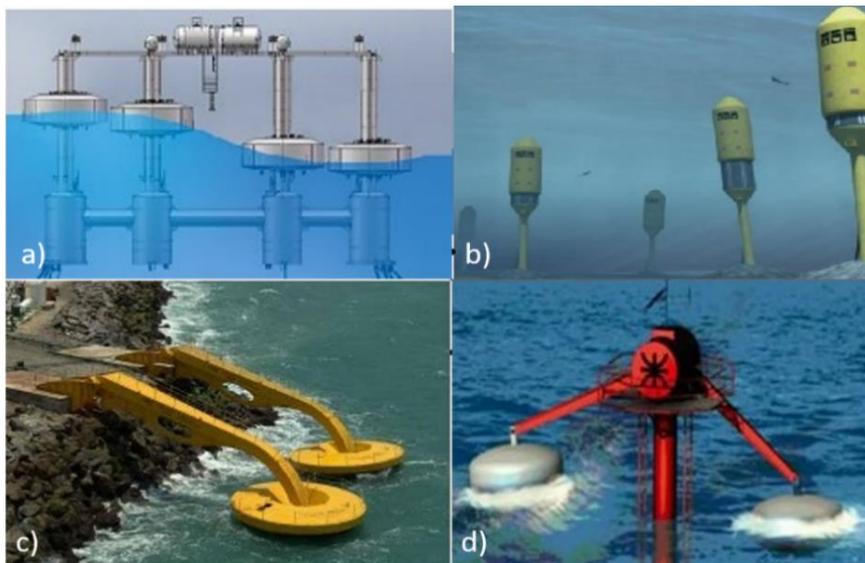


Figura 2.7 a) Captador Energía de olas, b) Sistema con boyas, c) sistema anclado a litoral marino con brazos flotantes, d) Sistema anclado al fondo marino con brazos flotantes

La tecnología actual para el aprovechamiento de la energía undimotriz está en desarrollo. Existen más de cuatro mil patentes de convertidores de este tipo de energía en energía eléctrica. [17]

2.3.3 Energía Mareomotriz

Este tipo de energía del océano se produce debido a las variaciones del nivel mar, influenciada por las fuerzas de atracción del sol y la luna. Hay zonas costeras donde la altura del agua varía incluso hasta más de 10 m por este efecto. La energía mareomotriz se basa en el aprovechamiento de la energía cinética y la energía potencial, aprovechando ascenso y descenso del agua de mar [18]. En la Figura 2.10 se muestra el funcionamiento básico de la generación mareomotriz.

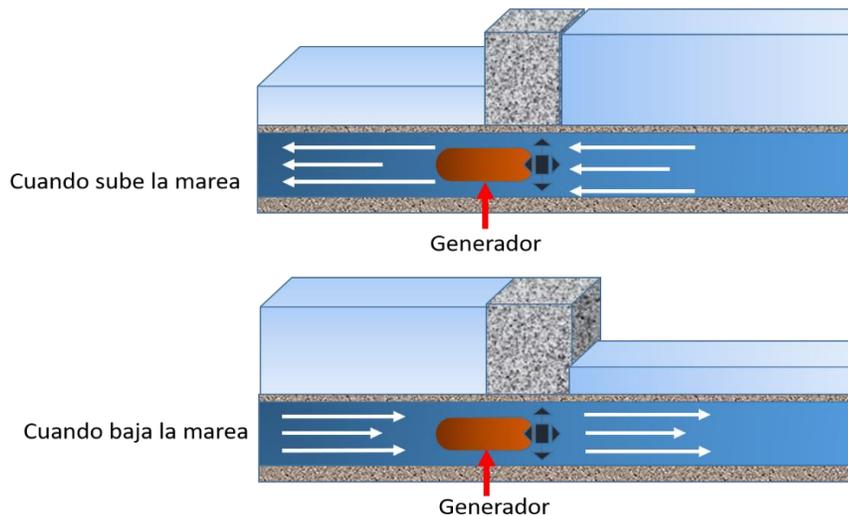


Figura 2.8 Generación mareomotriz.

El lugar óptimo para la implementación de una central mareomotriz es un estuario, una bahía o un río profundo donde el agua de mar penetre. El número de lugares en el mundo que cuentan con características que permitan la implementación de una central mareomotriz son limitados.

Dos de las más grandes centrales mareomotrices son: la central de La Rance en Francia con una capacidad instalada de 240 MW, la cual está en operación desde 1967 y la central Sihwa en Corea del Sur con una capacidad instalada de 254 MW, la cual está en operación desde 2011 [16]. En la Figura 2.11 se muestran las centrales mareomotrices más grandes instaladas en el mundo.



Figura 2.9 a) Central de La Rance en Francia, b) Central Sihwa en Corea del Sur

2.3.4 Energía de las Corrientes Marinas

Este tipo de energía se produce debido al desplazamiento de masas de agua de los océanos, debido principalmente por la diferencia de densidad en el agua. La energía de las corrientes marinas representa una fuente de energía prometedora, ya que las corrientes marinas son altamente predecibles en su caudal en las diferentes estaciones del año. Poseen una capacidad energética muy alta, debido a esto una corriente marina de 2 m/s posee por cada m^2 de área perpendicular a su flujo una energía igual al de una corriente eólica de 18 m/s [16].

Existen diferentes dispositivos que utilizan la energía de las corrientes marinas para producir energía eléctrica, los cuales se clasifican en tres grandes grupos.

- Rotores con flujo axial.
- Rotores con eje vertical.
- Alerones.

En la Figura 2.12 se muestra un ejemplo de la utilización de la energía de las corrientes marinas en la generación eléctrica.

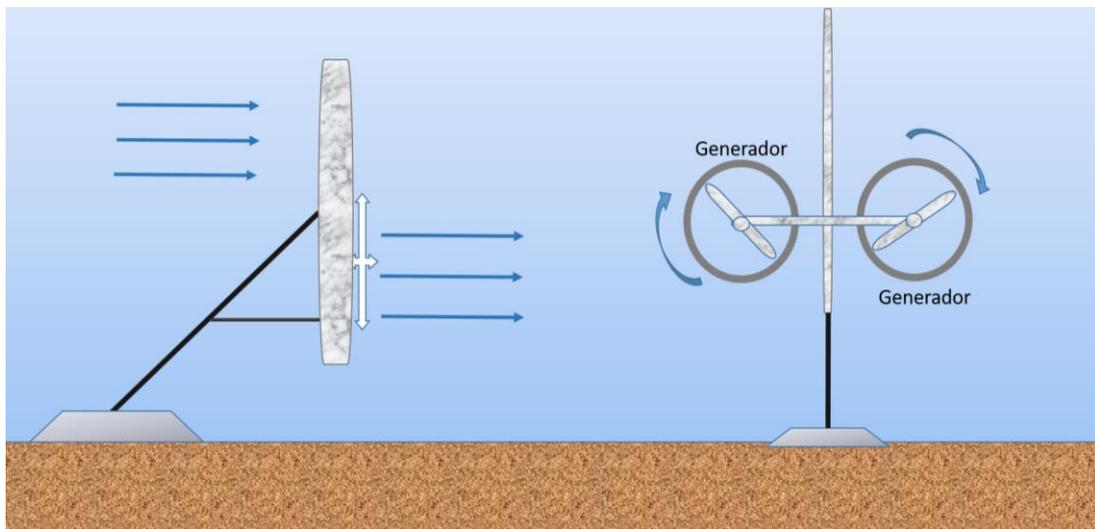


Figura 2.10 Ejemplo de generación energía de las mareas

En la actualidad los proyectos para implementar la energía que se obtiene de las corrientes marinas se encuentran en desarrollo, debido a que las turbinas son prototipos, por lo que aún no están en comercialización. La turbina Seagen de Marine Current se encuentra en una fase más avanzada de pruebas a escala real. [19]

2.3.5 Energía del Gradiente Salino u Osmótico

La obtención de energía de gradiente salino se basa en el fenómeno de ósmosis, que es la energía creada a partir de la diferencia de concentración de sal entre dos fluidos. El fenómeno se produce llevando a través de una membrana semi-permeable, agua salada y agua dulce, separadas por una

membrana artificial, el agua salada desplaza las moléculas de agua dulce a través de la membrana, lo que aumenta la presión del lado del agua de mar, la cual se utiliza para accionar una turbina para la generación de energía eléctrica [10].

Las regiones con mayor potencial para el aprovechamiento de esta energía, son las regiones con ríos caudalosos que desembocan en el mar.

En la actualidad se realizan estudios sobre el aprovechamiento de esta energía, aunque en el año 2009 se implementó la primera central con uso del gradiente salino.

En la Figura 2.13 se muestra un diagrama del funcionamiento de un sistema que utiliza el gradiente salino para la generación de energía eléctrica.

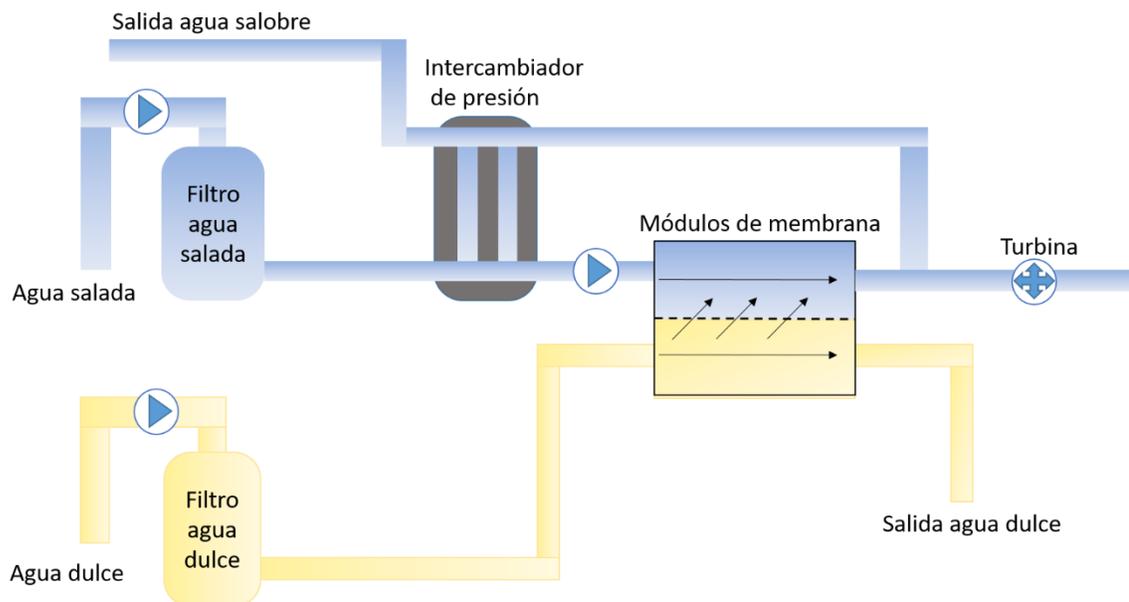


Figura 2.11 Funcionamiento de gradiente salino para la generación de energía eléctrica

2.3.6 Energía del Gradiente Térmico

La energía termo oceánica es la que permite el aprovechamiento del gradiente térmico que existe entre la superficie y las profundidades del océano en diferentes zonas geográficas del planeta. Recibe el nombre de OTEC (Ocean Thermal energy Conversion) [13].

La tecnología OTEC utiliza para su funcionamiento el ciclo de calor termodinámico Rankin para generar electricidad por medio de turbinas de vapor y puede tener tres modalidades de ciclo: abierto, cerrado e híbrido. Un gradiente de 20 °C puede llevar a tener un rendimiento aceptable, el cual se presenta a una profundidad de 1000 m, estas condiciones limitan mucho las posibilidades de localización de lugares que cumplan estas características. Estas características se presentan en zonas cercanas al Ecuador tanto en el océano Pacífico como en el océano Atlántico, en zonas de islas y archipiélagos, así como en países que se encuentran en vía de desarrollo [16]. El alto costo es un aspecto en contra del desarrollo e implementación de tecnología que aproveche esta energía.

Actualmente existen prototipos de dispositivos OTEC, sin embargo han tenido resultados no muy buenos y por este motivo existen pocas plantas experimentales. En la Figura 2.14 [13] se muestra un diagrama del funcionamiento conceptual de una planta OTEC de ciclo cerrado.

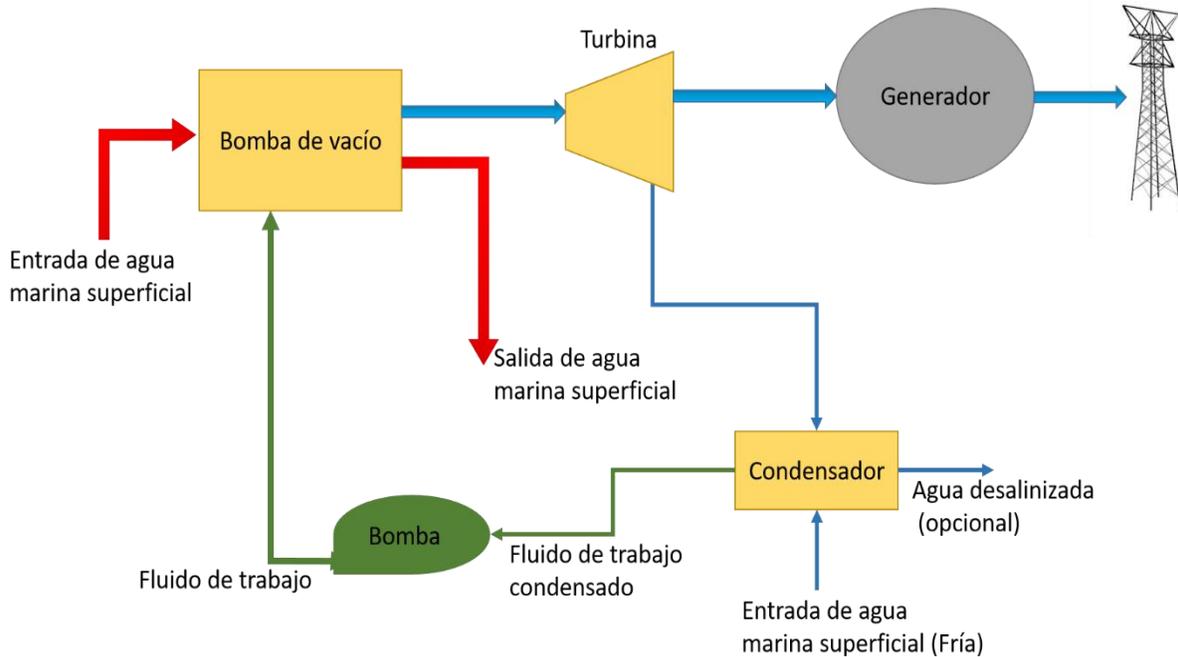


Figura 2.12 Esquema de una planta OTEC de ciclo cerrado

2.4 Sistemas de Monitoreo

2.4.1 Introducción

La necesidad de conocer el comportamiento en un sistema, ya sea eléctrico, térmico, etc., llevó al desarrollo de diferentes tipos de instrumentos de medición. Las variables que se pueden monitorear, son de diferentes tipos, como por ejemplo, temperatura, humedad, presión, nivel de aceite en un contenedor, voltaje, corriente, potencia, entre otras.

Un sistema de monitoreo permite la visualización y análisis de las variables, para verificar en todo momento, el comportamiento, en distintos estados de operación de un sistema [20]. En la Figura 2.13 [21] se muestra un diagrama jerárquico de los componentes de un sistema de monitoreo.

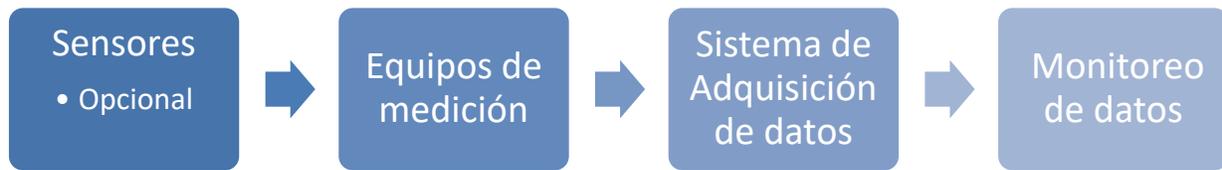


Figura 2.13 Componentes de un Sistema de Monitoreo

Actualmente el uso de diferentes tipos de energías permite implementar diferentes tipos de sistemas de monitoreo, estos sistemas son necesarios implementarlos en lugares en donde se requiera realizar gestión de recursos. [22]

El contar con un sistema de monitoreo trae consigo diferentes ventajas, como poder realizar un análisis de los datos obtenidos, medición de diferentes parámetros y tener un ambiente gráfico que permita tener conocimiento del comportamiento del sistema para la toma de decisiones. Con el análisis de los datos obtenidos se pueden proponer o aplicar alternativas. Unas características con las que debe contar un sistema de monitoreo es [23]:

- Medio de comunicación.
- Flexibilidad.
- Compatibilidad.
- Tecnología (monitoreo en tiempo real).
- Seguridad, eficiencia y confiabilidad.
- Tamaño.

2.4.2 Monitoreo Eléctrico

Existen diferentes perturbaciones en las redes eléctricas de distribución, entre las más usuales tenemos: variaciones de voltaje, sobre tensiones transitorias, interrupciones de energía, ruido eléctrico (interferencias) y distorsiones armónicas. En un sistema eléctrico es importante conocer el comportamiento de la corriente, el voltaje, la frecuencia, FP, potencia activa y reactiva, temperatura, etc. [22]

Existen equipos de monitoreo eléctrico, los cuales permiten llevar a cabo procesamiento de señales y a partir de las mediciones en la red, obtener valores tanto de potencias, FP., armónicos, etc. En la Tabla 2.3 [24, 25] se muestran algunos equipos de monitoreo utilizados para la medición y monitoreo del comportamiento eléctrico en una red.

