



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Post Grado

Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS
GENERADORAS HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO
MAYORISTA DE ELECTRICIDAD**

Ing. Jorge Luis Quemé Pac

Asesorado por el Ing. MA. Everest Medinilla

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS
GENERADORAS HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO
MAYORISTA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE LUIS QUEMÉ PAC

ASESORADO POR EL ING. MA. EVEREST MEDINILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA
COMUNICACIÓN**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
EXAMINADORA	Inga. María Elizabeth Aldana Díaz
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS GENERADORAS HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO MAYORISTA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Post grado, con fecha noviembre de 2012.



Ing. Jorge Luis Quemé Pac

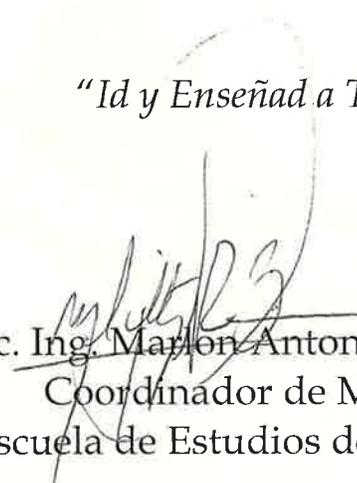


Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-062

Como Coordinador de la Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación y revisor del Trabajo de Graduación titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS GENERADORAS HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD" presentado por el Ingeniero Electricista **Jorge Luis Quemé Pac**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2016

Cc: archivo/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC

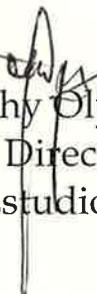
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-062

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS GENERADORAS HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD"** presentado por el Ingeniero Eléctrico **Jorge Luis Quemé Pac**, correspondiente al programa de Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-062

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA PLANTAS GENERADORES HIDROELÉCTRICAS QUE OFERTAN EN EL MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD"** presentado por el Ingeniero Electricista **Jorge Luis Quemé Pac**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, septiembre de 2016.

Cc: archivo/la

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Padre, Hijo y Espíritu Santo, de quien proviene todo buen don y toda dádiva. A ti sea la honra y la gloria por siempre.
Mi esposa	Ana Raquel, quien ha querido compartir su vida conmigo, me ha dado su amor incondicional y se ha llenado de paciencia y comprensión.
Mis hijas	Mis princesas: Ana Lucía y Sofía Yamileth. Los regalos maravillosos que Dios me ha dado y que siempre están llenas de amor para su papi.
Mis padres	Quienes partieron ya a la vida eterna. Que este logro sea para honrar su memoria y sentir el cálido recuerdo del amor y cuidado que siempre me brindaron.
Mis suegros	Mis segundos padres, de quienes siempre he recibido amor, comprensión y apoyo.
Mis hermanos	Con quienes comparto el lazo de amor fraternal y los valores que nos inculcaron en casa. A ustedes y a sus familias que siempre han sido un gran apoyo emocional.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Gracias Señor por tu misericordia, que me ha permitido terminar este esfuerzo.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Digna casa de estudios superiores que me ha dado los conocimientos necesarios para desarrollarme como profesional.
- La Escuela de Estudios de Post Grado** Que me ha permitido continuar mi formación profesional enseñándome el valor del continuo aprendizaje.
- Mis catedráticos** Por compartir desinteresadamente sus conocimientos y experiencia. Un especial agradecimiento a la ingeniera María Aldana, por todo el apoyo brindado en el proceso de elaboración del trabajo de graduación.
- Mi asesor** Ingeniero Everest Medinilla, por su valiosa orientación y aporte en el desarrollo del trabajo de graduación.
- Mis compañeros** Por toda la generosidad mostrada durante el desarrollo de la maestría, al compartir sus conocimientos e integrarme como parte de sus grupos de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XV
OBJETIVOS.....	XIX
MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Diseño de sistemas de información móviles.....	9
2.1.1. Entendimiento del dominio de la aplicación inalámbrica	10
2.1.2. Requerimientos de ingeniería del sistema.....	10
2.1.3. Análisis y modelado del sistema.....	12
2.2. Arquitectura de sistemas móviles	13
2.3. Tecnologías de transmisión de datos móviles	16
2.4. Inteligencia de negocios	20
2.5. Data Warehouse.....	21
2.6. Procesos ETL.....	25
2.7. Data Mining	27
2.8. Estrategia empresarial basada en indicadores de desempeño.....	28
2.9. Análisis predictivo.....	30
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	33

3.1.	Proceso de operación de plantas hidroeléctricas	33
3.1.1.	Proceso de supervisión	40
3.2.	Sistema SCADA.....	42
3.2.1.	Telemetría	42
3.2.2.	Adquisición de datos	42
3.3.	Recolección manual de datos en plantas hidroeléctricas.....	43
3.4.	Recolección de eventos en bitácora escrita	49
3.5.	Recolección de datos de fuentes externas.....	53
3.6.	Indicadores.....	55
3.6.1.	Coeficiente de disponibilidad.....	56
3.6.2.	Índice de salidas forzadas	57
3.6.3.	Número de arranques fallidos	58
3.6.4.	Índice de mantenimiento	58
3.6.5.	Índice de oferta firme disponible.....	58
3.6.6.	Índice de generación de energía	60
3.6.7.	Factor de planta	60
3.6.8.	Factor de carga	61
3.7.	Casos de uso del sistema de información operativa	61
3.8.	Análisis y modelado de datos.....	70
3.8.1.	Modelo de datos dinámico.....	75
3.9.	Análisis y modelado de objetos	76
3.10.	Arquitectura de red.....	78
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
4.1.	Ingreso, consulta y análisis de la información operativa	83
4.1.1.	Análisis de información a través de reportes de supervisión	85
4.1.2.	Análisis de información a través de reportes gerenciales	93
4.2.	Normalización y ordenamiento de la información operativa	94

4.3.	Análisis de datos y cálculo de indicadores	96
4.4.	Diseño de la herramienta de análisis de la información histórica	99
4.5.	Impacto social del sistema propuesto.....	100
4.6.	Impacto económico del sistema propuesto.....	101
4.7.	Impacto tecnológico del tema propuesto	105
4.8.	Derechos de propiedad intelectual	106
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de una planta generadora hidroeléctrica	XVI
2.	Proceso de análisis y modelado del sistema: a) seis pasos y b) seis vistas... ..	12
3.	Arquitectura de sistema en capas, para aplicaciones inalámbricas: (a) para aplicaciones basadas en WAP (b) para aplicaciones basadas en i-mode (c) para aplicaciones basadas en <i>Wireless</i>	14
4.	Comparación de tecnologías inalámbricas respecto a su rango de cobertura y ancho de banda.....	17
5.	Diagrama de una red Wi-Fi	18
6.	Diagrama de una red WiMax.....	19
7.	Modelo integral de una solución de <i>Business Intelligence</i>	21
8.	Arquitectura de un sistema Data Warehouse	22
9.	Modelo estrella dimensional	23
10.	Modelo copo de nieve dimensional	24
11.	Esquema de herramienta ETL	25
12.	Proceso de gestión de información en plantas hidroeléctricas.....	37
13.	Proceso de maniobras en plantas hidroeléctricas	38
14.	Proceso de supervisión en plantas hidroeléctricas	41
15.	Elementos de un sistema SCADA.....	43
16.	Proceso actual de gestión de información en una planta hidroeléctrica.....	47
17.	Ejemplo de los dispositivos electrónicos inteligentes de medición y protección eléctrica instalados en las plantas	48