Tabla 2.3 Equipos de monitoreo eléctrico

Equipo	Función
Unidad de medición Fasorial PMU	Los PMU (Phasor Measurement Units), permiten la obtención de fasores de tensiones y corrientes de forma sincronizada.
Analizador de Redes	Realizan una medición continua en tensión y en corriente ciclo a ciclo durante un periodo de tiempo determinado, lo que permite obtener la hora y fecha de los eventos.
Monitor de Circuitos Ramales	Los BCM (Branch Monitoring Systems) registran el rendimiento y la energía de la red.

2.4.3 Sistema de Monitoreo Eléctrico

El crecimiento económico y desarrollo tecnológico conlleva a incrementar la demanda de energía eléctrica, por lo tanto es necesario incentivar el uso eficiente de recursos para evitar la pérdida de energía. [21]

El monitoreo eléctrico debe estar en constante cambio debido a las nuevas tecnologías que se van desarrollando día con día. Contar con un sistema de monitoreo eléctrico trae consigo algunas ventajas:

- Analizar alternativas para tener un uso eficiente de energía.
- Conocer la energía reactiva, poder corregir el factor de potencia y disminuir pérdidas.
- Detección de problemas relacionados con la regulación de voltaje.
- Capacidad de visualizar consumo energético y comportamiento eléctrico.
- Visualizar otros tipos de problemáticas internas como es el balance de cargas.

Los sistemas de monitoreo pueden ser implementados en diferentes tipo de redes eléctricas incluyendo microrredes para poder determinar el comportamiento eléctrico de la misma. Tener registro de cómo se comporta una microrred permitiría saber cuándo es la mayor generación, el consumo en sus cargas y generar modelos de comportamiento de sus cargas para poder tener un control ante disturbios. Pueden ser utilizados tanto en la parte de generación de energía como también la parte de las cargas. En la Figura 2.14 [23] se muestra el esquema de un sistema de monitoreo eléctrico.

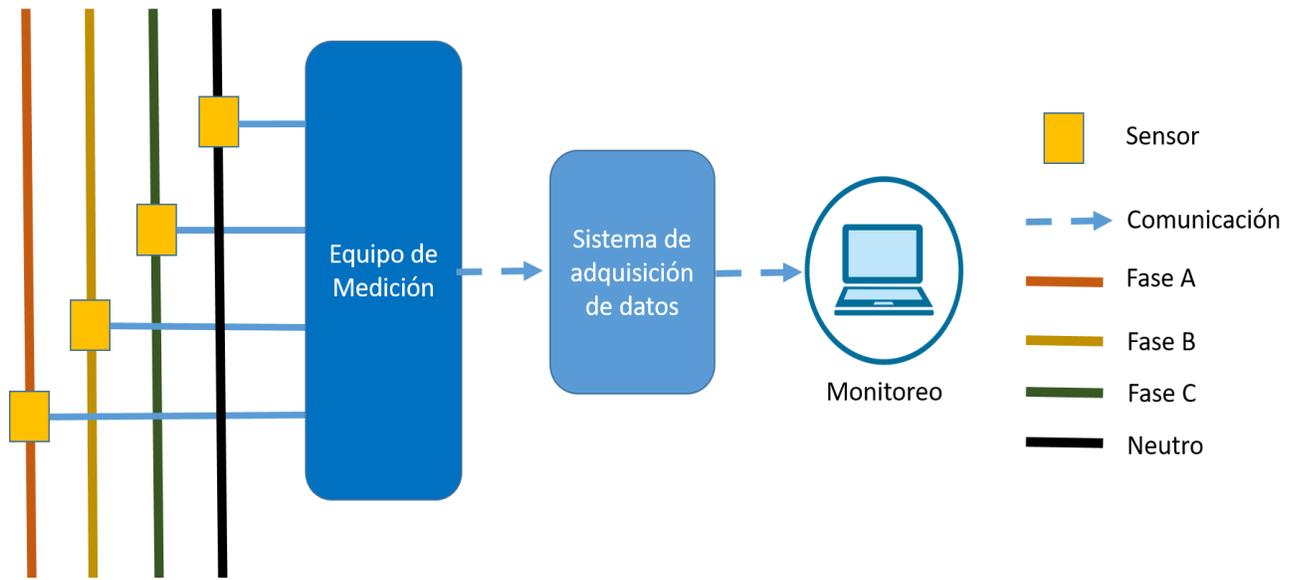


Figura 2.14 Sistema de Monitoreo Eléctrico

Sistema de Monitoreo Propuesto

3.1 Descripción del Sistema de Monitoreo

Con el sistema de monitoreo propuesto en esta tesis, se pretende tener un registro del comportamiento de una red eléctrica. El monitoreo se llevó a cabo desde la alimentación de la red, hasta las cargas que se alimentan. Cuenta con un registro de datos que permitirá generar archivos csv (valores separados por comas) en los cuales se tiene un registro de las variables eléctricas, con su respectiva estampa de tiempo.

Se contempló tener un equipo que permitiera tener una visualización del comportamiento de los alimentadores. La medición de corriente se realizó a través de transformadores de corriente (TC's) en cada una de las líneas de alimentación conectados al analizador de red (ANR). Para la medición de voltaje en los alimentadores, se conectó el ANR directamente a cada una de las líneas de alimentación.

Para el monitoreo del comportamiento de las cargas se utilizó un Monitor de Circuitos Ramales (BCM, por sus siglas en inglés). Este equipo utiliza sensores los cuales realizan mediciones de corrientes rms de la rama en donde es colocado. Las mediciones de voltaje de la parte de las cargas se llevará a cabo conectando directamente las terminales del equipo a las líneas que alimentan a las cargas.

Se desarrolló un sistema denominado *Concentrador*, conformado por una microcomputadora la se conecta a los medidores utilizando una terminal RS485 y protocolo MODBUS RTU, de esta manera es capaz de obtener los datos de las mediciones cada segundo. Los datos se almacenan en una base de datos, la cual está disponible para accesos remotos por medio de un servidor MySQL. Cada hora los datos son transferidos de la base de datos a un archivo de respaldo con formato csv, cada 24 horas se crea un nuevo registro, y todos pueden ser obtenidos de manera remota mediante un servidor de Protocolo de Transferencia de Ficheros (FTP).

En la Figura 3.1 se muestra la arquitectura de una microrred alimentada por 2 fuentes de energía oceánica, una es la energía undimotriz y la otra la energía de las olas, está alimentada además por un generador y la red eléctrica. La microrred cuenta con un grupo de cargas. En dicha microrred se proponen diferentes puntos de medición en los cuales se pueden implementar el sistema de monitoreo propuesto.

Los puntos propuestos permitirán tener registro del comportamiento de la microrred y así poder generar las bases de datos, las cuales podrán ser almacenadas y consultadas para su análisis en el momento que se requiera.

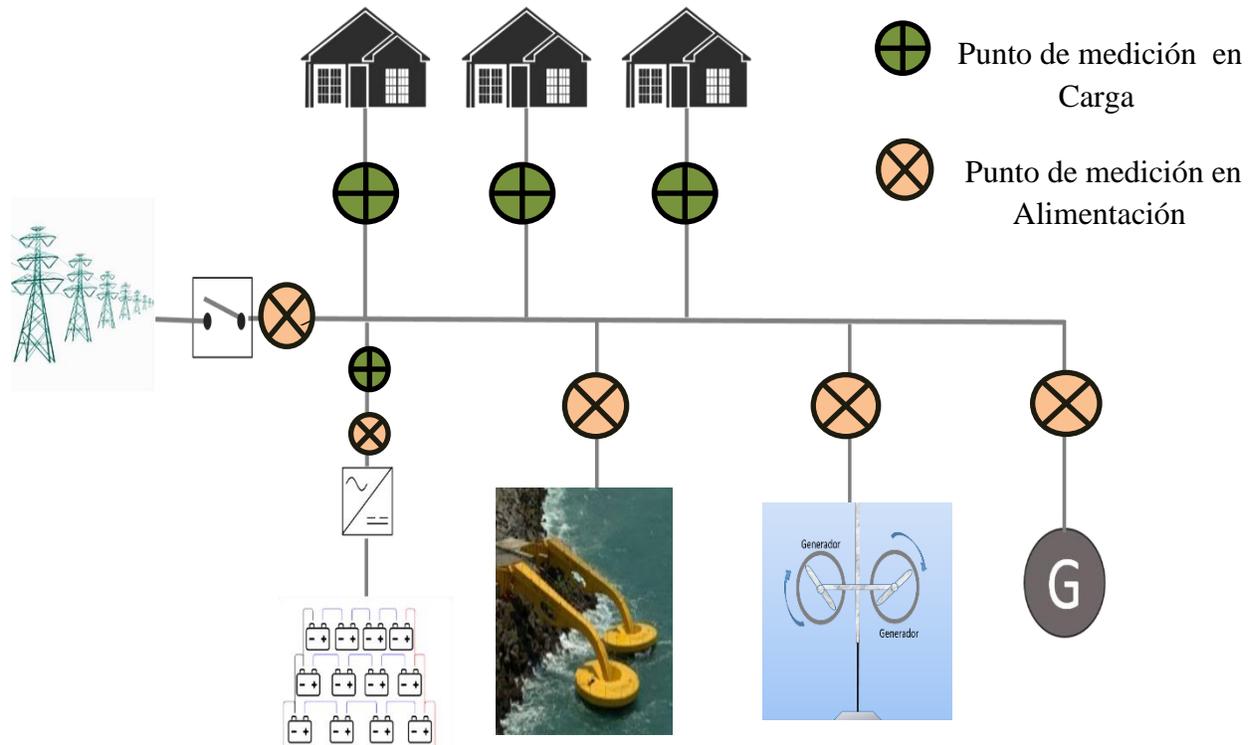


Figura 3.1 Sistema de Monitoreo implementado en una microrred

3.2 Búsqueda y Análisis de Equipo

Una de las etapas en el desarrollo del sistema de monitoreo fue la elección de los equipos de medición. Se contemplaron las características y especificaciones eléctricas de nuestro caso de estudio como por ejemplo: voltaje, corriente, frecuencia, tamaño, etc., para determinar los modelos, especificaciones eléctricas y organización dentro de los gabinetes para el óptimo funcionamiento del sistema de monitoreo. Los sensores de corriente se seleccionaron de acuerdo a las especificaciones de los equipos de medición.

3.2.1 Transformadores de Corriente

Los TC's se utilizaran para medir la corriente en la alimentación y se conectarán al ANR. Los transformadores de corriente (TC's) son de la marca Dixsen, modelo IEC60044-1 y de relación de transformación (RTC) 1000:5. En la Figura 3.2 se muestra el TC utilizado. Se seleccionaron estos TC's debido a que sus especificaciones eléctricas cumplen con los requerimientos para poder ser utilizados en el caso de estudio. En la Tabla 3.1) se muestran las características eléctricas de los TC's.

Tabla 3.1 Características de operación los TC's en el sistema eléctrico

Característica	
Corriente máx. de operación continua	1.2 [A]
Clase error	Clase 0.5= 3.75 Clase_1.0 = 7.5
Tensión Nominal	Operación 0.72kV / Aislamiento 3kV
Temperatura de Operación	10°C a +50°C



Figura 3.2 Transformador de Corriente Dixsen

3.2.2 Analizador de Red

El equipo de monitoreo que se seleccionó para la alimentación, es un analizador de red (ANR6 LAN), el cual permite tener una visualización del comportamiento eléctrico del caso de estudio. El ANR96 LAN es un instrumento de medición que ha sido diseñado para monitorear, almacenar y analizar todas las variables eléctricas en una línea de distribución. El ANR96 LAN puede leer hasta el 31 ° armónico, puede realizar análisis de contenido de armónicos en la red. Todos los parámetros se muestran en una pantalla gráfica LCD retro iluminada con una resolución de 128x128 pixeles. El modo de visualización y programación se lleva a cabo mediante un teclado de 5 botones. Cuenta con puerto serial RS485 y RS232. Cuenta con protocolo de comunicación ASCII y estándar MODBUS-RTU. En la Figura 3.3 se muestra la parte frontal del ANR96 LAN.



Figura 3.3 Analizador de Redes ANR96.

El ANR se instaló en la parte de la alimentación de la red monitoreada, la selección de este equipo se llevó a cabo debido a que cuenta con las especificaciones eléctricas del equipo que cubren los valores a los cuales se lleva la operación de la red a monitorear. En la Tabla 3.2 se muestran las especificaciones de la red a las cuales trabajó el ANR96 LAN.

Tabla 3.2 Características Eléctricas del Analizador de Red

Variable	Valor
Voltaje de entrada	127 V
Frecuencia de operación	60 Hz
Voltaje entre fases	220 Vrms
Corriente TC's	5 A rms
Comunicación	MODBUS RTU y TCP/IP

3.2.3 Monitor de Circuitos Ramales

El Monitor de Circuitos Ramales seleccionado es el CMS700 el cual es un instrumento de medición para registrar el rendimiento y la energía de la red de hasta 96 sensores. El sistema consiste en una unidad de control y sensores con diferentes rangos de medición. Los sensores miden corrientes alternas, directas y mixtas y se conectan a la unidad de control mediante un cable plano. En el lado de la red eléctrica, todos los valores se miden directamente. En las ramas, el voltaje, el factor de potencia, así como la potencia activa y la energía se calculan utilizando los valores medidos de la red. Las mediciones de corriente se hacen por medio de sensores CMS-12xx donde las xx representan los diferentes niveles de corriente que pueden medir. Se seleccionaron los sensores CMS-120PS y CMS-121PS capaz de medir 40 y 80 A respectivamente, debido a que para ser instalados no se necesita realizar la desconexión de la línea que se planea monitorear. En la Figura 3.4 a) se muestra el CMS 700, b) se muestra el sensor CMS-120xx



Figura 3.4 a) CMS700, b) CMS-120xx

En la Figura 3.5 se muestra la conexión entre el CMS 700 y los sensores de corriente. Dicha conexión se lleva a cabo por medio de un cable plano de 4 buses, permitiendo así tener mediciones en diferentes puntos donde se alimentan cargas a lo largo de la línea. Como se mencionó anteriormente sólo se pueden utilizar hasta 96 sensores.



Figura 3.5 Conexión entre CMS 700 y los sensores CMS-120xx

3.2.4 Concentradores

Son sistemas basados en computadora de tabla única (SBC, por sus siglas en inglés), estos se conectan a los equipos ANR96 y CMS700 para obtener los datos de las mediciones, dichos datos se almacenan en una base de datos y archivos de respaldo con formato csv. La microcomputadora cuenta con acceso a una red TCP/IP gracias a la cual se puede tener acceso remoto a los datos obtenidos.

Las mediciones se realizan vía MODBUS RS485, se tomarán lecturas de los medidores cada segundo, salvo algunas variables como los armónicos (cada 10 segs) y los contadores de energía (cada 60 segs). Los datos leídos de los equipos serán concentrados en una base de datos MySQL, la cual estuvo trabajando permanentemente registrando los datos de los últimos 60 minutos.

Cada hora las mediciones se almacenaron como paquetes de datos con formato csv en una unidad de memoria externa para su posterior descarga y análisis, cada 24 horas se crea un nuevo archivo de respaldo.

Los elementos que conforman a los concentradores se agruparon en gabinetes, en los cuales se distribuyeron adecuadamente los componentes necesarios para que la SBC sea alimentada y las comunicaciones entre los equipos de medición se realizan de una manera adecuada. Un esquema general del concentrador se muestra en la Figura 3.6.

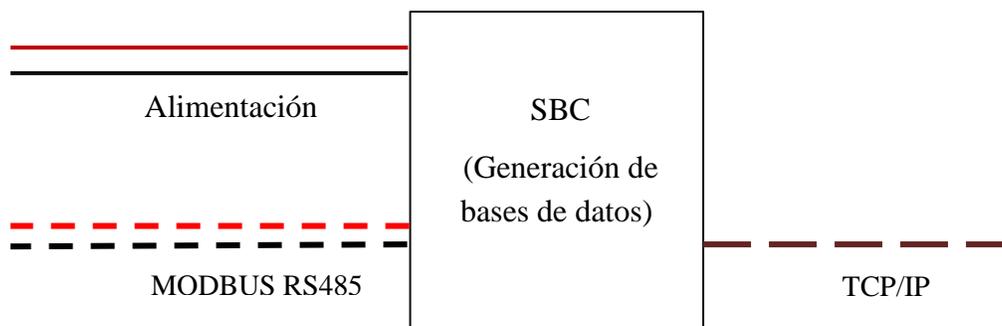


Figura 3.6 Concentrador

3.2.5 Red de datos

Cada equipo de monitoreo cuenta con salidas digitales con protocolo de comunicación RS485 y TCP/IP. Los equipos de monitoreo se conectan al sistema datalogger por RS485, debido a que el sistema datalogger toma las mediciones por medio de ese protocolo para generar la base de datos. Los datos obtenidos por los concentradores y las mediciones de los equipos de monitoreo se enviaron a un switch de red por medio de protocolo TCP/IP.

El switch tiene acceso a las bases de datos generadas por los concentradores y a las mediciones de los equipos de medición. Este switch envía los datos a la red de la UNAM por protocolo TCP/IP.

Desde la red de la UNAM se enviaron al laboratorio del Instituto de Ingeniería UNAM, el cual cuenta con dos equipos de cómputo con acceso a los datos. El primer equipo cuenta con acceso a la programación del concentrador, a los archivos csv, además de tener acceso a las bases de datos. El segundo equipo puede acceder a los valores de los equipos de medición por medio del software comercial ETAP, el cual permitirá una visualización gráfica y en tiempo real del comportamiento de la red eléctrica del caso de estudio.

Se tiene un equipo de cómputo en las instalaciones del caso de estudio, el cual tiene acceso a las bases de datos y a las mediciones de los equipos de medición. Este equipo también tiene acceso a los archivos csv, las bases de datos, se puede acceder al sistema de los concentradores y además cuenta con una interfaz que permita la visualización gráfica del comportamiento de la red.

A futuro se planea que desde la red de la UNAM se tenga acceso a los datos que se tomarán del switch de comunicación, permitiendo que los datos se compartan en la nube y se puedan visualizar desde internet. Cabe aclarar que el acceso a los datos desde internet sólo se podrá visualizar a través de una interface y tendrá acceso restringido.

En otra etapa, que se planea a futuro, se integrará otro switch que permita conectar a los equipos de medición con la red SCADA del Centro universitario de Administración de Energía (CUAE), la cual será independiente y desconectada de internet, manejará protocolos especiales de seguridad, pero a la cual se podrá acceder a los datos que obtenga desde el laboratorio del Instituto de Ingeniería. Esto permitirá a los operadores tener el registro del consumo del caso de estudio.

La arquitectura propuesta y establecida para la Red de Datos se muestra en la Figura 3.7 [26], donde se muestran tanto la etapa que está ahora implementada así como las etapas que a futuro se planean implementar.

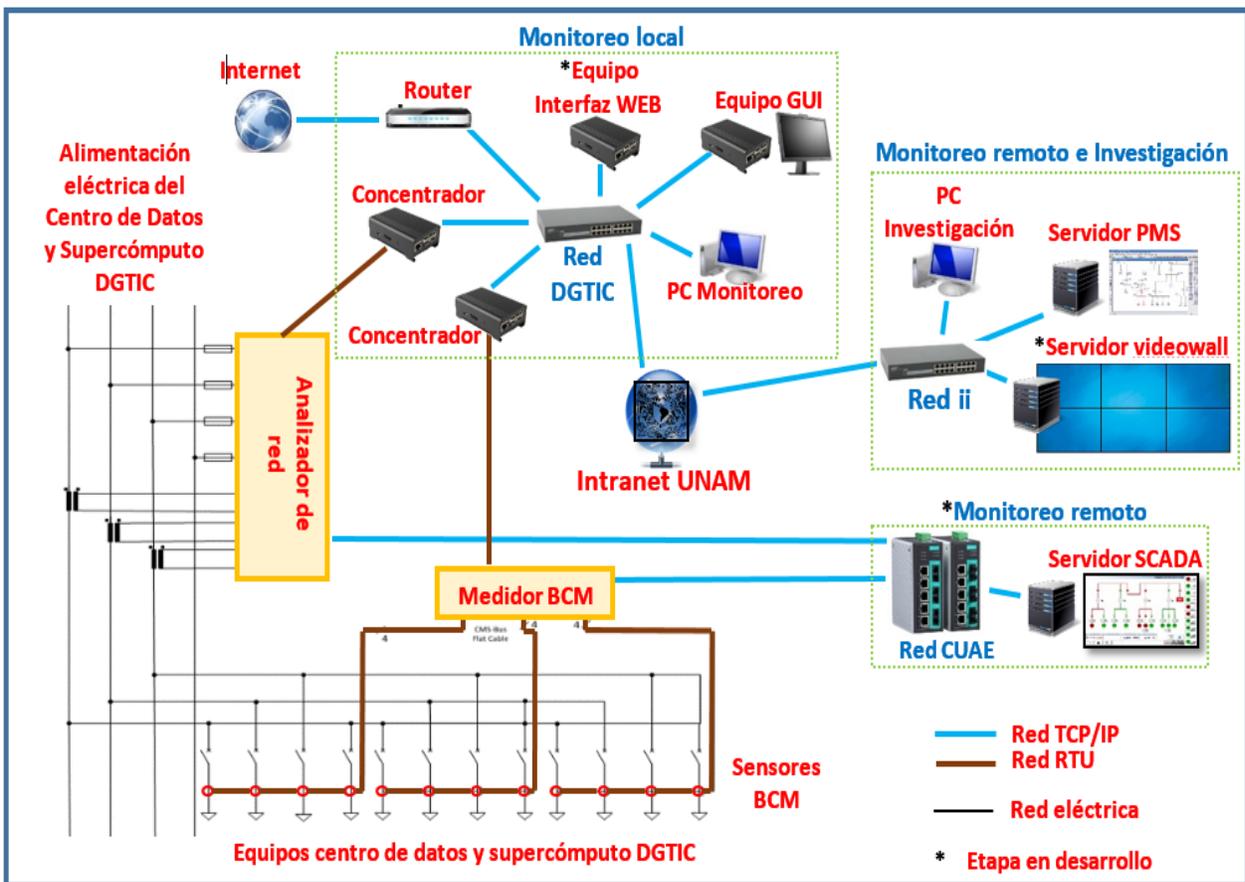


Figura 3.7 Arquitectura de Red de Datos del Sistema de Monitoreo

3.3 Pruebas y Conexiones del Equipo a Instalar

3.3.1 Pruebas a Transformadores de Corriente

La función de los transformadores de corriente en el sistema de monitoreo es bajar el nivel de corriente que circula por la red para que el ANR96 LAN pueda leerlos, en el intervalo a los cuales opera este equipo.

Las pruebas eléctricas a los TC's se realizaron dentro las instalaciones de una subestación de CFE, debido a que ellos cuentan con equipo especializado para realizarlas. Las pruebas que se realizaron a los TC's fueron de relación de transformación (RTC), error en RTC, resistencia del embobinado y ángulo de desfase. Además se obtuvo la gráfica de voltaje contra corriente. El procedimiento se realizó con la ayuda del personal encargado y capacitado de CFE, quien realizó el procedimiento correspondiente para las pruebas. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los TC's se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resultados de las pruebas realizadas a los transformadores de corriente

Transformador	Relación de Transformación	Relación medida	Error	Resistencia del embobinado	Angulo de fase
T1	1000:5	201.14	0.568%	342 $m\Omega$	0.1° (+)
T2	1000:5	200.63	0.311%	341 $m\Omega$	0.1° (+)
T3	1000:5	200.41	0.201%	341 $m\Omega$	0.2° (+)

En la Figura 3.8 se muestra la gráfica de voltaje contra corriente del TC que se obtuvo a través del equipo de CFE, la cual muestra el comportamiento de la corriente cuando se alimenta al transformador.

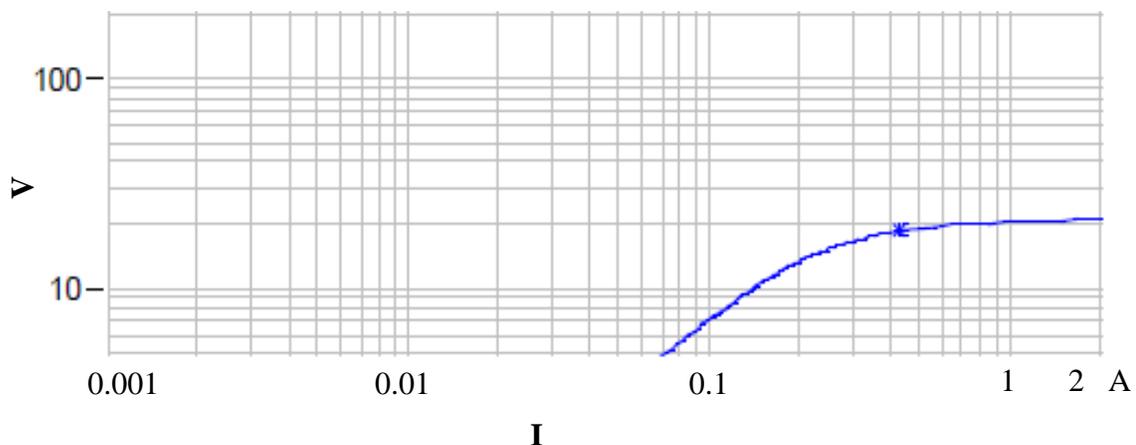


Figura 3.8 Gráfica Voltaje contra Corriente de uno de los TC's

3.3.2 Conexión de Equipos de Medición

El ANR96 LAN se colocó en el bus de entrada, este equipo mide todos los parámetros eléctricos del circuito a monitorear tales como: Voltajes (trifásico, fases-neutro, fase-fase), corrientes (trifásica y por fase), frecuencia, factor de potencia (FP), $\cos\phi$, P, Q, S, distorsión de armónica total de voltaje (TDHV), distorsión de armónica total de corriente (TDHI), cantidad de energía en KWh y kVarh, armónicos (Hv) de 1 al 31, etc.

En la Figura 3.9 se muestra la configuración del analizador de red ANR96 LAN que se utilizó. Se utilizaron transformadores de corriente conectados a las entradas de corriente del ANR96 LAN en configuración estrella. Los voltajes se miden directamente de la red conectando a cada una de las fases.

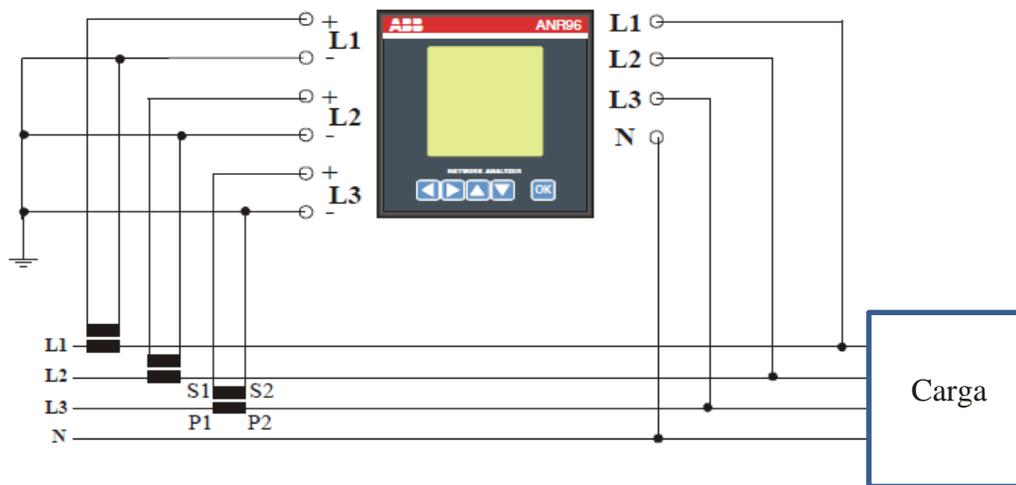


Figura 3.9 Conexión del Analizador de Red.

Para realizar la conexión de entradas y salidas del ANR96 LAN se realizó lo siguiente: el lado primario de los transformadores de corriente (P_1) se conectó a los puertos (S_1), de la misma manera el lado secundario (P_2) se conectó a los puertos (S_2), respetando el orden de cada una de las fases en las cual se colocó cada TC. Las entradas de voltaje se conectaron directamente a cada una de las fases en la siguiente relación Fase A con V_1 , Fase B con V_2 y finalmente Fase C con V_3 . La conexión al conmutador se realizó a través del puerto Ethernet. La comunicación con el concentrador se realizó por medio de las salidas A y B. En la Figura 3.10 se muestra el diagrama de las conexiones descritas anteriormente.

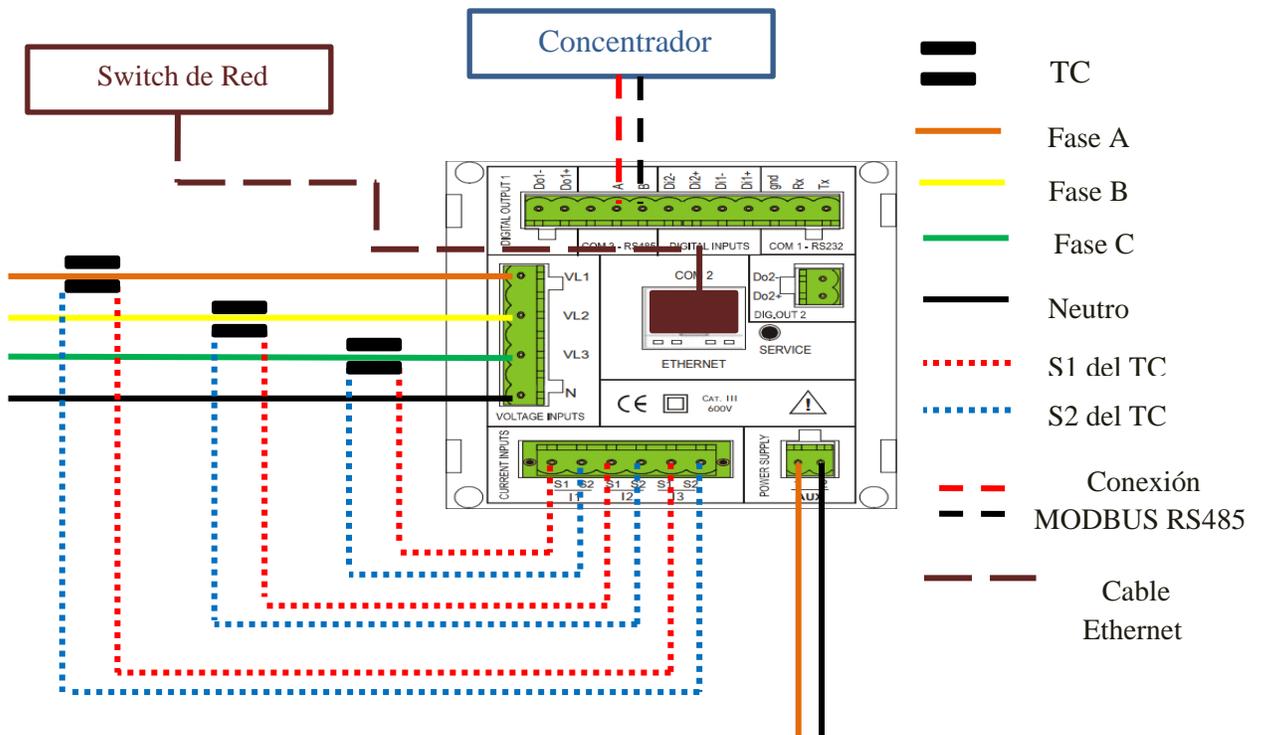


Figura 3.10 Conexiones de Entradas y Salidas del ANR96 LAN

El Monitor de Circuitos Ramales CMS700 medirá de manera individual las corrientes rms de las cargas alimentadas a través de los sensores CMS 120PS/121PS, además, como se describió anteriormente el CMS700 se comunica con los sensores a través de cable plano de 4 buses los cuales se colocan estratégicamente en diferentes puntos donde se requería realizar las mediciones de corriente. Las conexiones de voltaje se realizaron conectando Fase A con L_1 , Fase B con L_2 , Fase C con L_3 y el neutro se conectó a la terminal N. Para realizar la comunicación entre el CMS700 y el concentrador, se utilizaron las terminales A y B del CMS 700 y las entradas MODBUS del concentrador. Para la comunicación entre el switch de red y el equipo se llevó a cabo la conexión de la terminal LAN con el switch de red. En la Figura 3.11 se muestra las conexiones que se realizaron con el CMS700.

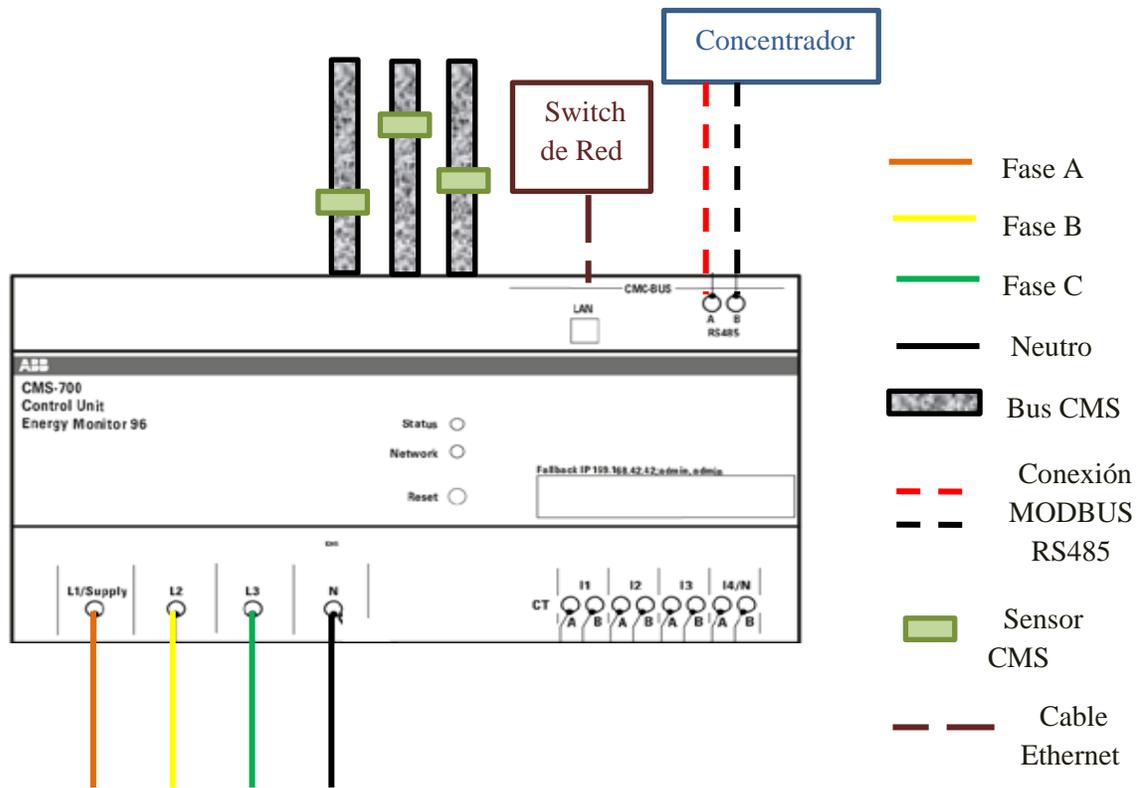


Figura 3.11 Conexiones del CMS700

3.3.3 Configuración de Concentradores

Cada equipo de medición contará con su propio concentrador. En el desarrollo e implementación de los concentradores se utilizó una computadora de tabla única (SBC, por sus siglas en inglés), en la Figura 3.12 se muestra la SCB que se utilizó la cual es la Raspberry Pi3.