18.	Vista del programa de despacho diario del Mercado Mayorista	54
19.	Vista del programa semanal de mantenimientos del administrador del mercado mayorista.....	55
20.	Diagrama de casos de uso del sistema de información operativa	62
21.	Modelo de datos planta-unidad.....	71
22.	Modelo de datos parámetro-indicador	72
23.	Modelo de datos evento-componente unidad-componente indicador...	73
24.	Modelo entidad-relación del sistema de información operativa	74
25.	Modelo multidimensional de análisis del sistema de información operativa	75
26.	Diagrama de clases del sistema de información operativa	76
27.	Diagramas de secuencia del sistema de información operativa	77
28.	Diagrama de componentes sistema de información operativa	78
29.	Ejemplo de red a través de módem inalámbrico.....	79
30.	Diagrama de arquitectura de red del sistema de información operativa	80
31.	Diagrama de distribución del sistema de información operativa	81
32.	Ejemplo de reporte de generación diaria.	89
33.	Ejemplo de reporte de carga horaria.....	90
34.	Ejemplo de un reporte diario de eventos	92
35.	Ejemplo de reporte gerencial de indicadores.....	95

TABLAS

I.	Diferentes tecnologías inalámbricas	17
II.	Procedimientos operativos en plantas hidroeléctricas	35
III.	Actividades operativas en plantas hidroeléctricas	36
IV.	Datos operativos por unidad generadora, capturados horariamente en sala de mando.	45

V.	Datos operativos de otros equipos, capturados horariamente en sala de mando.....	46
VI.	Datos operativos capturados diariamente en sala de mando.....	47
VII.	Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora	50
VIII.	Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora	51
IX.	Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora	52
X.	Caso de uso recolección de datos operativos.....	63
XI.	Caso de uso ingreso de datos operativos	64
XII.	Caso de uso ingreso de eventos	65
XIII.	Caso de uso consulta de datos operativos.....	66
XIV.	Caso de uso consulta de eventos	67
XV.	Caso de uso crear reporte.....	68
XVI.	Caso de uso calcular indicadores	69
XVII.	Resumen de parámetros operativos por unidad y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica	86
XVIII.	Resumen de otros parámetros operativos capturados en la planta y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica.....	87
XIX.	Tipos y sub tipos de eventos operativos y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica.....	88
XX.	Indicadores de desempeño del sistema de información operativa	93
XXI.	Valores típicos de las horas de duración de eventos, para el cálculo del coeficiente de disponibilidad.....	97
XXII.	Ejemplo de cálculo mensual de indicadores utilizando datos de parámetros operativos, capacidades y eventos de unidad.....	98
XXIII.	Ejemplo de cálculo diario del indicador oferta firme disponible	98
XXIV.	Ejemplo de cálculo del índice de mantenimiento	99
XXV.	Ejemplo de cálculo de índice de generación de energía	99
XXVI.	Costos del sistema de información operativa.....	105

GLOSARIO

Administrador del mercado mayorista	Ente encargado de la administración y coordinación del mercado mayorista.
Automática	Ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano, por dispositivos mecánicos o electrónicos.
Automatización	Acción de aplicar la automática a un proceso o a un dispositivo.
Bitácora	Libro en que se apuntan los principales eventos ocurridos en una planta generadora de electricidad.
Bluetooth	Una forma de transmisión inalámbrica muy popular para comunicaciones a corta distancia que no requieren alta potencia.
Coeficiente	Expresión numérica de una propiedad o característica de un cuerpo, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes.
Data Mart	Versión especial de un almacén de datos, diseñada para servir a las necesidades de un departamento específico como ventas o finanzas.
Disponibilidad	Cualidad o condición de disponible.

Eficiencia	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.
Embalse	Gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arrollo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, entre otros.
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
Evento	Eventualidad, hecho imprevisto o que puede acaecer.
Ethernet	Es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones.
Hidroelectricidad	Energía eléctrica obtenida por fuerza hidráulica.
Hidroeléctrica	Perteneciente o relativo a la hidroelectricidad.
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i> . Cualquier dispositivo que incorpora uno o más procesadores con capacidad de recibir o enviar datos o realizar control, desde o hacia una fuente externa, tales como medidores electrónicos multifunción, relés digitales y controladores.

IIS	<i>Internet Information Services</i> . Es un servidor web y un conjunto de servicios para el sistema operativo Microsoft Windows.
I-mode	Conjunto de tecnologías y protocolos diseñados para navegar a través de mini páginas diseñadas específicamente para dispositivos móviles como teléfonos o PDAs.
JDBC	<i>Jaba Database Connectivity</i> . Interfaz de programación de aplicaciones que permite la ejecución de operaciones sobre bases de datos desde el lenguaje de programación Java, independientemente del sistema operativo donde se ejecute o de la base de datos a la cual accede, utilizando el dialecto SQL del modelo de base de datos que se utilice.
Mercado Mayorista	Conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y a largo plazo entre agentes del mercado de electricidad.
ODBC	<i>Open Database Connectivity</i> . Es un protocolo estándar industrial que hace posible que el software de diferentes vendedores interactúe e intercambie datos.
Parámetro	Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.

PLC	<i>Programmable Logic Controller.</i> Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos.
Potencia	Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
RTU	<i>Remote Terminal Unit.</i> Dispositivo basado en microprocesadores que permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese.
WAP	<i>Wireless Access Point.</i> Dispositivo inalámbrico central que provee servicios de red a clientes inalámbricos. También llamado Access point.
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity.</i> Familia de estándares populares de red IEEE, para redes de área local. También conocidos como 802.11x, que incluye 802.11a, b, g y n.
WiMAX	Especificaciones IEEE 802.16 las cuales se espera que permitan aplicaciones multimedia inalámbricas de un rango mayor a 30 millas.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network.</i> Una red inalámbrica que es relativamente barata de instalar y se adecua a grupos de trabajo y usuarios que no están anclados a una localización específica.

RESUMEN

En Guatemala existe una gran cantidad de plantas generadoras hidroeléctricas, las cuales venden su energía y potencia en el Mercado Mayorista de Electricidad. En dichas plantas generadoras se produce diariamente gran cantidad de información proveniente de las lecturas de los parámetros de operación, obtenidos de los diferentes sensores y/o medidores instalados en la planta e información de los eventos operativos suscitados. Mucha de esta información es obtenida manualmente a través del operador y auxiliar de operador de la planta en cada turno de operación y se registra en formatos impresos u hojas electrónicas. Este registro de información es inadecuado, pues la información queda almacenada en formatos impresos que se llenan de forma manuscrita o en el mejor de los casos en hojas electrónicas, lo que dificulta la consulta y el análisis de la información.

En el pasado se han realizado esfuerzos para mejorar el registro de información que se genera en plantas generadoras o sistemas eléctricos (Ruiz Flores Iván, Cortés F. Judith, Chávez A. Fátima, 2007) y se ha propuesto el diseño e implementación de sistemas de información que utilicen bases de datos.

En el presente trabajo se abordó el problema del registro de la información operativa que es obtenida manualmente en las plantas generadoras hidroeléctricas, mediante la realización del diseño de un sistema de información operativa que facilite el ingreso, consulta y análisis de dicha información.

Para la realización del diseño se tomó como base el proceso de gestión de información y de supervisión que se realiza en las plantas generadoras del

Instituto Nacional de Electrificación de Guatemala, se definieron los casos de uso del sistema, los diagramas de clases y de objetos y la arquitectura de red necesaria para la implementación del sistema de información.

Asimismo, se realizó el modelo de datos para la normalización y ordenamiento de la información operativa, definiendo las relaciones entre las entidades, que permita el cálculo de los indicadores de desempeño.

Finalmente, se realizó el diseño de un modelo de datos dinámico para la construcción de un *Data Warehouse* que permita la realización de análisis de la información histórica de acuerdo a las dimensiones definidas.

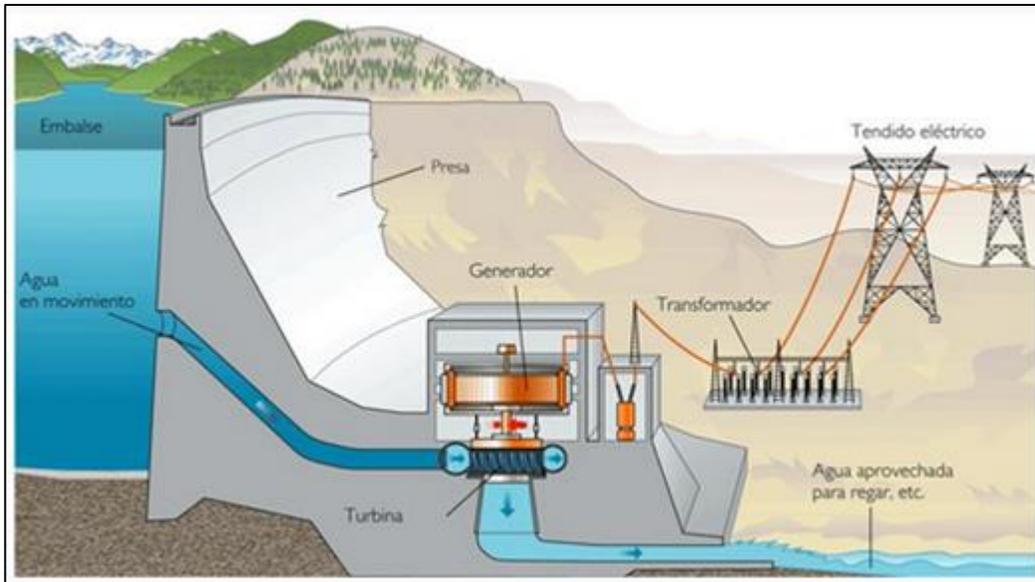
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Una planta generadora de electricidad está constituida por al menos un generador eléctrico, el cual es movido por un primotor que puede ser un motor de combustión interna, o una turbina hidráulica o de vapor. Cada unidad generadora posee sistemas eléctricos o mecánicos complementarios que permiten realizar la función de generar electricidad, tal como sistemas de lubricación, de enfriamiento, sistemas de control de velocidad y voltaje, entre otros.

Las plantas generadoras también tienen elementos de conexión a las líneas de transmisión como lo son los interruptores, seccionadores, transformadores de potencia y de medida, sistemas de alimentación de energía para sus servicios propios como iluminación y alimentación de motores, para las bombas de los sistemas complementarios.

Por otra parte, en las plantas generadoras existe una sala de control principal en donde los operadores realizan las maniobras de ingreso y salida de unidades, cambio de consignas de carga, regulación de voltaje y frecuencia, entre otros. También se coordina la intervención de las unidades para realización de mantenimientos programados o de emergencia y en general, todas las actividades cotidianas que se realizan dentro de la planta. Parte de esta información se reporta al Centro de Control operador del Sistema Eléctrico y otros niveles superiores de control.

Figura 1. **Esquema de una planta generadora hidroeléctrica**



Fuente: Características y funcionamiento de una hidroeléctrica en <http://www.ecovive.com/caracteristicas-y-funcionamiento-de-una-central-hidroeléctrica>. Consulta: 28 de abril de 2,016

Con el apareamiento de los sistemas de adquisición de datos conocidos como SCADA, las salas de mando actuales cuentan con un sistema computarizado para la supervisión de las principales variables de operación de la planta, no obstante, aún mantienen registros escritos de la información que no es automatizable, la cual generalmente consignan en una bitácora de operación escrita y en hojas de control manual, especialmente para los datos que deben transmitir a través del sistema de voz operativa (comunicación vía radio).

El problema central que se identificado en las plantas generadoras hidroeléctricas y que subsiste hasta el año 2016, es que la información que se ingresa en bitácoras y hojas de control manual no puede ser consultada y analizada de forma adecuada, ya que no existe forma de poder clasificarla y

ordenarla. Las bitácoras son escritas sin que se tenga un formato definido, de tal forma que el operador decide para cada turno, qué escribe y cómo lo escribe. No existe forma de darle seguimiento a un evento o novedad, ya que muchas veces los operadores no leen los eventos del turno anterior y solo consignan los que son de su propio turno.

Los parámetros de operación adquiridos de forma manual y que se envían por radio al Centro de Control no pueden ser consultados efectivamente, aunque se ingresen a hojas electrónicas, ya que no existen herramientas de consulta por parámetros, por rango de fechas o por algún otro criterio de supervisión, lo cual puede llegar a ser necesario en caso de falla del sistema SCADA o para corroborar los datos enviados al Centro de Control, los cuales normativamente poseen validez. Igual situación se produce para contabilizar los tiempos de indisponibilidad de las unidades, los cuales muchas veces no son iguales a los consignados por el SCADA, ya que dependen de la declaración de la condición realizada vía radio, por el operador y que deja consignada en bitácora.

La pregunta principal y preguntas auxiliares que se plantean sobre la necesidad de un sistema de información operativa para plantas generadoras hidroeléctricas, son:

Pregunta principal:

¿Es factible diseñar un sistema informático para el ingreso, consulta y análisis de la información operativa que se genera en una planta hidroeléctrica, el cual homologue la clasificación de la información de acuerdo a las normas del administrador del mercado mayorista de Electricidad?

Preguntas auxiliares:

1. ¿Es necesario cambiar la forma en que actualmente se ingresan y consultan los datos operativos que son adquiridos manualmente en las plantas generadoras hidroeléctricas, utilizando en lugar de un medio escrito, un medio electrónico?
2. ¿Es posible obtener de forma automática el cálculo de indicadores de desempeño de las plantas generadoras, tanto aquellos de uso interno como el que corresponde a la norma del administrador del mercado mayorista, a partir de la información operativa de las plantas generadoras hidroeléctricas?
3. ¿Existen ventajas para la consulta de información histórica de índole operativa en las plantas generadoras hidroeléctricas, que se registra actualmente en medios físicos como libros de bitácora u hojas de control diario, o bien que se registra en hojas electrónicas, si se implementa un sistema de información que cuente con una base de datos?

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema informático para el ingreso, consulta y análisis de la información operativa que se genera en una planta hidroeléctrica, con énfasis en la homologación de la clasificación de la información e indicadores, de acuerdo a las normas del administrador del mercado mayorista de Electricidad.

Específicos

1. Diseñar una herramienta de ingreso, consulta y análisis de parámetros operativos medidos manualmente en la planta, que permita a los niveles de supervisión y gerenciales, su consulta y/o comparación con los sistemas automáticos de adquisición de datos como el sistema SCADA.
2. Normalizar y ordenar los diferentes tipos de información operativa que se genera en una planta hidroeléctrica, de forma tal que sea factible su consulta y análisis, de acuerdo a las clasificaciones del Mercado Mayorista de Electricidad.
3. Diseñar una herramienta de análisis que utilice los datos históricos de eventos que se ingresen al sistema de información operativa y realice cálculo de coeficientes e indicadores internos y del administrador del mercado mayorista, los cuales son importantes para la planta generadora.

MARCO METODOLÓGICO

La metodología utilizada consistió en lo siguiente:

Análisis previo de los requerimientos de ingreso, consulta y análisis de información que se tienen en las salas de mando de las plantas generadoras de energía hidroeléctrica, tomando como caso base las plantas generadoras del Instituto Nacional de Electrificación. Para ello se realizó lo siguiente:

Entrevistas con el personal de operación acerca de la información que ingresan diariamente en su turno.

Revisión del contenido de las bitácoras escritas en cada planta generadora.

Revisión de los formatos u hojas de cálculo de la información que se ingresa manualmente en las rondas horarias de toma de datos.

Entrevistas con el personal de supervisión y jefaturas acerca de la consulta y análisis de la información operativa que se ingresa en los turnos de operación.

Modelamiento de casos de uso del proceso de ingreso, consulta y análisis de la información.

Se elaboró el diseño general del sistema informático que se propone como solución.

Se realizó una investigación sobre las plataformas de hardware y software a utilizar para cumplir con el alcance, objetivo general y objetivos específicos de la solución. También se realizó la investigación sobre los medios de comunicación a utilizar para poder realizar las comunicaciones remotas requeridas.