Figura 3.12 SBC (Raspberry Pi3)

La comunicación entre la SBC y el equipo de medición correspondiente es por medio de protocolo RS485. La SBC cuenta con acceso a una red TCP/IP gracias a la cual se puede tener acceso remoto. El servidor SQL tiene habilitado el acceso remoto a través de una red LAN. En la Figura 3.13 se muestra la conexión que se realizó para las comunicaciones y tarjeta de almacenamiento.

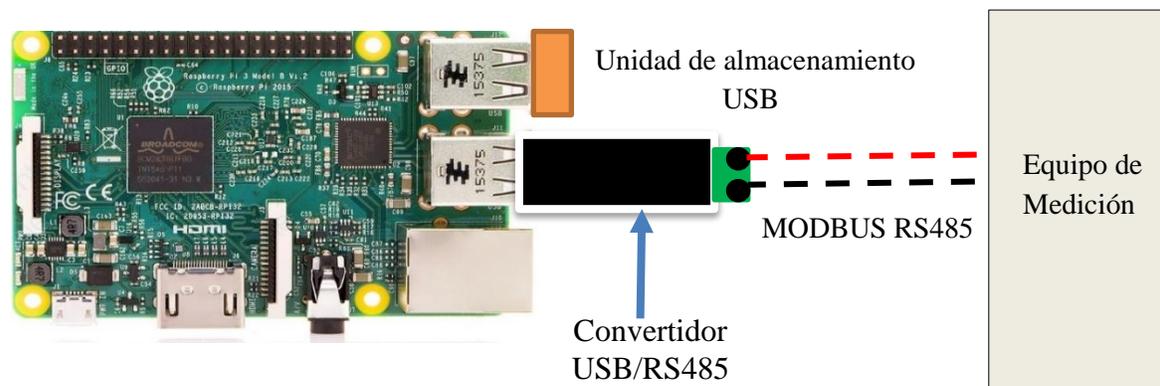


Figura 3.13 Conexión entre Equipos de Medición y la SBC

Las variables que registra el concentrador cada segundo se muestran en la Tabla 3.4, estas variables se seleccionaron para tener un registro de ellas cada segundo debido a que son las que representan una importancia en sus variaciones. La programación de los concentradores se llevó a cabo por un investigador del Instituto de Ingeniería por lo cual no se abordará en este trabajo de tesis.

Tabla 3.4 Variables que registra el concentrador cada segundo

Tiempo de Monitoreo	Variables	Descripción
1 segundo	V_{3f}	Voltaje trifásico
	V_{1N}, V_{2N}, V_{3N}	Voltaje entre fase-neutro
	$V_{L12}, V_{L23}, V_{L31}$	Voltaje entre fases
	I_{3f}	Corriente trifásica
	I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}	Corriente por fase
	I_N	Corriente en el neutro
	PF_{3f}	Factor de potencia trifásico
	$PF_{L1}, PF_{L2}, PF_{L3}$	Factor de potencia por fase
	$\cos\varphi_{3f}$	Coseno de φ trifásico
	$\cos\varphi_{L1}, \cos\varphi_{L2}, \cos\varphi_{L3}$	Coseno de φ por fase
	S_{3f}	Potencia aparente trifásica
	S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}	Potencia aparente por fase
	P_{3f}	Potencia activa trifásica
	P_{L1}, P_{L2}, P_{L3}	Potencia activa por fase
	Q_{3f}	Potencia reactiva trifásica
	Q_{L1}, Q_{L2}, Q_{L3}	Potencia reactiva por fase
	f	Frecuencia
$I_{S1} I_{S2} \dots \dots I_{Sn}$	Corriente del sensor CMS núm. x	

Las variables que registra el concentrador cada 10 y 60 segundos se muestran en la Tabla 3.5 y la Tabla 3.6 respectivamente. Estas variables son tomadas por los concentradores en ese tiempo debido a las características de los equipos de medición.

Tabla 3.5 Variables que registra el concentrador cada 10 segundos

Tiempo de Monitoreo	Variables	Descripción
10 segundos	$P. h_{3f_a}$	Energía activa adquirida
	$Q. h_{3f_a}$	Energía reactiva adquirida
	$P. h_{3f_t}$	Energía activa transferida
	$Q. h_{3f_t}$	Energía reactiva transferida
	$THD_{V1} THD_{V2} THD_{V3}$	Distorsión armónica total de voltaje
	$THD_{I1} THD_{I2} THD_{I3}$	Distorsión armónica total de corriente

Tabla 3.6 Variables que registra el concentrador cada 60 segundos

Tiempo de Monitoreo	Variables	Descripción
60 segundos	P_{avg_3f}	Potencia activa promedio trifásica
	Q_{avg_3f}	Potencia reactiva promedio trifásica
	I_{avg_3f}	Corriente promedio trifásica
	$I_{avg_L1} I_{avg_L2} I_{avg_L3}$	Corriente promedio por fase

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo, el sistema toma las mediciones a través de los equipos de medición, los concentradores son los encargados de generar las base de datos y los archivos csv, almacenándolos en un servidor MySQL y otro FTP. La siguiente etapa es acceder a la base de datos o a los archivos por medio de cliente MySQL o FTP respectivamente. Para el almacenamiento se debe contar con un equipo, por el cual se accederá a los servidores y ahí se almacenarán ya sea los archivos csv o las bases de datos. En este trabajo de tesis se contó con un equipo localizado en el Instituto de Ingeniería, UNAM, por el cual se obtuvieron los archivos del comportamiento eléctrico del caso de estudio.

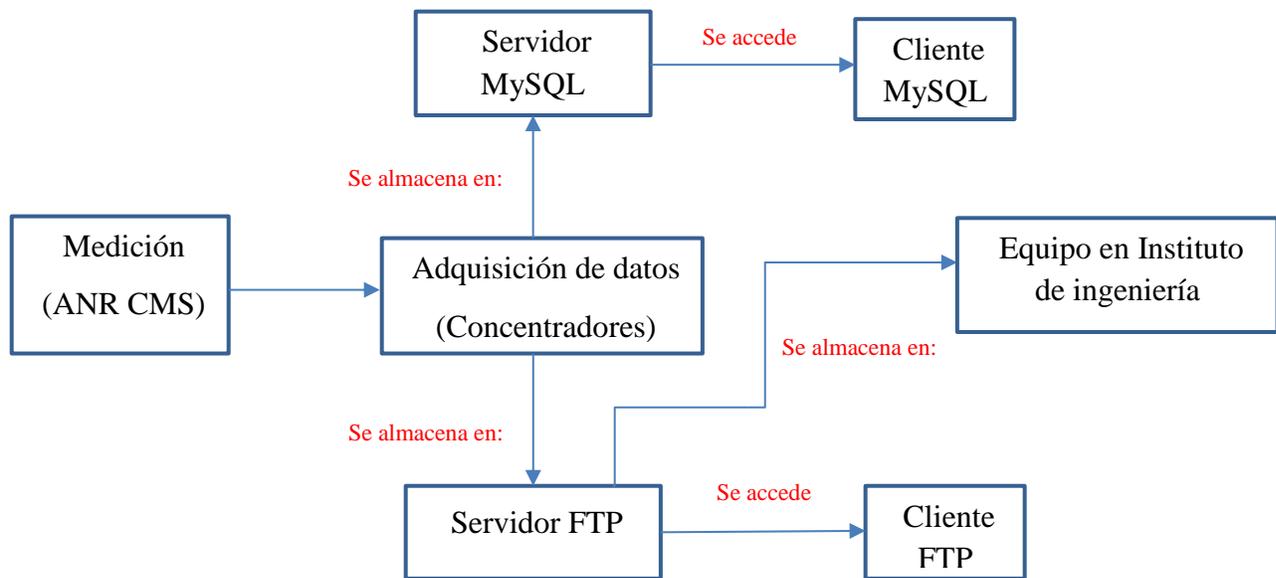


Figura 3.14 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo.

3.3.4 Circuito de Prueba en Laboratorio

Para la realización de pruebas del sistema de monitoreo, se desarrolló un circuito de pruebas, el cual cuenta con tres reguladores de energía los cuales permiten variaciones en el comportamiento eléctrico del circuito, resistencias conectadas en serie en cada una de las fases. Cada regulador de energía cuenta con las características mostradas en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Características Eléctricas del Regulador de Energía

Variable	Valor
Voltaje de Entrada	200/110 [V]
Potencia Máxima	2000 [W]
Voltaje Ajustable	50-220 [Vac]

Se utilizó una configuración en estrella en la alimentación de los reguladores de energía, así mismo en la parte de las conexiones de las cargas, se utilizó una configuración en estrella. Las resistencias utilizadas tienen un valor de 56.81Ω . En la Tabla 3.8 se muestran las características eléctricas del circuito de prueba para el sistema de monitoreo.

Tabla 3.8 Características Eléctricas del Circuito de Pruebas.

Variable	Valor
Potencia	275 [W]
Voltaje	127 [V]
Corriente	2.2 [A]

En la Figura 3.15 se muestra el sistema de pruebas que se realizó, mostrando los reguladores de energía y las resistencias utilizadas.

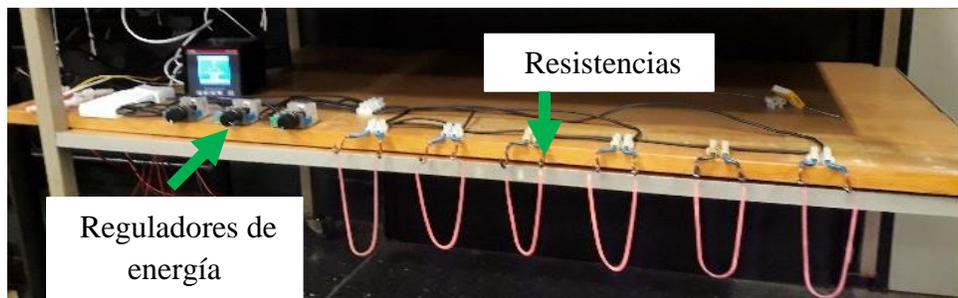


Figura 3.15 Sistema de pruebas

3.3.5 Implementación del Sistema de Monitoreo en el Circuito de Pruebas.

En las pruebas realizadas en el laboratorio se probó el sistema de monitoreo que registra el comportamiento de la alimentación, es decir; el sistema que contiene ANR96 LAN.

Para la medición de corrientes se utilizaron TC's con una relación de transformación (300:5) debido a que el nivel de corriente que circula por el circuito de prueba es más bajo que en el caso de estudio. El concentrador se conectó a una red local para poder acceder a la base de datos y al sistema desde un equipo de cómputo desde el cual poder confirmar que se estaban realizando las mediciones, generando los archivos y actualizando la base de datos correctamente. En la Figura 3.16 se muestra la configuración del sistema de monitoreo en el sistema de prueba en la parte de alimentación. Las pruebas al sistema de monitoreo de cargas en el que se utiliza el CMS700, se realizaron utilizando la configuración que se muestra en la Figura 3.17. Desde el equipo de cómputo se accedió a la base de datos, archivos csv y al sistema del concentrador de manera remota, lo que permitió comprobar el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo de cargas.

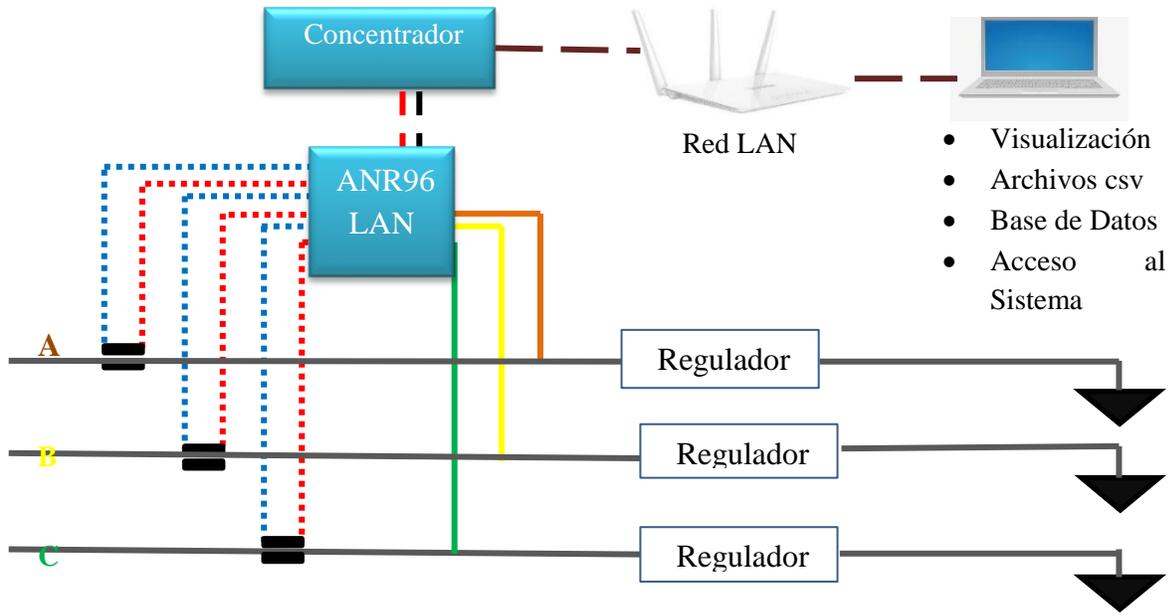


Figura 3.16 Diagrama de implementación del sistema de monitoreo de alimentación en el circuito de prueba

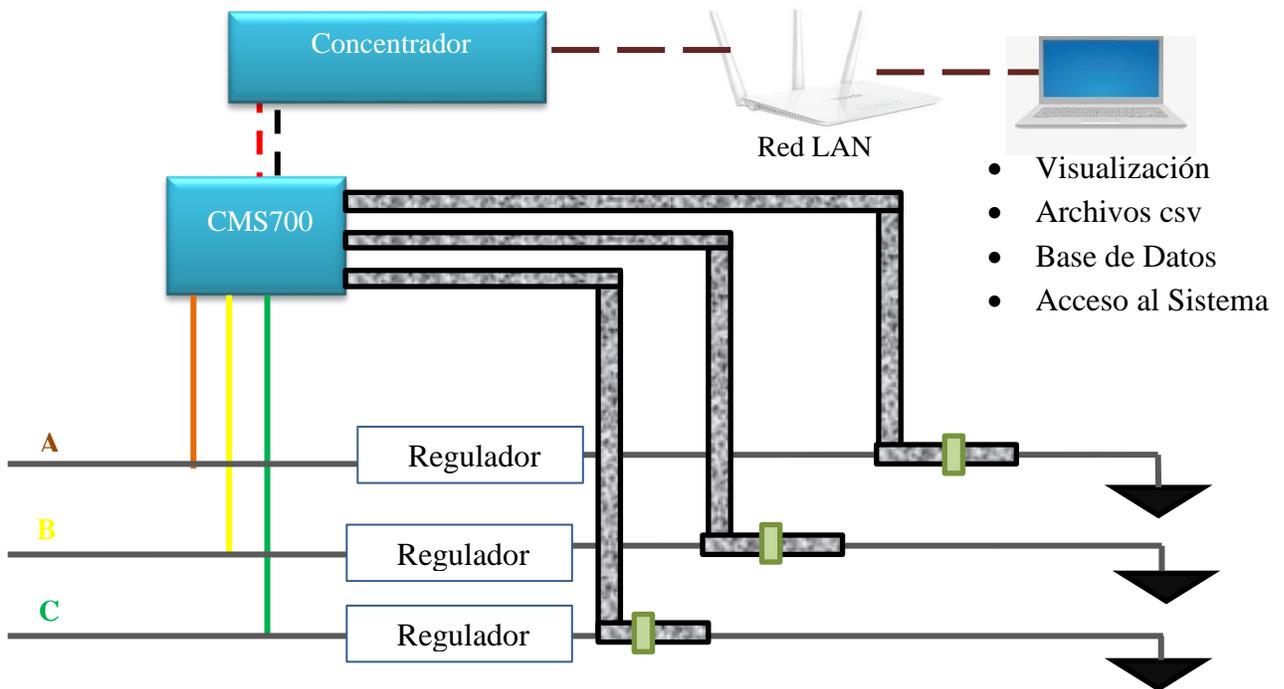


Figura 3.17 Diagrama de implementación del sistema de monitoreo de cargas en circuito de prueba

Los equipos se instalaron en la red de pruebas desarrollada en el laboratorio de sistemas de eléctrica potencia en el instituto de ingeniería UNAM. En la Figura 3.18 se muestra como quedó instalado el sistema de monitoreo en el sistema de pruebas.