INTRODUCCIÓN

En una planta generadora hidroeléctrica se recolecta información de tipo operativo durante las veinticuatro horas del día, todos los días del año. Esta información puede ser adquirida mediante la lectura manual de los parámetros operativos por parte del personal de operación, o bien automáticamente a través de un sistema de control y adquisición de datos, conocido como SCADA.

Aunque en la actualidad muchas plantas hidroeléctricas ya cuentan con un sistema de control y adquisición automática de datos, siempre existen parámetros operativos que son leídos manualmente, dado que sus sensores o medidores no poseen capacidad de comunicación con dicho sistema.

Por otra parte, debido a que en las plantas hidroeléctricas se mantiene vigente el procedimiento de rondas de lectura de parámetros operativos que realiza el operador y el auxiliar de operador, en donde a su vez se revisan las condiciones de operación de los sensores y medidores, siempre van a existir datos de parámetros operativos obtenidos manualmente, los cuales constituyen una fuente importante de información.

Asimismo, los datos de parámetros operativos como la potencia activa y reactiva generada, los cuales son leídos manualmente cada hora, son transmitidos por la planta generadora a los niveles superiores de operación como el Centro de Despacho de Carga del Mercado Mayorista, utilizando el sistema de voz operativa (canal de radio) y tienen un valor comercial importante en la oferta diaria de potencia.

Aunado a lo anterior, existe información operativa que no es automatizable, como los eventos ocurridos en la planta que se relacionan con la disponibilidad de las unidades, las salidas forzadas por falla y los mantenimientos, entre otros. Esta información por lo general se anota en un libro de novedades o bitácora y también se transmite por el sistema de voz operativa a los niveles superiores de operación.

Debido a la situación antes descrita surgió la inquietud de realizar el diseño de un sistema de información operativa para plantas generadoras hidroeléctricas que ofertan en el Mercado Mayorista de Guatemala, en el cual se pueda realizar de manera confiable y segura el ingreso, consulta y análisis de la información operativa adquirida manualmente.

La información operativa a almacenar en el sistema propuesto, es de gran utilidad para el cálculo de indicadores de desempeño de la planta que se encuentran definidos dentro de las Normas de Coordinación Comercial del AMM y que sirven para cuantificar la oferta diaria y estacional de potencia y energía. Asimismo esta información es de utilidad para el cálculo de indicadores de desempeño internos que tienen que ver con la disponibilidad, la eficiencia en el proceso de operación y el cumplimiento de metas de generación y de tiempos de mantenimiento.

En el capítulo 1 del presente trabajo se presentan los antecedentes al tema del diseño de sistemas de información en la industria eléctrica, los cuales incluyen la referencia a sistemas de información de equipos instalados en sistemas eléctricos, a la participación del ser humano en los procesos de automatización industrial, al diseño de sistemas integradores de las diferentes fuentes de información en una planta eléctrica, al diseño de sistemas de información para la administración de contingencias en grandes centrales

hidroeléctricas y al diseño de sistemas de información que utilizan tecnologías inalámbricas.

En el capítulo 2 del presente trabajo se desarrolló el marco teórico, el cual aborda temas de diseño de sistemas de información, de inteligencia de negocios y de tecnologías para la transmisión inalámbrica de datos, entre otros que son de importancia para el desarrollo y contexto del trabajo.

En el capítulo 3 se presentan los resultados del trabajo de graduación, iniciando desde la investigación de los procesos operativos que se llevan a cabo en una planta hidroeléctrica, la cuantificación y clasificación de los parámetros operativos que se recolectan manualmente en las plantas generadoras y el establecimiento de un modelo para la recopilación estructurada de información de eventos operativos. Posteriormente se presentan los casos de uso del sistema, el modelo de datos relacional y analítico propuesto, los diagramas de clases, de secuencia y de componentes y la arquitectura de red y diagrama de distribución del sistema de información operativa.

Finalmente en el capítulo 4 se realiza la discusión de resultados, desde la perspectiva del ingreso, consulta y análisis de la información por parte del personal de la planta. Se presenta la forma en que se puede realizar el análisis de información por medio de reportes de supervisión y reportes gerenciales de indicadores de desempeño y se discute el aporte social, económico y tecnológico del diseño propuesto.

1. ANTECEDENTES

En el boletín enero-marzo del año 2007, del Instituto de Investigaciones Eléctricas de México, se publicó el artículo: “Sistema de información de los equipos instalados en un sistema eléctrico típico de potencia: SGBD y su aplicación en la industria petrolera”, por Luis Iván Ruíz Flores, D. Judith Cortez F. y Fátima Chávez Almanza.

En este artículo se menciona que la industria petrolera de México cuenta con varias refinerías y cada una de ellas tiene un sistema eléctrico de potencia conformado por diversos equipos eléctricos instalados. Debido a que las refinerías no contaban con una herramienta auxiliar de fácil acceso para el personal operativo, que proporcionara información de los equipos eléctricos instalados, se hizo un levantamiento de datos técnicos de una de las refinerías y validación de las hojas electrónicas existentes del personal operativo. En la validación se detectó inconsistencia, ambigüedad y duplicidad en la información, lo cual reforzó la idea de desarrollar un sistema informático, para optimizar y eficientar el control de la información.

El principal objetivo propuesto fue elaborar un sistema informático que permitiera darle un seguimiento eficiente a los equipos eléctricos instalados, que fuera utilizable en el futuro para agregar nuevos equipos y modificar las características técnicas ya existentes. El artículo menciona que se utilizó la ingeniería de software para desarrollar el sistema informático, y describe de forma resumida las etapas de análisis de requerimientos, diseño conceptual, lógico y físico del sistema, diseño del programa, codificación, pruebas e implantación del mismo.

El documento antes mencionado propone la utilización de las tecnologías de la información, para solucionar un problema operativo en una instalación industrial, por lo que refuerza la idea de la utilización de sistemas informáticos para el ingreso, consulta y modificación de información operativa, tal como la que se genera diariamente en una planta hidroeléctrica.

En enero de 2007, se publicó en la Revista ABB Review, el artículo titulado: “El factor humano en el proceso” por John Pretlove y Charlotte Skourup.

El artículo habla acerca de la participación de los seres humanos dentro de los procesos de automatización industrial basados en el control informático. Se indica que la tendencia actual se dirige hacia una mayor participación humana, en lugar de suprimirla, por las razones siguientes:

- El grado de control en un proceso es función de la previsibilidad del comportamiento del proceso y del grado de complejidad del mismo.
- Algunos procesos podrían automatizarse por completo pero a costos prohibitivos, pero es difícil que la opinión pública acepte un sistema de alto riesgo sin una persona al frente del mismo.

Asimismo, el artículo menciona que los seres humanos tienen la capacidad de identificar pautas y sucesos anormales entre un gran conjunto de datos, proyectar procedimientos que se ajusten a una nueva situación, memorizar una gran cantidad de conocimientos durante largos períodos de tiempo así como razonar y enjuiciar. Para ello un operador necesita conocer en todo momento la situación actual. Necesita información correcta en el momento adecuado para poder entender la situación actual y tomar la decisión correcta.

El artículo concluye que es un error considerar la automatización como algo totalmente manual o totalmente automático. La realidad es que para casi todos los sistemas de automatización industrial se adopta una secuencia continua de control que oscila entre lo completamente manual hasta lo completamente automático. Hay distintos modos de operación, automatizables en distinta medida. Los operadores humanos desempeñan un papel central en los modernos sistemas de automatización industrial y en el futuro este papel será más importante que nunca.

El enfoque de este artículo enriquece el planteamiento acerca del diseño de un sistema de información para el ingreso de datos del proceso de operación de una planta hidroeléctrica, los cuales no han sido automatizados mediante un sistema de control y adquisición de datos en tiempo real (SCADA). Asimismo enfatiza que algunos procesos pueden ser completamente manuales, o completamente automáticos, pero en ambos es vital la participación del ser humano, quién necesita contar con la información adecuada, para la toma de decisiones.