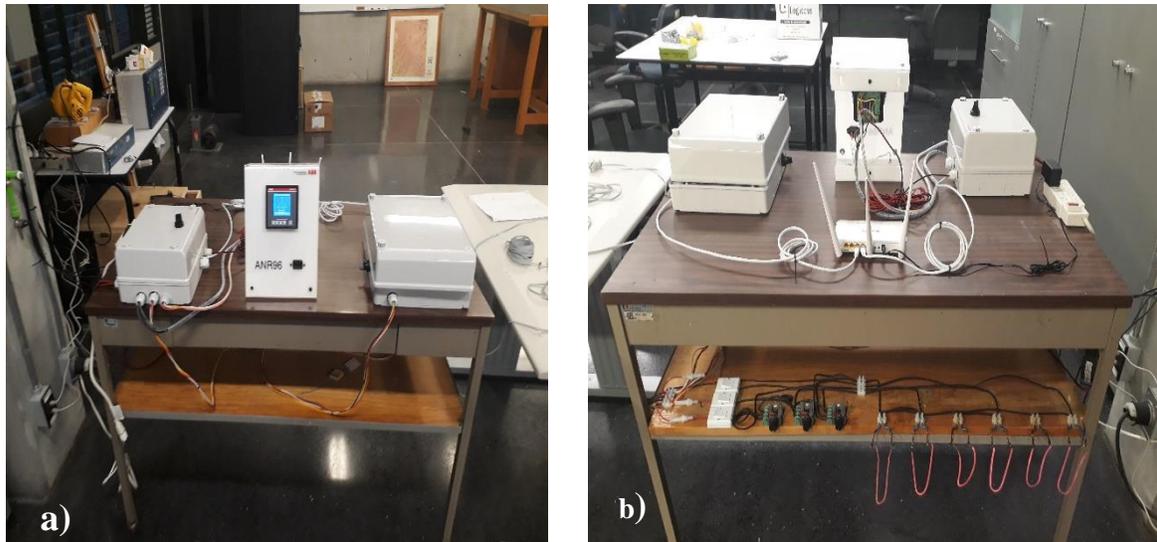


Figura 3.18 a) Sistema de monitoreo parte frontal b) sistema de monitoreo parte trasera

3.3.6 Resultados de las pruebas en el Laboratorio.

Los resultados que se obtuvieron en la implementación del sistema de monitoreo en el circuito de pruebas fueron graficados en un software comercial (MATLAB) a partir de los archivos csv obtenidos de los concentradores, en los cuales se puede observar el comportamiento de las diferentes variables eléctricas.

En la Figura 3.19 se puede observar el comportamiento de los voltajes de línea a línea o entre fases en diferentes instantes de tiempo. En la gráfica se pueden observar algunos eventos que se presentaron en la red de pruebas. Se puede notar que los voltajes entre fases tienen una magnitud que va desde 212 V a 228 v registrando así el comportamiento de la red de alimentación. Estas graficas sólo son uno de los tantos resultados que se obtuvieron de las pruebas realizadas.

Haciendo revisiones de días previos, se encontró que el comportamiento de los voltajes es casi igual todos los días. El análisis anterior se hizo de manera visual, sólo observando las gráficas obtenidas. Como se puede notar el sistema de monitoreo al ser probado en el laboratorio detectó eventos que se presentaron a lo largo del día, esto comprobó que el sistema de monitoreo es capaz de captar eventos como caídas de voltaje en un sistema eléctrico.

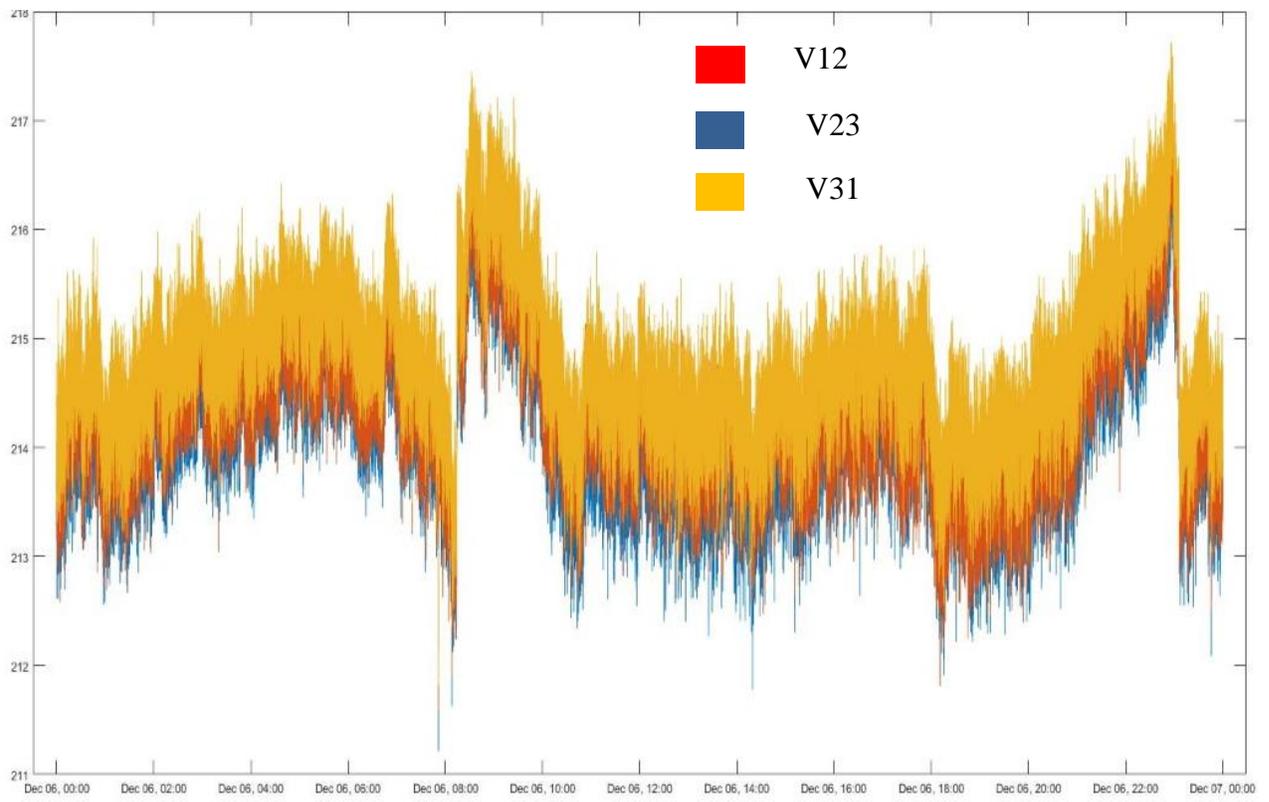


Figura 3.19 Gráfica de voltajes de fase a fase.

Capítulo 4

Implementación

Debido a la situación actual, en México no se cuenta con desarrollos piloto o comerciales de centrales eléctricas en operación de alguna de las formas de energía oceánica presentadas. [14]

Para tener una prueba del funcionamiento del sistema de monitoreo que se propone en esta tesis, el Instituto de Ingeniería (II) y la Dirección General de Tecnología de la Información y Comunicaciones (DGTIC), trabajaron en conjunto para la implementación del sistema de monitoreo.

DGTIC contribuye al logro de los objetivos de la UNAM como punto de unión de la comunidad universitaria para aprovechar los beneficios que las tecnologías de la información y las comunicaciones pueden aportar a la docencia, la investigación, la difusión de la cultura y la administración universitaria.

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con una red de datos avanzada y compleja la cual es administrada DGTIC donde se aloja el centro de datos de la UNAM y también la Supercomputadora Miztli. Debido a la naturaleza de sus instalaciones como centro de datos y supercomputadora, la DGTIC cuenta con una gran cantidad de equipos de cómputo, como lo son equipos de procesamiento, almacenamiento y comunicaciones, trabajando en paralelo y de manera ininterrumpida. Los procesos trabajados en esta supercomputadora pueden durar desde algunos minutos hasta semanas completas, cualquier falla en alguno de sus componentes pondría en riesgo todo el proceso que se esté ejecutando, además de los propios equipos. Cualquier falla o interrupción en el centro de datos y supercómputo de DGTIC sería caótico para la universidad y su comunidad. Si se llegara a presentar una falla, los costos en tiempos y económicos serían de alto impacto. Los sistemas presentes en DGTIC no deberían por ninguna circunstancia sufrir de eventos como cortes y/o variaciones súbitas de energía, así como otras fallas en el suministro eléctrico.

La solución propuesta por ambas partes fue el diseño e implementación de un sistema de monitoreo que trabaje de manera permanente y en tiempo real, midiendo el comportamiento eléctrico y sus características. Éste debería de proporcionar información del suministro eléctrico y del consumo tanto del centro de datos como de la supercomputadora. La información debería mostrarse de manera visual en tiempo real además de crear un registro de dicho comportamiento, así en caso de algún evento o anomalía, estos queden registrados para analizarse posteriormente fuera de línea.

4.1 Características del Caso de Estudio

En las instalaciones de DGTIC se encuentra el área denominada servicios críticos, la cual es dividida en tres: teleproceso (TP), servidores (SE) y finalmente supercómputo (SC). El sistema eléctrico de DGTIC cuenta con cargas monofásicas y bifásicas distribuidas las cuales están distribuidas en 3 habitaciones distintas. Además cuenta con cargas no lineales, las cargas contempladas en este tipo de elementos son los sistemas de cómputo, servidores, sistemas de almacenamiento, router y switch de red. Las cargas críticas con las que cuenta son las que trabajan las 24 horas con procesos delicados, lo que en su funcionamiento les es indispensable el buen de comportamiento la red eléctrica. También cuenta con Circuitos redundantes por seguridad, las cargas son alimentadas por dos alimentadores (Brazo 1 y Brazo 2).

Las cargas del centro de cómputo cuentan con diferentes niveles de alimentación. Algunas cargas tienen una alimentación de 220 V, mientras que otras cuentan con un nivel de voltaje de 110 V

Las cargas divididas en ambos brazos son:

- Servidores cuenta con 49 cargas.
- Súper cómputo con 51 cargas

Los equipos que conforman el centro de datos y supercómputo están integrados en conjuntos dentro de racks. Cada rack es energizado por dos circuitos eléctricos independientes (Brazo 1 y Brazo 2) con el fin de que si uno falla de inmediato puedan alimentarse del otro. Estos circuitos eléctricos son trifásicos y cada uno tiene su toma principal en un tablero eléctrico independiente.

La implementación del sistema de monitoreo se realizó en la parte que alimenta el Brazo 1 el cual cuenta con un sistema de respaldo denominado sistema de alimentación ininterrumpida (UPS). Los transformadores de corriente se instalaron antes del UPS lo cual permitirá tener un registro de armónicos en la red de DGTIC, en esta sección se instaló en ANR96, los TC's y el concentrador correspondiente. Los sensores de corriente del CMS700 se conectaron en las cargas, comunicándose con el CMS700 y a su respectivo concentrador de datos.

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama unifilar del sistema eléctrico del centro de cómputo de DGTIC y como quedo distribuido el sistema de monitoreo.

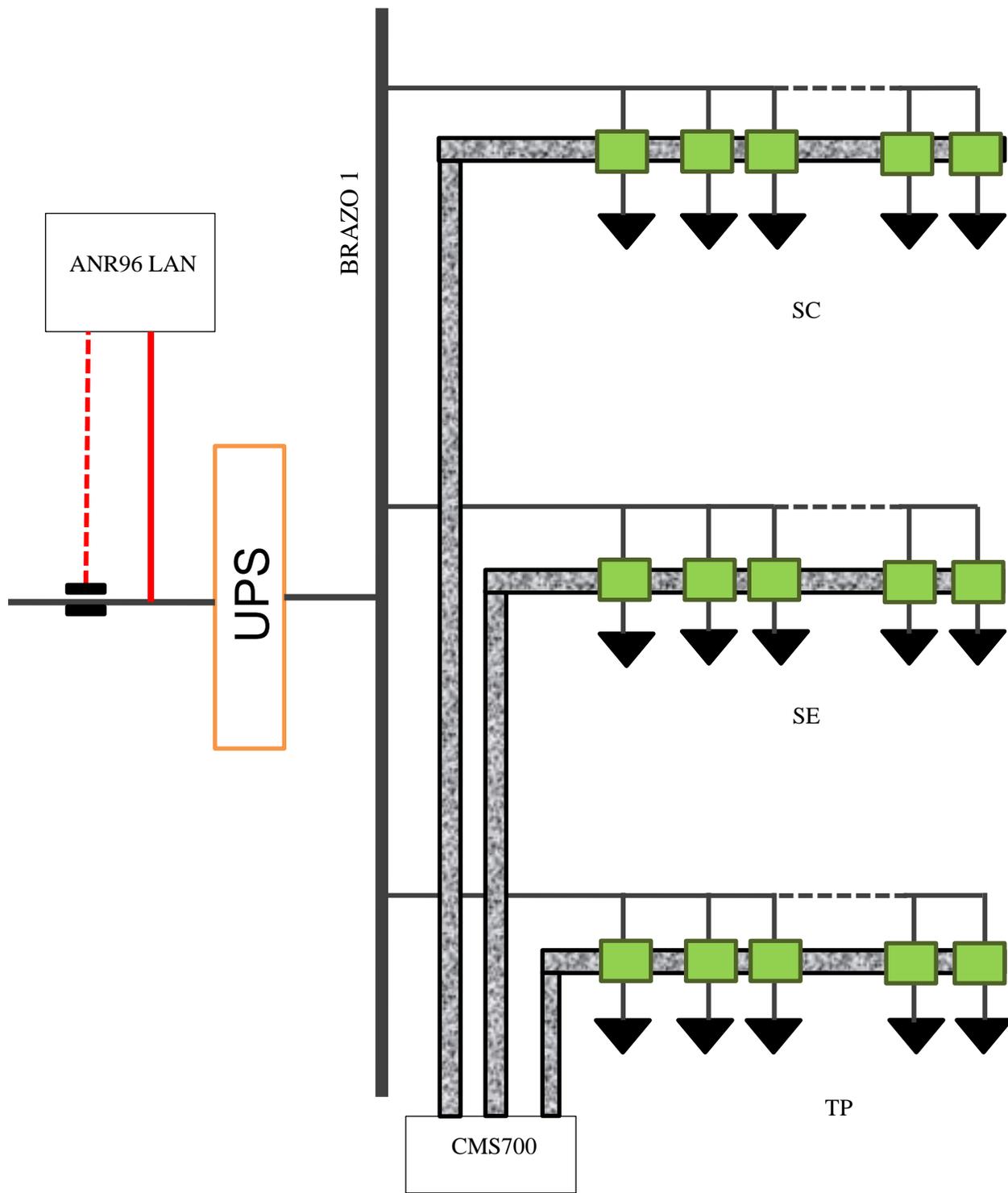


Figura 4.1 Diagrama unifilar del centro de cómputo de DGTIC.

4.2 Implementación del Sistema de Monitoreo en las Instalaciones de DGTIC.

Los primeros elementos del sistema de monitoreo en ser colocados en el DGTIC fueron los TC's, se instalaron en cada una de las barras de alimentación. La instalación se realizó sin tener una desconexión eléctrica en la red debido a las cargas críticas presentes en DGTIC. En la Figura 4.2 se muestra dos de los TC's que se instalaron.



Figura 4.2 Instalación de TC's

Se instaló el gabinete del concentrador que corresponde al Analizador de Red se conectó de tal manera que el Analizador de Red estuviera lo suficientemente cerca para realizar las conexiones correspondientes entre ellos. Se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento de cada elemento del sistema para asegurarse que las conexiones que se realizaron fueran correctas, se accedió al sistema de los concentradores para corroborar que se generaran las bases de datos y que los archivos csv también estuvieran generándose. Se requirió perforar una ventana en el gabinete de acero para ver la pantalla del analizador de energía, mientras que el gabinete va fijo y oculto en su interior. En la Figura 4.3 se muestra como quedó instalado el sistema de monitoreo en los alimentadores.



Figura 4.3 Instalación del concentrador para el ANR96 LAN

Además de las pruebas mencionadas anteriormente, se utilizó un analizador de calidad de energía AEMC CA8336 (Figura 4.4), con el cual se corroboró que el ANR96 LAN estuviera registrando correctamente los valores de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia, etc. en los alimentadores de DGTIC.

Cabe resaltar que en primera instancia se obtuvieron valores erróneos en las mediciones debido a una mala conexión en las entradas donde se conectaron los transformadores de corriente. Después de realizar las modificaciones correspondientes, se volvió a tomar mediciones utilizando el analizador de calidad de energía y se corroboró que el sistema estaba midiendo correctamente los valores de la red eléctrica.



Figura 4.4 Analizador de calidad de energía (AEMC CA8336).

Se instalaron 2 sistemas BCM hasta el momento con un total de 101 sensores de corriente, 49 para la parte SE del centro de datos y 51 para Supercómputo o SC, está por instalarse una unidad BCM más con 22 sensores para la parte de TP, que también forma parte del centro de datos. Las unidades principales de los medidores BCM se instalaron en gabinetes junto con su respectivo concentrador, estos se colocaron estratégicamente arriba de los tableros eléctricos que energizan a los racks tanto del centro de datos como de supercómputo. En la Figura4.5 se puede observar el tablero eléctrico y dos de los sensores ya instalados.



Figura 4.5 a) Tablero eléctrico de servidores, con varios sensores BCM, b) Sensores BCM monitoreando cargas

4.3 Resultados en DGTIC

La implementación del sistema de monitoreo en las instalaciones de DGTIC, permitió generar paquetes de datos, los cuales se obtuvieron desde el laboratorio de Eléctrica de Potencia en el Instituto de Ingeniería de manera remota.