En el año 2002, se realizó el trabajo especial de posgrado de la Universidad de Los Andes de Venezuela, titulado: “Análisis e Implantación de un Sistema Integral de Gestión de Información de Plantas Eléctricas en la Empresa ENELVEN Generadora (ENELGEN)”, por Juan López Plata.

En este trabajo se realiza el análisis de la problemática de la integración de las diferentes islas de información que se encuentran presentes en una planta eléctrica, debido a la existencia de diversos sistemas de información, que van desde aquellos que adquieren datos en tiempo real, hasta los que son alimentados manualmente, como las hojas electrónicas.

Se analizan las opciones existentes para solucionar el problema, mediante la implementación de un software que integre adecuadamente la información de diversas fuentes y presente la información a los usuarios interesados, que van desde los niveles operativos hasta niveles gerenciales. Se realiza el análisis del proceso de integración de la información y la captura de requerimientos operacionales y gerenciales en materia de integración de sistemas.

Finalmente, se realiza un análisis costo-beneficio de las diferentes opciones de software integrador y se hace la recomendación de la opción más conveniente para integrar la información de los diferentes sistemas de la planta.

Este trabajo de graduación orienta hacia la existencia de soluciones de software para el manejo de datos obtenidos manualmente en las plantas generadoras de electricidad y su adecuada presentación a los usuarios interesados en la misma. Asimismo es una referencia válida del análisis de los procesos de integración de información y de los requerimientos que tienen los diferentes usuarios de un sistema de información para plantas generadoras de electricidad. Cabe agregar también que la solución de software evaluada como la mejor opción para la integración de información (OSIsoft) sigue presente actualmente en el mercado y dentro de sus herramientas ofrece aplicaciones móviles para la adquisición manual de datos y soluciones, para la integración total de los datos de diferentes sistemas de información que se encuentran presentes en una planta generadora de electricidad. .

En el año 2012, en ocasión del tercer congreso mundial de ingeniería de software, se publicó el ensayo “Study of Emergency Management Information System for Hydropower Project.” Por Chen Jianguo, Su Goufeng y Zhao Quanlai, de la Universidad de Beijing China.

El documento trata acerca del diseño de un sistema de información para la administración de emergencias (EMIS por sus siglas en inglés), tanto en la etapa de construcción, como de operación del proyecto hidroeléctrico: Tres gargantas en China.

Por tratarse de un proyecto de interés nacional, la construcción y operación de esta hidroeléctrica requiere de una mejora sustancial de la capacidad de administrar las emergencias. De allí surge la necesidad de contar con un sistema informático para realizar esta tarea. Un EMIS tiene ciertas características específicas como la capacidad de monitorear el riesgo de fuentes de peligro, así como administrar información de equipos de rescate, primeros auxilios y reserva de fondos para emergencias. Asimismo guarda información de incidentes ocurridos y su evolución en el tiempo. También guarda y administra información de planes de contingencia y distribuye la información entre todas las organizaciones de emergencia involucradas.

El desarrollo de este sistema de información está relacionado con el análisis de las secuencias de eventos y sus relaciones, para determinar una clasificación de los mismos. Asimismo establece una plataforma adecuada para la toma de decisiones y la activación de diferentes niveles de planes de contingencia.

Este artículo evidencia la necesidad que se tiene en una planta generadora hidroeléctrica, de contar con un sistema de información operativa, en este caso para administrar emergencias. El sistema sirve igualmente para administración de los planes de contingencia y para compartir información importante con todas las organizaciones involucradas.

En el año 2013, se publicó en la Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Marcos Perú, el artículo titulado: “Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología bluetooth” por Elizabeth Saravia Valle, María Elena Ruíz Rivera y Roberto Calmet Agnelli.

Este artículo trata acerca del problema de la recolección mensual de lecturas de medidores eléctricos residenciales que se realiza en la ciudad de Lima, la cual se realiza manualmente, por lo que se tienen que digitar los datos dos veces, primero en una hoja manual y luego en un sistema de facturación, lo que conlleva posibles errores de digitación y facturación inexacta, que puede acarrear inconformidades de los clientes.

Para solucionar el problema se propone el diseño de un sistema móvil para la lectura de los medidores, basado en la tecnología *bluetooth*, utilizando un teléfono celular. Para ello es necesario realizar el reemplazo de los medidores electromecánicos instalados en las residencias por medidores electrónicos con capacidad de comunicación. El teléfono celular adquiere los datos del medidor vía *bluetooth* y luego envía las lecturas a través de la red celular al servidor central para su procesamiento. En caso de no existir la comunicación entre el medidor y el teléfono se puede realizar la lectura manualmente y enviarla al servidor central.

En el artículo se realiza el modelamiento de los procesos del negocio, utilizando la metodología del Proceso Racional Unificado (RUP), definiendo los actores, las actividades del proceso de lectura, el caso de uso principal y su diagrama de actividades, así como los prototipos para búsqueda y lectura por medio del teléfono celular.

Este artículo orienta a la investigación de los medios de comunicación inalámbricos que se pueden utilizar para realizar la lectura ya sea manual o automática de las principales variables físicas de control que se presentan en una planta hidroeléctrica, así como la modelación de los procesos de adquisición de datos por parte de los operadores de turno.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Diseño de sistemas de información móviles

El libro “Wireless-Based Software Systems and Applications” (Zeyu Jerry, Shim Simon, Su Xiao, Mei Hsing, 2006) en su parte IV aborda el tema de la ingeniería de software de sistemas de información inalámbricos. Allí se menciona que la ingeniería de estos sistemas se desarrolla utilizando los modelos de procesos convencionales, tales como los de cascada y de prototipo, que consisten de las siguientes fases de diseño:

- Entender el dominio de la aplicación inalámbrica: En esta fase los ingenieros necesitan entender y aprender sobre las diferentes redes inalámbricas, tecnologías móviles diversas y plataformas de operación.
- Ingeniería de los requerimientos del sistema: El objetivo de esta fase es comunicarse con los usuarios y clientes del sistema, para recolectar y documentar los requerimientos funcionales y no funcionales, estándares y tecnologías.
- Modelado y Análisis del Sistema: En esta fase los ingenieros conducen el modelado y análisis del sistema, basado en los requerimientos recolectados de la aplicación inalámbrica.
- Diseño y construcción del sistema: En la parte que corresponde al diseño en esta etapa, los ingenieros trabajan en diferentes tareas de

diseño de la arquitectura del sistema, interface de usuario móvil, base de datos móvil, seguridad inalámbrica y aplicaciones del servidor.

2.1.1. Entendimiento del dominio de la aplicación inalámbrica

El entendimiento del sistema de aplicación inalámbrica incluye los siguientes aspectos:

- Redes inalámbricas y conectividad
- Dispositivos móviles y plataformas
- Tecnologías móviles
- Tecnología de almacenamiento móviles
- Seguridad inalámbrica

2.1.2. Requerimientos de ingeniería del sistema

La clave para la ingeniería de requerimientos del sistema es obtener un claro entendimiento acerca de lo que el cliente quiere. Para tener un claro entendimiento acerca de la necesidad del cliente, se debe seguir un proceso de ingeniería de requerimientos que se describe en los siguientes pasos secuenciales:

- **Comienzo:** Primer paso en que los ingenieros preguntan una serie de preguntas, cuyo propósito es obtener una base del entendimiento del problema, del cliente que quiere una solución y de la naturaleza de la solución deseable.
- **Obtención:** El mayor propósito de la obtención de requerimientos es comunicarse con el cliente y los usuarios, para determinar cuáles son los objetivos del sistema, qué es lo que debe ser logrado, cómo el sistema

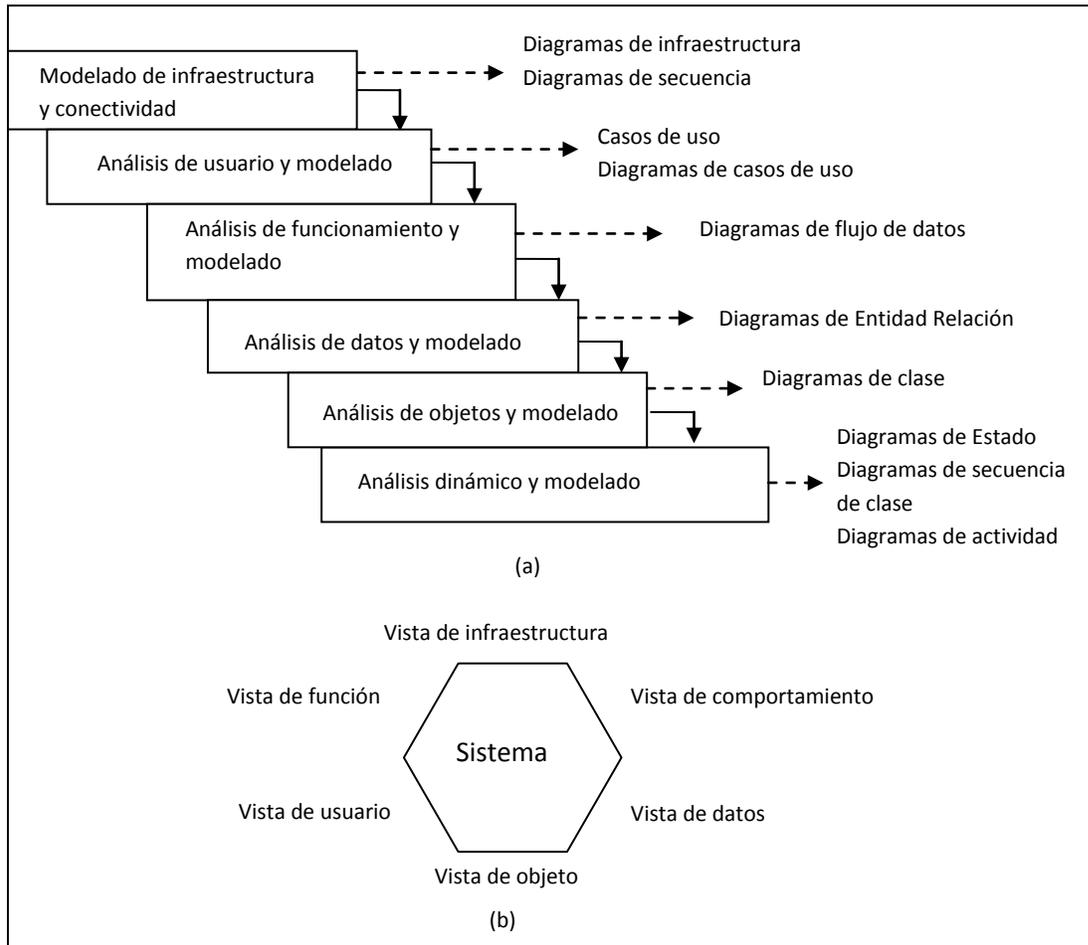
encaja en las necesidades del negocio y cómo el sistema es usado por los usuarios.

- **Elaboración:** En este paso, la información recolectada de los clientes y usuarios en los pasos previos es expandida y redefinida. El enfoque es elaborar y refinar el sistema, usando los requerimientos del sistema para generar un claro y completo diseño del producto final desde el punto de vista del usuario.
- **Negociación:** Algunos requerimientos recolectados de pasos previos pueden ser inconsistentes, incorrectos, conflictivos, no realistas o ambiguos. Durante este paso, los ingenieros deben resolver estos conflictos, comunicándose con los clientes y usuarios.
- **Especificación:** En este paso, todos los requerimientos del sistema recolectados son especificados con un formato bien definido para generar un documento de requerimientos preliminar.
- **Validación:** Los requerimientos generados de los pasos previos necesitan ser examinados usando revisiones del cliente e inspecciones de documentos para asegurar que son consistentes, correctos, exactos y completos.
- **Administración:** Debido a que los requerimientos dados del sistema son cambiados durante un ciclo de desarrollo de software, los ingenieros necesitan rastrear y mantener todos los cambios de los requerimientos dados del sistema.

2.1.3. Análisis y modelado del sistema

La fase de análisis y modelado es muy importante en un proceso de desarrollo de software. Su mayor objetivo es generar un diseño para construir un sistema de software basado en los requerimientos del sistema.

Figura 2. **Proceso de análisis y modelado del sistema: a) seis pasos y b) seis vistas**



Fuente: Zeyu J., Shim S., Hsing M., Xiao s, 2006, pp 207

Durante esta fase, los ingenieros necesitan entender y analizar el sistema y generar un documento de análisis y modelado del sistema. El documento define el sistema desde seis diferentes vistas, usando modelos bien definidos y formatos. Éste será usado como una referencia por los ingenieros para la construcción del sistema.

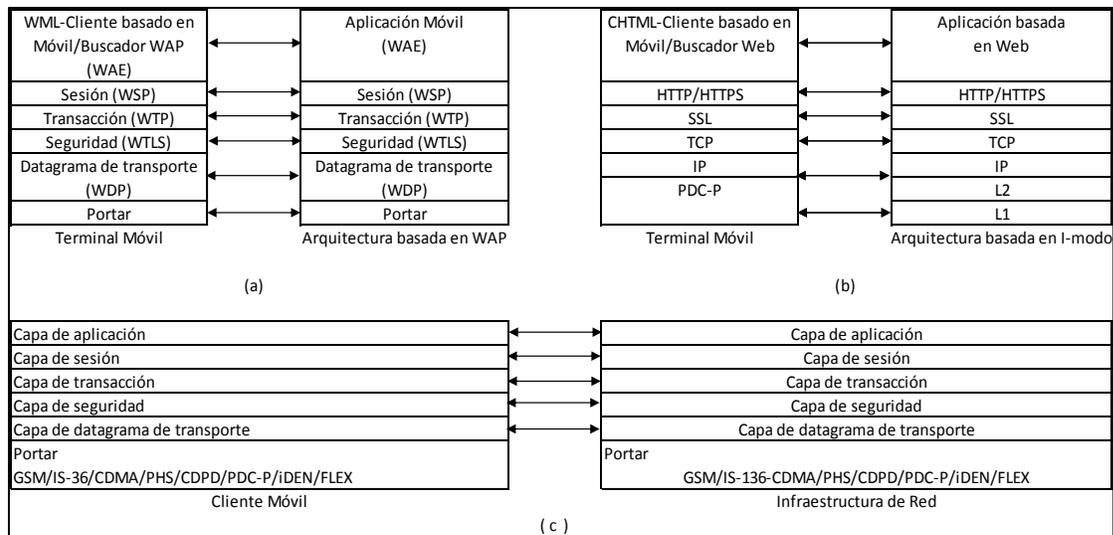
2.2. Arquitectura de sistemas móviles

La arquitectura de sistema de un sistema inalámbrico se refiere a su organización y estructura. Esto incluye componentes de hardware y software y su conectividad de red, así como sus interacciones de software (Zeyu Jerry, Shim Simon, Su Xiao, Mei Hsing, 2006). El principal objetivo de un diseño de arquitectura es seleccionar y definir la arquitectura del sistema apropiada, basada en los requerimientos dados del sistema. Una forma popular de presentar arquitecturas de sistemas de red, es usando un modelo arquitectural de capas. En la figura 3 se muestra un modelo arquitectural de capas como referencia de un sistema de aplicación inalámbrico. Este consiste de seis capas:

- Capa de aplicación: Esta capa soporta toda aplicación de software para desempeñar las funciones y servicios.
- Capa de sesión: Esta soporta todas las sesiones móviles desde el principio hasta el fin.
- Capa de transacción: Soporta todas las transacciones móviles entre dos partes que son el remitente y receptor.