Para los análisis de datos se tomaron los valores de corrientes de línea y las corrientes rms en las cargas. Los análisis realizados permitieron corroborar que el sistema de monitoreo que se implementó es capaz de detectar cambios drásticos en el comportamiento de la red de DGTIC. El tener un registro de eventos de este tipo abre paso a poder realizar análisis y tener conocimiento de cómo fue el comportamiento de la red fuera de línea, es decir; en días posteriores a los eventos suscitados.

4.3.1 Validación de Mediciones

Por medio del software que incluye el AMC CA8336 se graficaron los datos de los voltajes correspondientes al día 25 de Mayo de 2018 desde las 00:00 hasta las 23:59 hrs., en la Figura 4.6 se muestran 2 gráficas que corresponden a las corrientes rms por línea, una negra V_{23} y una roja V_{32} . Se puede notar un evento donde se presenta una caída de voltaje de los 216.5 [V] hasta los 212.5 [V] aproximadamente.

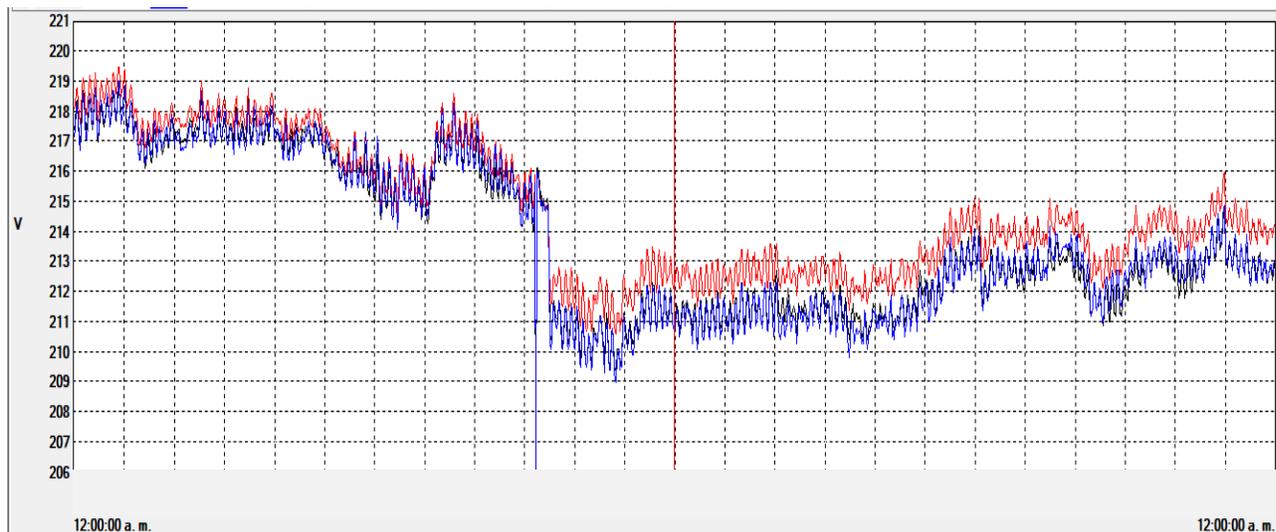


Figura 4.6 Gráfica de voltajes entre fases obtenida por el AEMC 6 del día 25 de Mayo de 2018

Para realizar la comparativa entre el AEMC y el sistema de monitoreo se obtuvo remotamente el archivo csv del ANR96 correspondiente al mismo día para graficarlos, obteniendo las gráficas mostradas en la Figura 4.7 donde se muestran el voltaje V_{23} en rojo, el voltaje V_{12} en azul y el voltaje V_{31} en amarillo desde las 00:00 del día 25 de Mayo de 2018 hasta las 00:00 hrs del día 26 de Mayo de 2018.

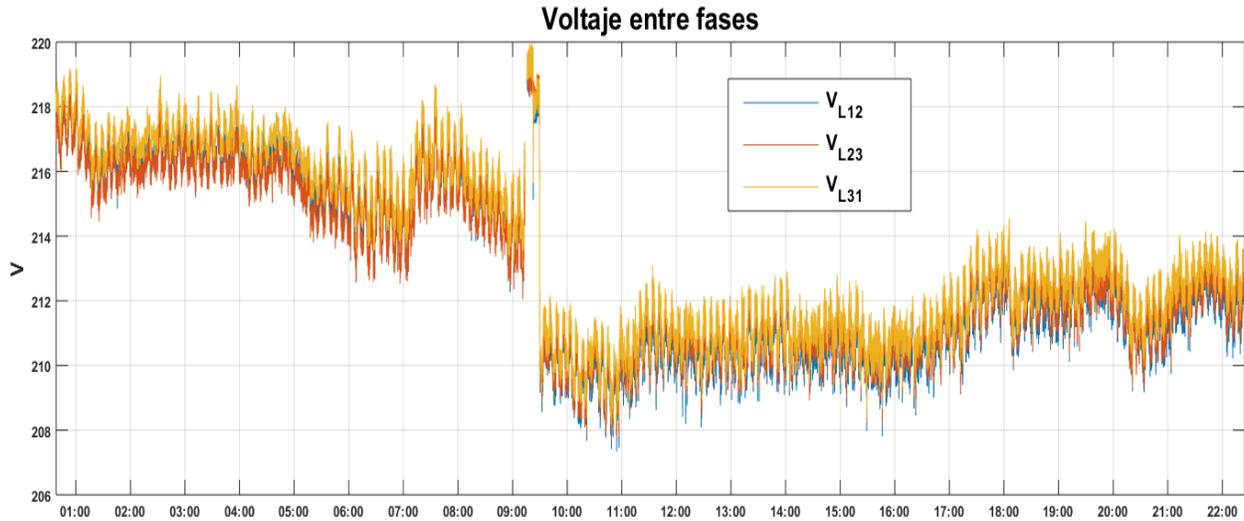


Figura 4.7 Gráfica de voltajes entre fases obtenida por medio de los concentradores del día 25 de Mayo de 2018

En las gráficas se observa que el comportamiento de las corrientes es similar en las dos figuras, lo que permite corroborar que el ANR LAN está realizando y almacenando los datos de manera correcta. Se llega a la conclusión anterior porque en las dos gráficas se muestra el mismo comportamiento de voltaje entre fases. Se puede observar la caída de corriente en el rango de las 9 AM a las 10 AM en ambas gráficas, también se observa que el pico máximo de voltaje se da en el mismo alrededor de las 9:20 hrs.

La utilización del AMC se llevó a cabo para poder corroborar que el sistema de monitoreo que se desarrolló, estuviera operando de manera correcta y que las bases de datos que se obtienen por medio de los concentradores, se estuvieran generando y guardando de manera óptima para su análisis.

4.3.2 Consumo de las Cargas del Centro de Datos.

Para el análisis del consumo de las cargas en DGTIC se tomaron los registros del día 24 de Mayo de 2018 del sistema de monitoreo de cargas en el cual se utiliza el CMS700. El archivo csv se tomó desde el laboratorio de Eléctrica de Potencia en el Instituto de Ingeniería, accediendo al concentrador por medio de FTP. En la Figura 4.8 se muestra una sección del archivo csv que contiene los valores de las corrientes rms medidas a través de los sensores. Como se puede ver en la figura se tomaron los valores de las columnas marcadas con rojo, las cuales corresponden a los sensores 3, 4 y 5. Se seleccionaron estos sensores debido a que las cargas de los circuitos medidos por los sensores tenían un exceso de equipos de cómputo conectados y muestran un valor de corriente mayor.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Hora	S1_Itrms	S2_Itrms	S3_Itrms	S4_Itrms	S5_Itrms	S6_Itrms	S7_Itrms
	Datetime	NUMBER						
1	Hora	S1_Itrms	S2_Itrms	S3_Itrms	S4_Itrms	S5_Itrms	S6_Itrms	S7_Itrms
2	00:00:00	1.54	8.61	18.36	13.8	15.16	20.03	3.35
3	00:00:01	1.52	8.64	18.38	13.78	15.12	20.01	3.33
4	00:00:02	1.48	8.54	18.38	13.88	15.19	19.95	3.34
5	00:00:03	1.49	8.54	18.08	13.82	15.09	19.82	3.35
6	00:00:04	1.53	8.53	18.57	13.92	15.12	20.14	3.34
7	00:00:05	1.54	8.5	18.2	13.8	15.08	19.71	3.33
8	00:00:06	1.52	8.46	18.76	13.92	15.08	19.77	3.34
9	00:00:07	1.52	8.46	18.11	13.81	15.19	19.79	3.33
10	00:00:08	1.51	8.49	18.26	13.75	15.22	19.74	3.33
11	00:00:09	1.5	8.44	18.1	13.73	15.24	19.69	3.34
12	00:00:10	1.53	8.38	18.0	13.56	15.18	19.54	3.34
13	00:00:11	1.53	8.38	18.23	13.76	15.19	19.74	3.34
14	00:00:12	1.44	8.31	18.27	13.69	15.14	19.83	3.33
15	00:00:13	1.44	8.31	18.27	13.69	15.14	19.83	3.33
16	00:00:14	1.56	8.74	18.26	13.8	15.09	19.87	3.34
17	00:00:15	1.54	8.61	18.31	13.65	15.1	19.89	3.33
18	00:00:16	1.44	8.51	18.36	13.6	15.14	19.72	3.27
19	00:00:17	1.44	8.44	18.35	13.51	15.15	19.96	3.27
20	00:00:18	1.44	8.44	18.35	13.51	15.15	19.96	3.27
21	00:00:19	1.43	8.43	18.22	13.47	15.09	19.72	3.28
22	00:00:20	1.44	8.54	18.62	13.54	15.12	20.13	3.28
23	00:00:21	1.44	8.62	18.28	13.47	15.11	19.83	3.34
24	00:00:22	1.43	8.44	18.42	13.78	15.17	20.19	3.33
25	00:00:23	1.44	8.38	18.95	13.67	15.12	19.97	3.33
26	00:00:24	1.43	8.56	18.38	13.56	15.11	19.67	3.33
27	00:00:25	1.44	8.52	18.05	13.6	15.14	19.58	3.34
28	00:00:26	1.45	8.41	18.31	13.77	15.16	19.56	3.33

Figura 4.8 Archivo csv de corrientes RMS correspondiente al 24 de Mayo de 2018

Para el análisis se graficaron los datos con MATLAB. En la Figura 4.9 se muestran tres gráficas, la gráfica en color azul representa la corriente medida por el sensor 3, la roja muestra la corriente medida por el sensor 4 y por último la gráfica en amarillo representa la corriente medida por el sensor 5.

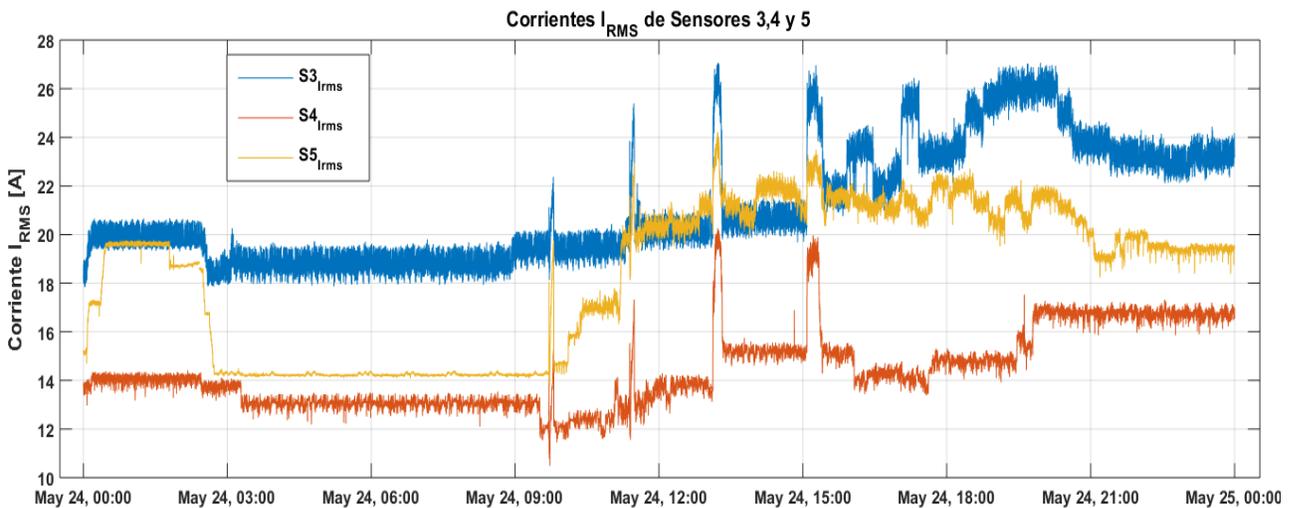


Figura 4.9 Gráfica de corrientes rms de sensores 3, 4 y 5 tomadas el 24 de Mayo de 2018

Se puede observar en la Figura 4.9 que se presentaron eventos en la red, en los cuales hubo elevaciones de corriente que se reflejan por medio de los picos en las gráficas, dichos eventos se presentaron en el lapso de las 9 a las 21 horas. Los valores de las corrientes medidas por el sensor 3 van de los 18 [A] a los 26 [A], mientras que los valores de la corriente medida por el sensor 5 van desde los 14 [A] a los 24 [A], los valores de corriente medida por el sensor 4 van desde los 11 [A] hasta los 20 [A] en su valor máximo. Las variaciones de corriente se presentan en ese lapso debido a que se utilizan con mayor frecuencia las cargas de DGTIC en esos instantes. Se puede notar que el comportamiento de la corriente medida por el sensor 5 tiene más variaciones en su comportamiento a lo largo del día, debido a las cargas que están conectadas.

Al realizar un análisis del pico máximo que se presentó a las 13:07 aproximadamente, que se observa en la Figura 4.10, tuvo una duración de 13 minutos, fue en el momento del día donde se demandó mayor corriente por las cargas conectadas.

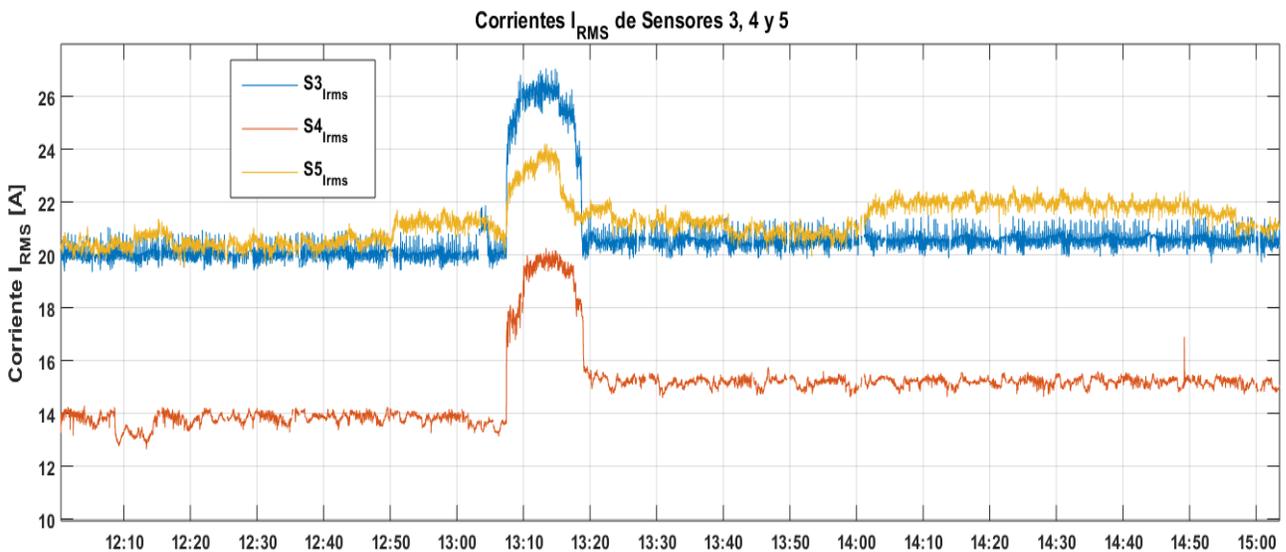


Figura 4.10 Pico máximo que se presentó el día 24 de Mayo de 2018

4.3.3 Evaluación de Corrientes de línea en la Red Eléctrica de DGTIC.

Se accedió a las carpetas de los concentradores donde se almacenan los archivos csv por medio de FTP desde uno de los equipos localizados en el laboratorio de Eléctrica de Potencia en el II. Se tomó un paquete de datos csv del analizador de red montado en el Brazo 1 correspondiente al día 22 de Mayo de 2018, se seleccionaron las corrientes de línea (I_{L1} , I_{L2} , I_{L3}). Estos registros almacenan las mediciones de 24 horas, por lo que se pueden hacer análisis diarios de manera visual, con solo graficar estos datos. Para su revisión, los resultados obtenidos fueron graficados utilizando MATLAB. En la Figura 4.11 se muestran tres gráficas, una azul I_{L1} , una roja I_{L2} y una amarilla I_{L3} . Se puede notar que la gráfica de color rojo es la que presenta un nivel de corriente mayor que las otras dos líneas a lo largo del día, que va desde los 220 [A] hasta los 260 [A] aproximadamente, la corriente de la línea 1 varía entre los 215 a 250 [A], mientras que la corriente de la línea 3 tiene

un rango aproximado de 150 a 200 [A]. Esto representa que las cargas que son alimentadas por la línea dos son las que tienen un consumo mayor de energía. El comportamiento de la red a lo largo del día es de manera similar en las tres corrientes sólo que con diferente nivel.