- Capa de seguridad: Desempeña la capacidad de seguridad para soportar comunicaciones móviles seguras y transferencia de datos móviles sobre el nivel de transporte.
- Capa de datagrama de transporte: Soporta comunicaciones inalámbricas entre una terminal móvil y su servidor de aplicaciones inalámbricas.
- Capa portadora: Se refiere a una red portadora en la cual diferentes protocolos de red de bajo nivel son implementados.

Figura 3. **Arquitectura de sistema en capas, para aplicaciones inalámbricas: (a) para aplicaciones basadas en WAP (b) para aplicaciones basadas en i-mode (c) para aplicaciones basadas en Wireless.**



Fuente: Zeyu J., Shim S., Hsing M., Xiao s, 2006, pp 229

La arquitectura de sistema de aplicaciones inalámbricas puede ser especificada y presentada en tres diferentes niveles que son:

- Nivel de red: En este nivel la infraestructura de red subyacente es especificada y presentada. Usualmente incluye la estructura de red objetivo, componentes, servidores de aplicación y protocolos de comunicación.
- Nivel de sistema: En este nivel se presenta la arquitectura del sistema usando una estructura cliente-servidor, en la cual se especifican el software cliente móvil, componentes de soporte middleware, servidores de aplicación y servidores de bases de datos.
- Nivel de función: En este nivel son especificados los componentes funcionales de un software cliente móvil y los servidores de aplicación. Si es necesario, las interacciones de alto nivel y las interfaces entre componentes deben ser especificadas.

De acuerdo al concepto de arquitectura de sistema, se entiende que un software de sistema usualmente es una parte de un sistema de aplicación de computadora. Los sistemas de aplicación inalámbrica son los típicos ejemplos de ello.

La arquitectura de software debe dirigirse a un diseño arquitectural en tres aspectos diferentes:

- Organización del software y estructura en términos de su partición funcional y sus componentes.
- Componentes/elementos del sistema y sus relaciones, incluyendo interfaces, colaboraciones, conexiones y restricciones.

- Estilos y principios arquitecturales de alto nivel bien definidos.

2.3. Tecnologías de transmisión de datos móviles

Existen diferentes tecnologías de transmisión de datos móviles que pueden ser utilizadas dependiendo la naturaleza del problema que se pretende resolver. Por ejemplo, si lo que se desea es conectar una serie de sensores que controlan un proceso industrial, existen tecnologías inalámbricas que se usan para implementar redes inalámbricas de rango corto, tal como lo menciona el artículo “Wireless Smart Sensors Network Overview” (A.R. Ali-Ali, 2005). El artículo menciona que las tecnologías más populares son *HomeRF*, *Bluetooth*, IEEE 802.11x e IrDA. La adaptación de alguna de estas tecnologías se basa en varios factores tales como la distancia máxima a cubrir, el rango de datos, la frecuencia, la aplicación, el consumo de potencia y la modulación. En la tabla I, se presenta una comparación de éstas tecnologías inalámbricas.

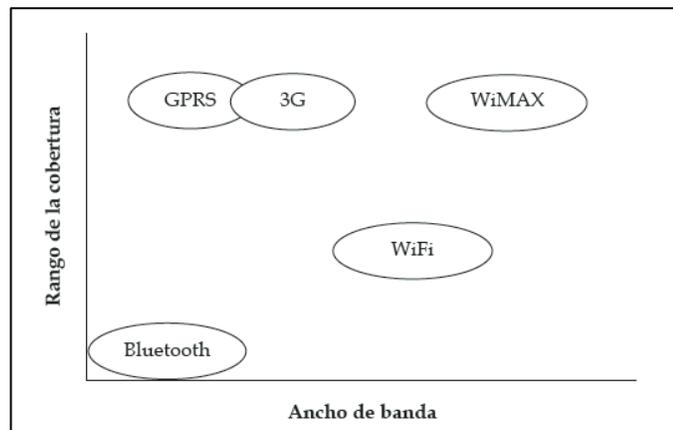
De acuerdo al artículo: “Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de tele medicina” (Viloria César, Cardona Jairo, Lozano Carlos, 2009), si lo que se quiere es conectar una serie de sitios a grandes distancias, también se deben considerar las tecnologías inalámbricas. Para ello, se debe hacer una comparación entre ancho de banda y rango de cobertura, tal como se muestra en la figura 4.

Tabla I. **Diferentes tecnologías inalámbricas**

Criterio Tecnología	Máxima distancia cubierta	Rango de datos	Frecuencia	Aplicaciones	Consumo de potencia	Esquema de modulación
Home RF	150 pies	1-2 Mbps	2.4 GHz ISM Band	Soluciones de red en casa	100 mW	FHSS, 2FSK, 4FSK
IrDA	3 pies	9600 bps -16 Mbps	1.8 MHz	Entre Access Point Adhoc (Equipos portátiles)	100 mW	Line of Sight (LOS) con 30°
IEEE 802.11X	300 pies	1,2, 5.5 y 11 Mbps	2.4 GHz	Uso en casa e industria	1 W	FHS, DSSS
Bluetooth	30 pies	1 Mbps	2.4 GHz ISM Band	Reemplazo de cable. Intercambio de objetos. Comunicación periférica. Audio comunicación.	1 mW	FHSS, Gaussian Frequency-shift keying

Fuente: A.R. Al-Ali, Y. R. Aji, H.F. Othman; F.T. Fakhreddin, 2005, pp 2.

Figura 4. **Comparación de tecnologías inalámbricas respecto a su rango de cobertura y ancho de banda.**

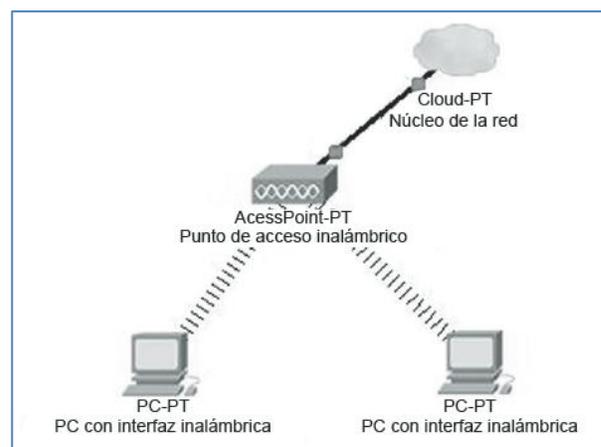


Fuente: Viloría C, Cardona J, Lozano C, 2009, Ingeniería y Desarrollo, pp 203.

Las tecnologías con mayor ancho de banda son Wi-Fi y WiMAX. Wi-Fi son las siglas de *Wireless Fidelity* y comprende una gran cantidad de estándares para redes de comunicación inalámbrica, basados en las redes IEEE802.11. En sus inicios Wi-Fi fue pensado para conectar redes locales inalámbricas, actualmente se usa para acceso a internet.

En Wi-Fi un punto de acceso inalámbrico (*access point*) transmite y recibe datos a través de ondas de radio y los equipos remotos que cuentan con un transreceptor (transmisor-receptor) en una tarjeta de acceso, se comunican con él como se muestra en la figura 5. El punto de acceso inalámbrico (*access point*) se conecta a un MODEM que se comunica de manera cableada con el núcleo de la red. Por cuestiones de seguridad mediante un esquema llamado WEP (*Wired Equivalent Privacy*) los datos reciben un tratamiento criptográfico con código de 128 bits y solo los usuarios con contraseña pueden acceder a la red. También se usa un esquema más robusto conocido como WPA: *Wi-Fi Protected Access*.