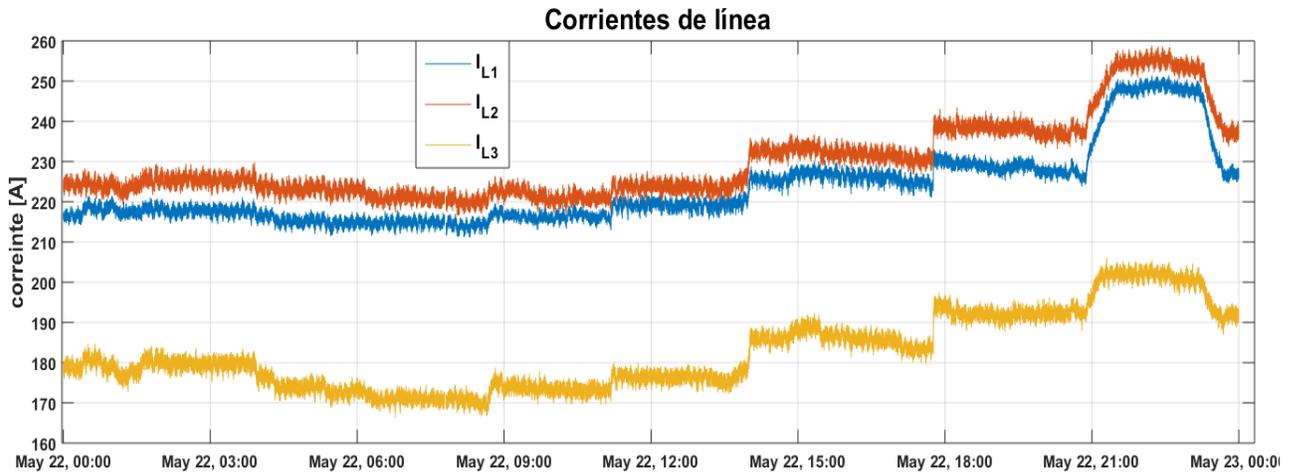


Figura 4.11 Gráfica de corrientes de línea tomadas el 22 de Mayo de 2018

Se nota además que en el lapso de las 18:00 a las 23:30 horas se hace el mayor consumo de energía, esto se muestra en la Figura 4.12 la cual es un acercamiento de la gráfica de corrientes de línea. Las corrientes aumentan alrededor de un 5 % de las 21:00 hrs hasta las 23:10 aproximadamente.

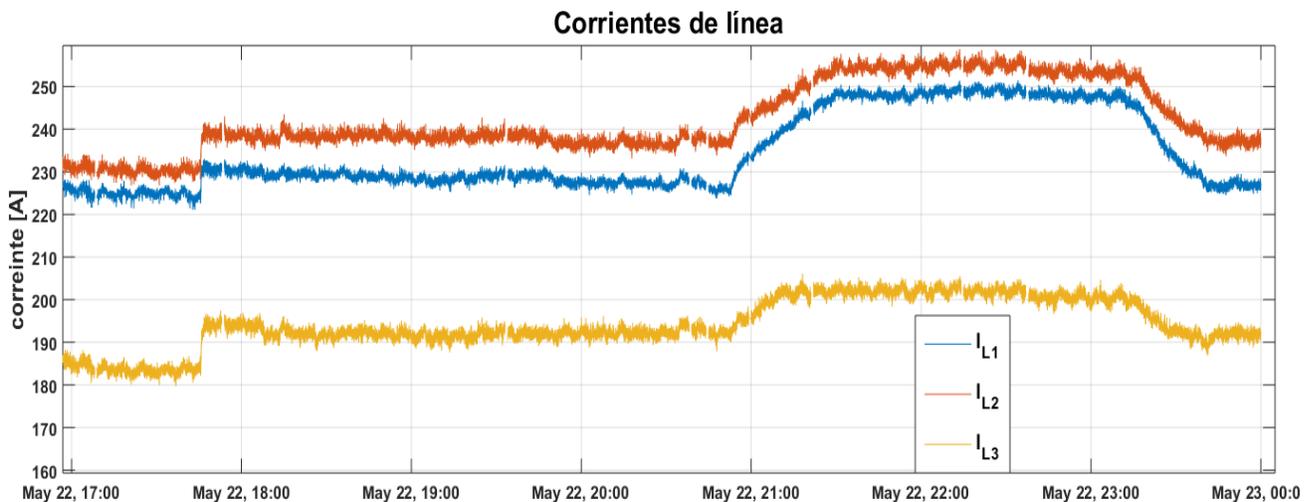


Figura 4.12 Gráfica de corrientes de línea de 17:00 a 23:59 horas del 22 de Mayo de 2018

Conclusiones y Trabajo a futuro

5.1 Conclusiones

El monitoreo eléctrico es fundamental conocer el comportamiento de una red. Así mismo, el contar con una base de datos, es importante si se desea realizar análisis, consultar el comportamiento o tener un registro de los eventos presentes en la red.

El crecimiento en el uso e implementación de tecnologías renovables en la generación y cargas que generan armónicos, causan variaciones en el comportamiento eléctrico. Tomando en cuenta lo anterior, el sistema desarrollado permite realizar el monitoreo una red, que presente en sus cargas o en su generación el uso de estas tecnologías.

Actualmente existen en el mercado sistemas de monitoreo eléctrico que ofrecen el poder realizar mediciones y monitoreo de un sistema eléctrico, su costo es elevado y en algunos casos sus características son sobradas para el sistema que se desea monitorear. Con la realización de este sistema de monitoreo se presenta una herramienta capaz de realizar mediciones en tiempo real, procesar la información de las mediciones y generar una base de datos del comportamiento eléctrico de una red real.

El acceso a los sistemas de los concentradores es de manera remota, lo que permite al usuario del sistema evitar trasladarse hasta el lugar en donde están colocados dichos concentradores, para poder acceder a los archivos generados, al sistema o a las bases de datos, lo cual es una ventaja que se ve reflejada en un ahorro de tiempo.

Poder contar con registros del comportamiento de una red y contar con una estampa de tiempo de cada una de las mediciones, permiten realizar un análisis, en un tiempo posterior a cuando se realizaron las mediciones.

Con el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo se pudo tener conocimiento del comportamiento de la red eléctrica de DGTIC, permitiendo verificar segundo a segundo la calidad de la energía suministrada por la red eléctrica, revisando niveles de voltajes, de distorsión en las formas de onda, picos de tensión o corriente, así como otras anomalías directamente provenientes de la red eléctrica de media tensión de la UNAM, que en algún momento puedan afectar a los equipos instalados en la DGTIC.

El sistema de monitoreo propuesto es fácilmente replicable en cualquier tipo de red eléctrica, incluida las microrredes alimentadas con energías renovables, debido a que los elementos utilizados cumplen las características para poder ser implementados en este tipo de sistemas.

5.2 Trabajos a Futuro.

El sistema obtiene datos de manera continua, es decir que los datos que obtiene de los equipos de monitoreo son almacenados sin un proceso de filtrado antes de ser almacenados en la base de datos o los archivos csv, una de las siguientes etapas para mejorar el sistema es implementar ese proceso filtrado de los datos, esto permitiría evitar que se almacene un dato erróneo.

Con las bases de datos que se generan través de este sistema de monitoreo, se podrá a futuro realizar análisis del centro de cómputo de DGTIC para determinar patrones de comportamiento de sus cargas y el consumo energético que realizan. Además con los resultados se presenta una oportunidad de poder realizar análisis de calidad de energía, utilizando las bases de datos generadas. Con la utilización del software ETAP se podrá visualizar en tiempo real el comportamiento de la red de DGTIC.

Este trabajo se enfocó en el funcionamiento óptimo del sistema de monitoreo, pero con los datos obtenidos se puede hacer un seguimiento y realizar diferentes tipos de estudios, los cuales pueden ser enfocados en la obtención de modelos que describan el comportamiento en un sistema eléctrico similar.

Con el desarrollo y crecimiento de la utilización de energías renovables en la generación energía eléctrica, también se presenta la oportunidad de implementar el sistema en una microrred que esté alimentada por fuentes de energía renovables, incluyendo las energías del océano, lo cual permitiría generar bases de datos de los comportamientos de la red en la utilización de este tipo de energías.

Referencias

- [1] A. Charles K. y S. Matthew N.O., Fundamentos de Circuitos Eléctricos, Ciudad de México: McGraw-Hill, 2006.
- [2] A. H. Robbins y W. C. Miller, Análisis de Circuitos Teoría y práctica, Cengage Learning, 2008.
- [3] «Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas,» [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf. [Último acceso: 14 Mayo 2018].
- [4] J. J. Grainger y W. D. Stevenson Jr., Análisis de Sitemas de Potencia, México: McGRAW-HILL, 2001.
- [5] R. Ducoy Javier, «Implantación de Energías Renovables en una Planta de Producción de Amoniaco,» Sevilla, 2012.
- [6] R. D. Medina, «Micro-Redes basadas en electrónica de potencia: características, operación y estabilidad,» *Ingenius. num. 12*, pp. 15-23, 2014.
- [7] R. d. G. González Huerta, J. M. Sandoval Pineda, J. N. Hernández Pérez y E. Álvarez del Río, Interconexión a la Red y Sistemas de Almacenamiento de Energía, CEMIE-océano, Ed., Campeche, 2017.
- [8] FENERCOM, «Guía Básica de la Generacion Distribuida,» Gráficas Elisa, Madrid, 2007.
- [9] I. G. Mera, «Diseño de un sistema de almacenamiento de energia hibrido basado en baterias y supercondensadores para su integración en microrredes eléctricas,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2010.
- [10] S. Vallejo Castaño, «Generación de energía a partir del gradiente salino entre el agua de rio y de mas utilizando una celda de electrodiálisis inversa,» Medellin, 2013.
- [11] E. J. Tenorio Jimenez, «Incorporacion de Modelos WECS a un Programa de Flujos Dinamicos de Potencia,» UNAM, Ciudad de México, 2014.
- [12] T. Cuevas, A. Ulloa y G. Badal, «Energía Undimotriz,» FCFM, Chile, 2015.
- [13] E. P. Ruiz Garduño, «Océano Conversión de Energía Térmica Oceánica (otec) Estado del Arte. CEMIE-Océano,» CEMIE-Océano, Campeche, 2017.
- [14] SENER, «Prespectiva de Energías Renovables 20012-2026,» SENER, México, 2012.

- [15] B. Cavia del Olmo, «Explotación del potencial de energía del oleaje en función del rango de trabajo de prototipos captadores,» UPC, Barcelona, 2009.
- [16] E. I. Santiago García , «Optimización de un Dispositivo Undimotriz de Tipo Boya Flotante,» UNAM, D.F., 2014.
- [17] M. Pelissero, «Aprovechamiento de la Energía Undimotriz,» U.T.N., Buenos Aires, 2011.
- [18] R. P. Diego, «Energías Alternas Marinas para un México Futuro,» ICOA, Baja California, 2012.
- [19] M. J. López Muños, Aprovechamiento de Corrientes Marinas para la Generación de Energía Eléctrica, Sevilla, 2015.
- [20] J. Carrión Francisco, G. C. Carrasco y José, Supervisión Energética para Monitorización y Control de Consumo Eléctrico. Un Caso Práctico, Valencia, 2015.
- [21] R. Jhon y S. Gabrie, Sistema de Medición Inteligente de Energía Eléctrica en la Empresa The Tesalia Springs Company S.A.: Implementación y Análisis de Resultados, Quito, 2017.
- [22] D. O. Villalba y O. R. Chacón, Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Energético en el Campus Rodríguez Lara – Espe Extensión Latacunga, Ecuador, 2016.
- [23] M. Á. C. SUÁREZ, Diseño y estudio de un sistema de monitoreo remoto para los parámetros eléctricos de la red que alimenta a una edificación., Cuenca, 2013.
- [24] Facultad de Ingeniería-UNAM., «Instrumentos de medición,» [En línea]. Available: www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/655/A7.pdf. [Último acceso: 8 Agosto 2018].
- [25] E. A. Sánchez Moctezuma, Desarrollo de una herramienta computacional para el estudio de la relación de impedancia-temperatura en líneas de distribución mediante PMUs, México: UNAM, 2018.
- [26] J. G. Fuentes Velázquez, C. Ángeles Camacho, L. Cárdenas Guzmán y B. Rodríguez Galeana, «Caracterización del Comportamiento eléctrico de un Centro de Datos y Supercomputadora en la UNAM,» Instituto de Ingeniería- UNAM, ciudad de México, 2018.
- [27] WEG, Manual de la Comunicación Modbus-RTU, 2012.
- [28] ECAMEC Tecnología, «Medición de Potencia, Coseno ϕ y Factor de Potencia,» Argentina, 2009.

Anexos

A. Configuración de los Concentradores

En la Figura A.1 se muestra la configuración y distribución de los elementos del concentrador correspondiente al CMS700 dentro del gabinete.

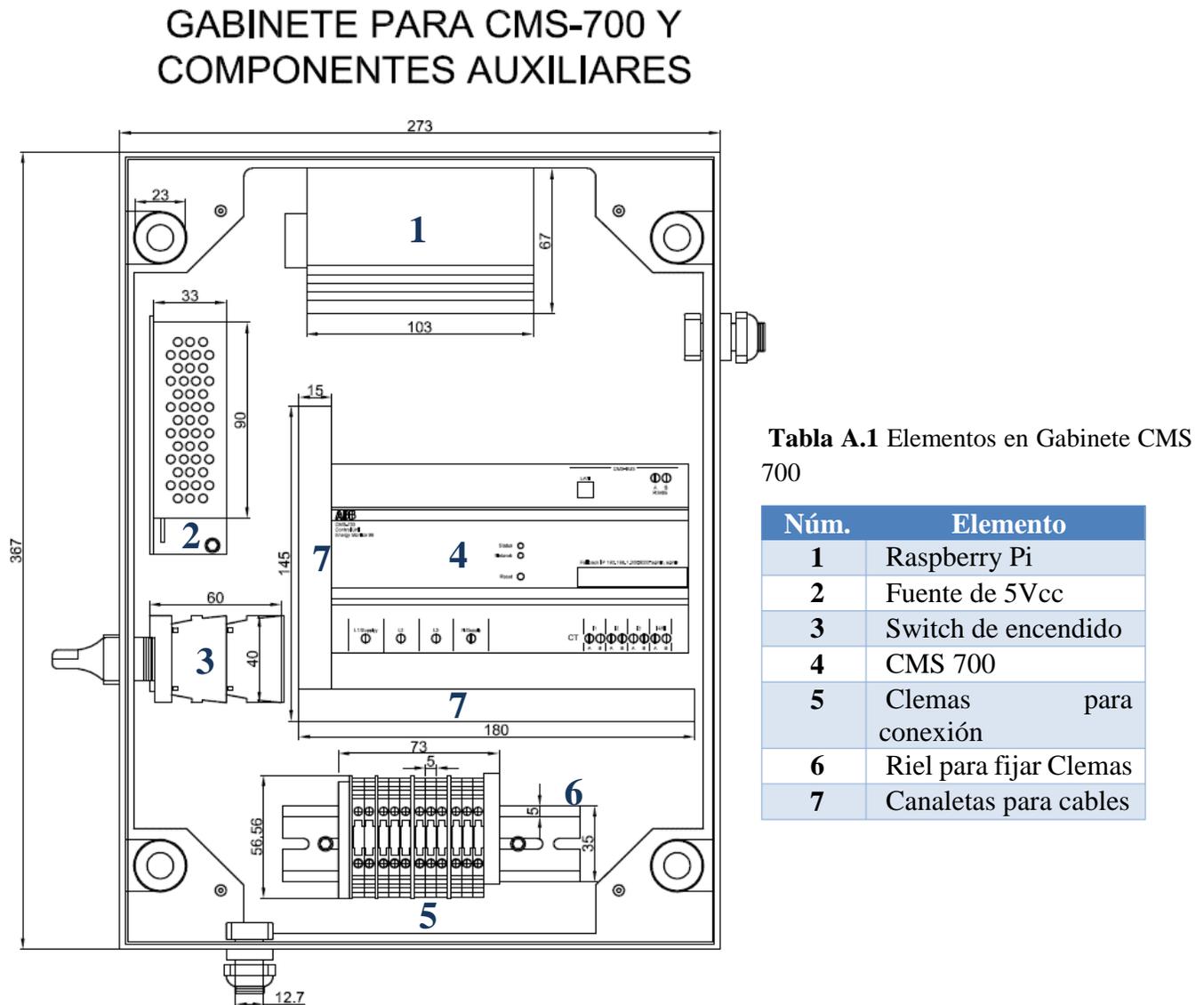


Figura A.1 Configuración de los elementos en el gabinete del concentrador para el CMS700

En la Figura A.2 se muestra la configuración y distribución de los elementos del concentrador correspondiente al ANR96 LAN dentro del gabinete.

GABINETE PARA COMPONENTES AUXILIARES DE ANR96

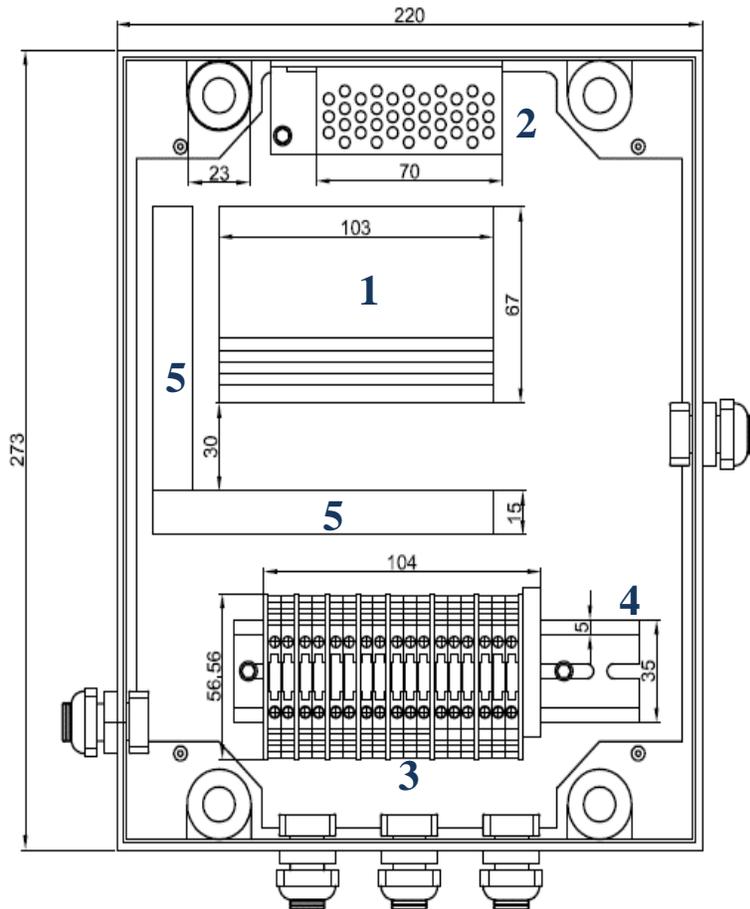


Tabla A.2 Elementos en gabinete ANR96 LAN

Núm.	Elemento
1	Raspberry Pi
2	Fuente de 5Vcc
3	Cables para conexión
4	Riel para fijar Cables
5	Canaletas para cables

Figura A.2 Configuración de los elementos del concentrador en el gabinete para el ANR96 LAN

La realización de los diagramas anteriores (Figura A.1 y Figura A.2), se llevó a cabo por el estudiante de ingeniería Ortega López Fráncico y revisados por el M.C. José Guadalupe Fuentes Velázquez.

B. Protocolos de Comunicación

MODBUS-RTU

El protocolo Modbus fue desarrollado por la empresa Modicon, parte de la Schneider Automation. En el protocolo están definidos el formato de los mensajes utilizado por los elementos que hacen parte de la red Modbus, los servicios (o funciones) que pueden ser ofrecidos vía red, y también como estos elementos intercambian datos en la red.

La red Modbus-RTU utiliza el sistema maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. Permite hasta 247 esclavos, más solamente un maestro. Toda comunicación inicia con el maestro haciendo una solicitud a un esclavo, y este contesta al maestro el que fue solicitado. En ambos los telegramas (pregunta y respuesta), la estructura utilizada es la misma: Dirección, Código de la Función, Datos y Checksum. Solo el contenido de los datos posee tamaño variable. En la figura B.1 se muestra la estructura de los mensajes en protocolo MODBUS-RTU. [27]

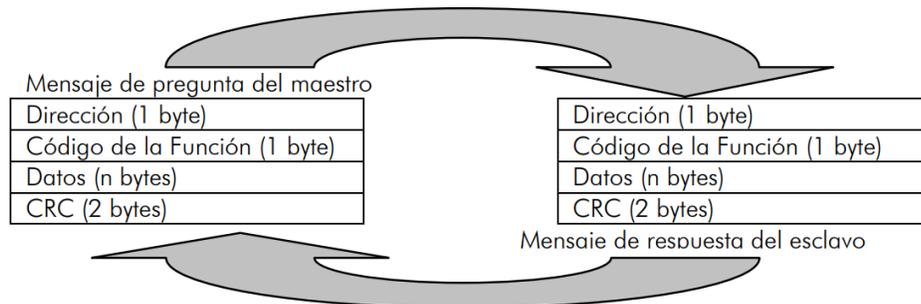


Figura B.1 Estructura de los mensajes

TCP/IP

MODBUS TCP/IP es una variante o extensión del protocolo Modbus que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP. De este modo, Modbus-TCP se puede utilizar en Internet, de hecho, este fue uno de los objetivos que motivó su desarrollo. [27]

C. Obtención de Archivos csv

Para obtener los archivos csv de manera remota que contienen los valores obtenidos a través de los medidores y almacenados por medio de los procesos realizados por los concentradores, se hizo uso de un software comercial llamado *FileZilla Client*, el cual a través de protocolo FTP, permite acceder a las carpetas que contienen las bases de datos.

A continuación se explica el proceso para la obtención de los archivos csv de uno de los concentradores del sistema de monitoreo. Por motivos de seguridad del sistema se omitirá mostrar los datos para poder acceder a los concentradores.

Al ejecutar el programa se nos abre la ventana principal. Para acceder a los concentradores se debe ingresar la dirección IP, el nombre de usuario y contraseña asignados para cada uno de los concentradores. En la Figura B.3 se muestra la sección en donde se ingresan los datos



Servidor: Nombre de usuario: Contraseña: Puerto: Conexión rápida

Figura C.1 Sección para ingresar datos de Dirección IP, usuario y contraseña

Al acceder a los concentradores, se debe navegar por la sección de *sitio remoto* a través de las carpetas hasta la localización de los archivos, o simplemente ingresar la dirección de la carpeta que los contiene. En nuestro caso ingresamos la dirección de la carpeta que contiene los archivos csv del ANR96 LAN como se ilustra en la Figura B.5.

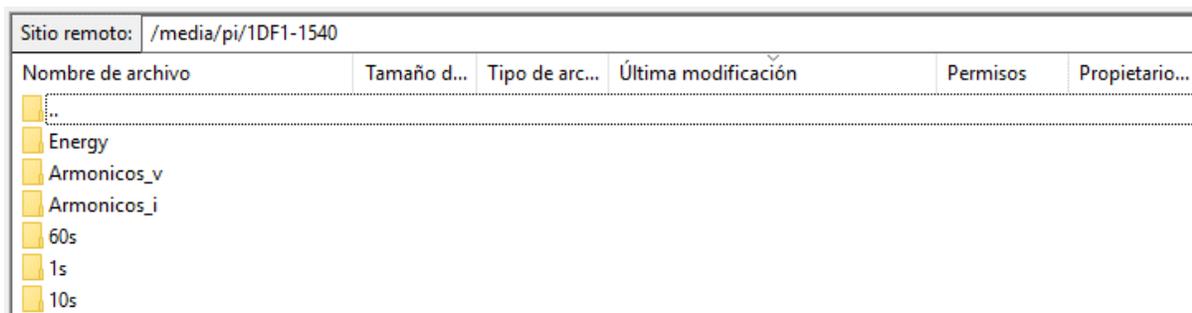


Figura C.2 Acceso a la carpeta que contiene los archivos csv

Para obtener los archivos csv se accede a la carpeta en la cual se tenga interés. En este caso de ejemplo accederemos a la carpeta de 10s, se selecciona el archivo que se desea obtener y se descarga a la carpeta seleccionada.

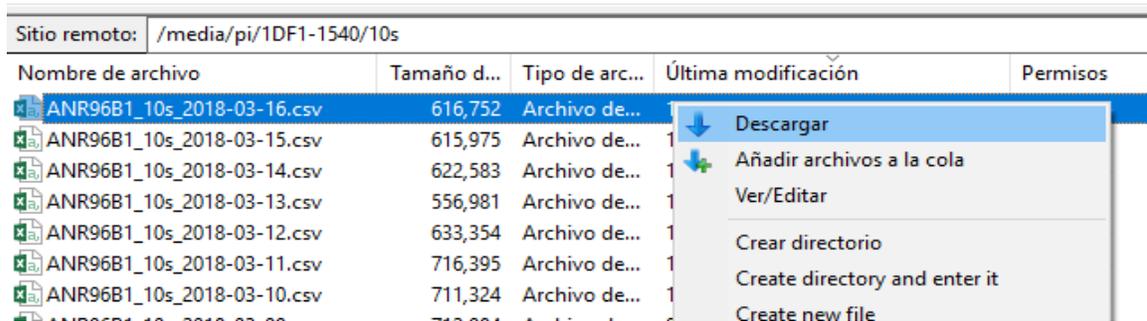


Figura C.3 Obtención de archivo csv

D. Gráficas de comportamiento eléctrico

A continuación se muestran algunas de las gráficas que se pueden obtener a partir de las bases de datos que genera el sistema de monitoreo. Como se dijo en la sección de configuración de los concentradores, se presentan gráficas que permiten visualizar el comportamiento de algunas variables a lo largo de un día en el sistema eléctrico de DGTIC. En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de la red de DGTIC en el día 16 de Agosto del 2018.

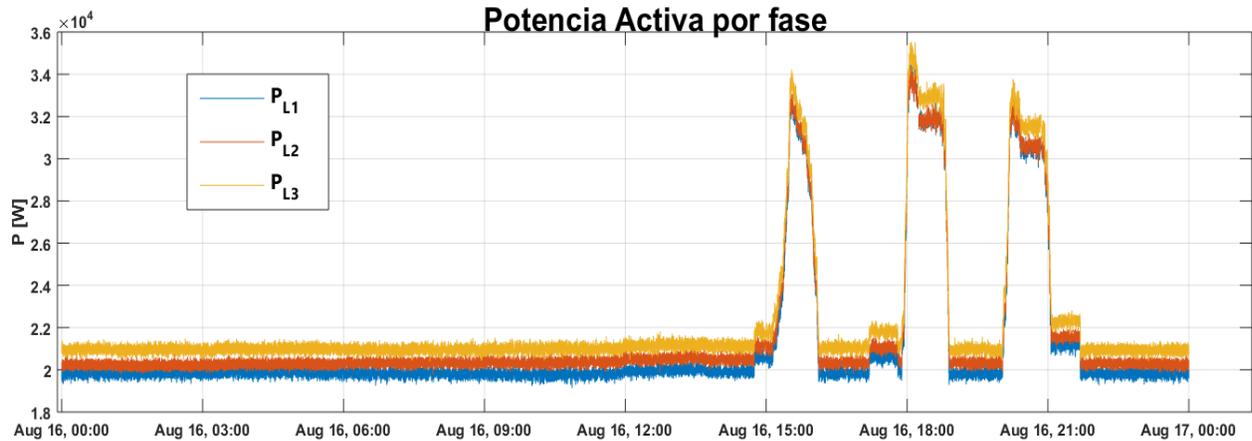


Figura D.1 Gráfica de Potencia Activa

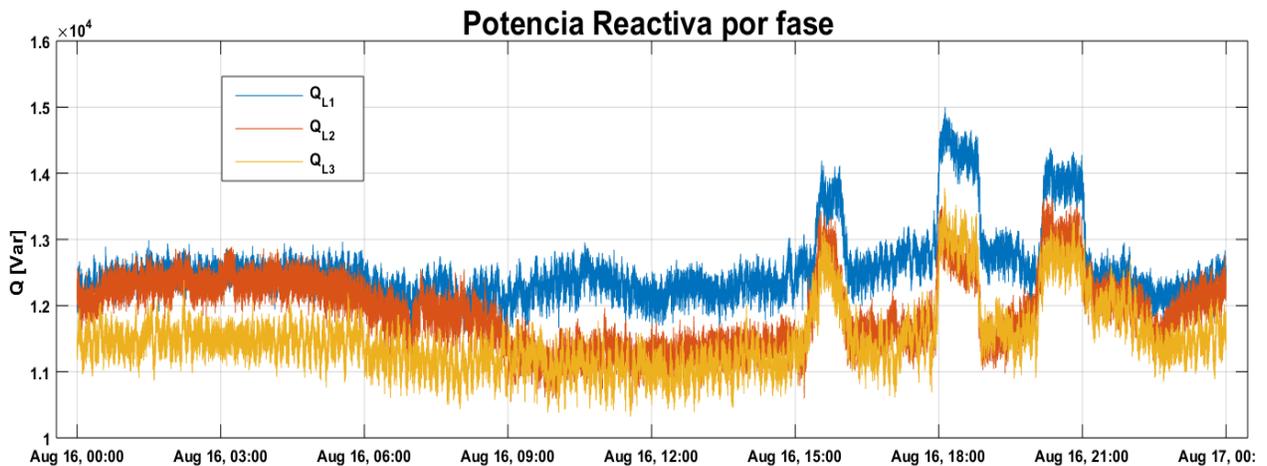


Figura D.2 Gráfica de Potencia Reactiva

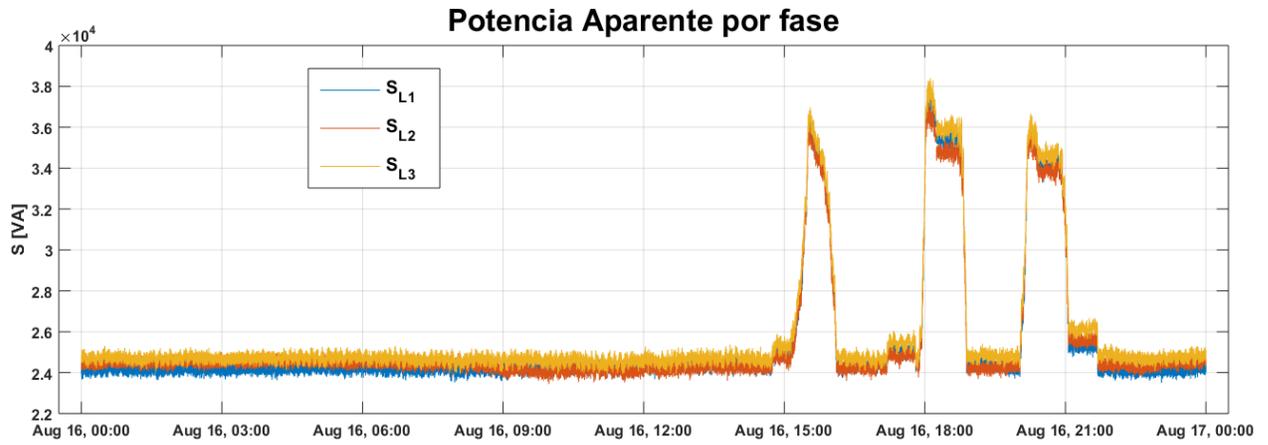


Figura D.3 Gráfica Potencia Aparente

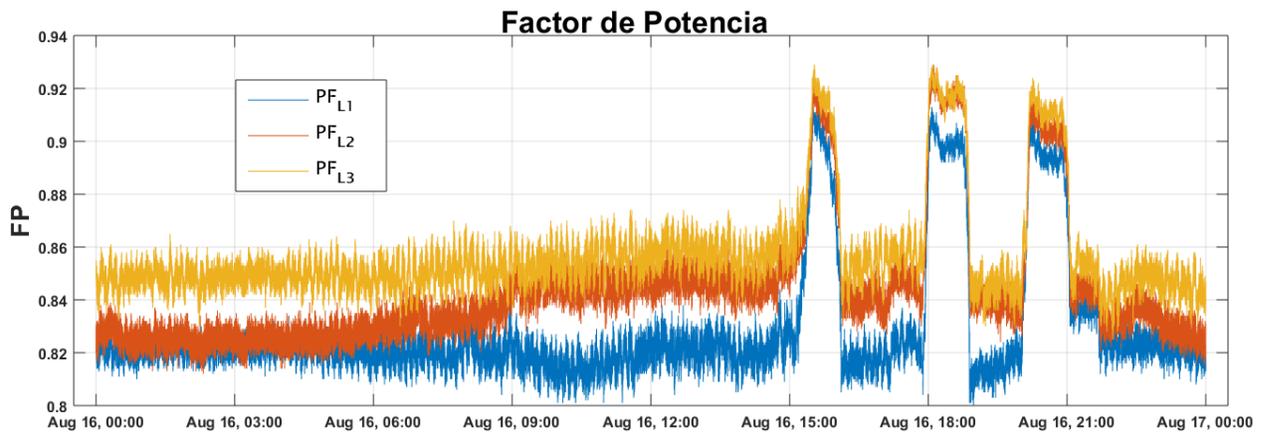


Figura D.4 Gráfica de Factor de Potencia

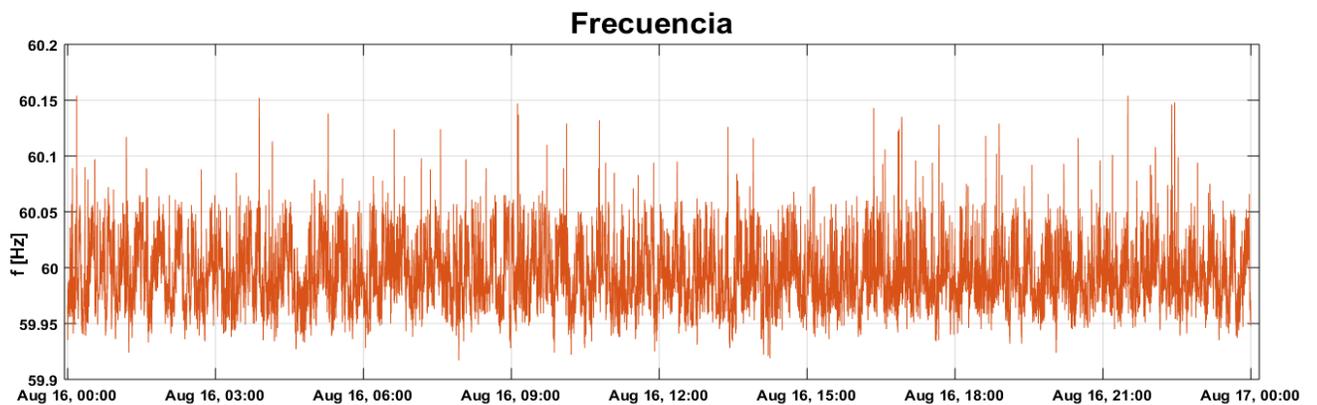


Figura D.5 Gráfica de Frecuencia