Figura 5. **Diagrama de una red Wi-Fi**

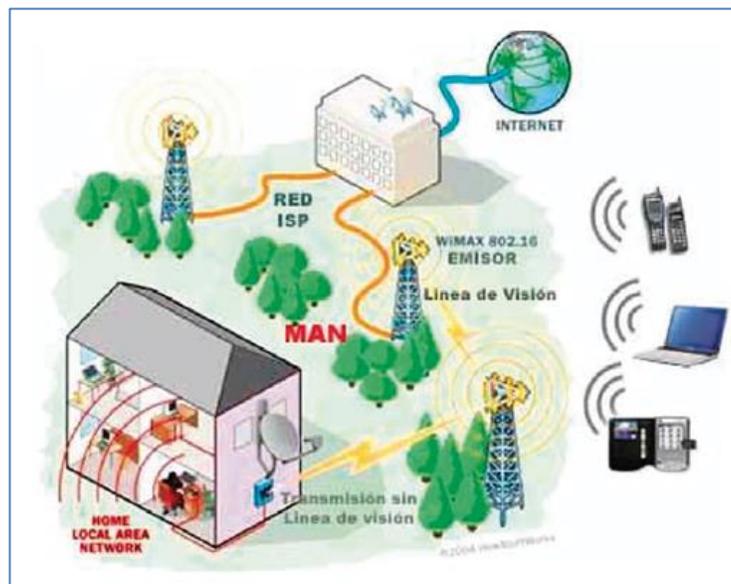


Fuente: Viloria C., Cardona J., Lozano C., 2009, Ingeniería y Desarrollo, pp 204.

WiMAX es la abreviatura de *WorldWide Interoperability for Microwave Access*, nombre con el que se conoce al grupo de estándares IEEE 802.16, que es un estándar inalámbrico aprobado por el WiMAX fórum, al que pertenecen fabricantes de una gran diversidad de productos de telecomunicaciones.

WiMAX es una tecnología inalámbrica diseñada para una red de área metropolitana con cobertura de 50 Km, por celda y tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, utilizando la tecnología portátil LMDS (*Local Multipoint Distribution Services*). Con ella se mejoran las tecnologías 802.11 en la medida que se puede abarcar grandes áreas geográficas con calidad de servicio, suficientes para transmitir aplicaciones de video. En la figura 6 se muestra un diagrama de conexión de una red WiMax compuesta por varias estaciones base.

Figura 6. **Diagrama de una red WiMax**



Fuente: Viloria C., Cardona J., Lozano C., 2009, Ingeniería y Desarrollo, pp 206.

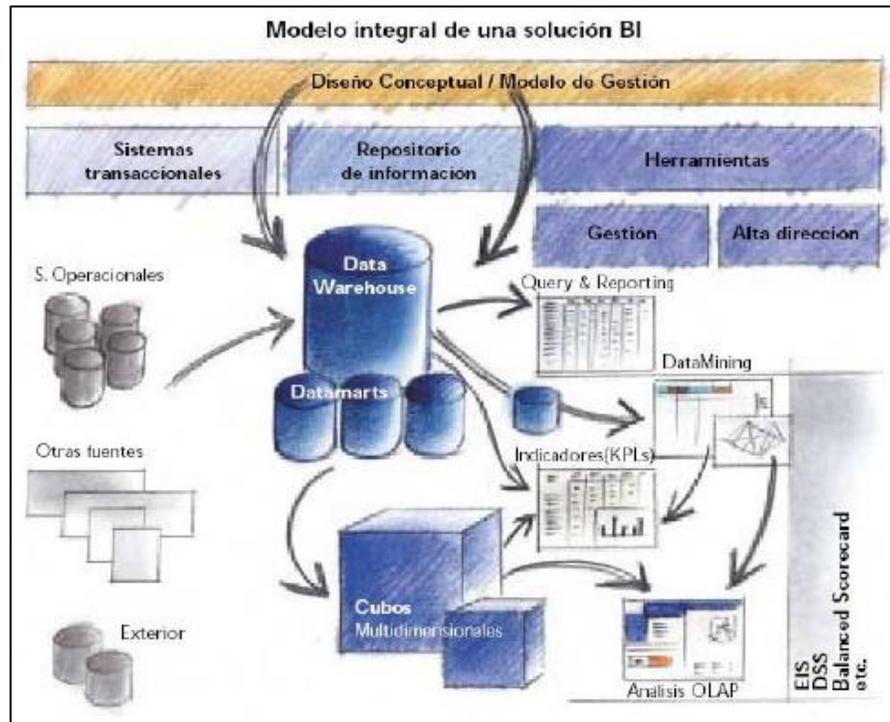
2.4. Inteligencia de negocios

De acuerdo al trabajo final de master: “Estudio Comparativo de Bases de Datos Analíticas”, el término Inteligencia de Negocios (o *Business Intelligence*) se define como la transformación de datos de una compañía en conocimiento para obtener una ventaja competitiva. Desde el punto de vista de tecnologías de la información, se puede definir como el conjunto de metodologías y tecnologías que permiten reunir, depurar y transformar datos de los sistemas transaccionales y la información desestructurada (interna y externa a una compañía) en información estructurada, para su explotación directa o para su análisis y conversión en conocimiento, para finalmente dar soporte a la toma de decisiones sobre el negocio.

Un sistema de *Business Intelligence* consiste en una arquitectura modular que acomoda todos los componentes que lo forman. Estos sistemas incluyen un *Data Warehouse* y *Data Marts* para el almacén de datos provenientes de los sistemas operacionales y otras fuentes, aplicaciones analíticas, herramientas de minería de datos, sistemas OLAP, herramientas de consulta y producción de informes personalizados, herramientas de extracción, transformación y carga de datos, herramientas de gestión y administración de sistemas, portales de información empresarial y sistemas de administración del conocimiento, todo ello integrado.

Una organización puede utilizar por separado cada una de éstas herramientas y personalizarlas a sus necesidades, o bien implementar una solución completa estándar de *Business Intelligence*. (Rojas Bartomeus Pol, 2009).

Figura 7. **Modelo integral de una solución de *Business Intelligence***



Fuente: Publicaciones, en <http://www.ibermatica.com/publicaciones/business-intelligence>.

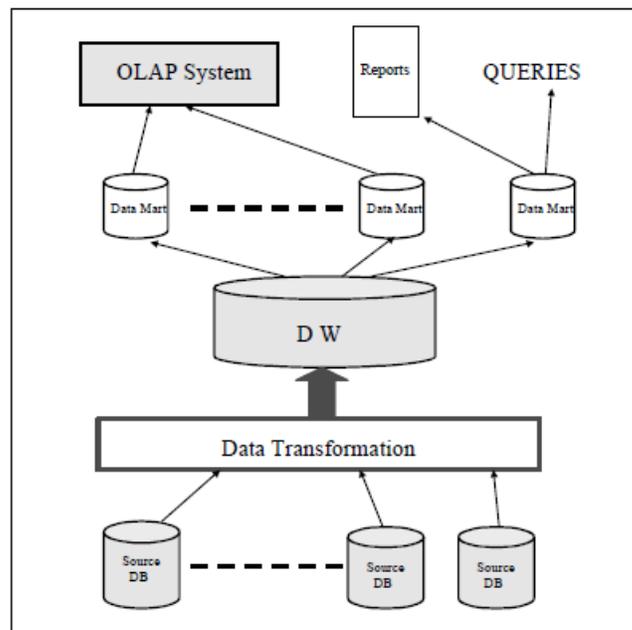
Consulta: 20 de febrero 2,016.

2.5. Data Warehouse

Un *Data Warehouse* es una base de datos que guarda información orientada a satisfacer requerimientos de toma de decisiones. Un problema muy frecuente en las empresas es la imposibilidad para acceder a información corporativa completa e integrada que pueda satisfacer los requerimientos de toma de decisiones. La información existe pero no puede ser obtenida. Un *Data Warehouse* es construido con el objetivo de guardar y proveer toda la información relevante que es generada por las diferentes bases de datos de una empresa.

De acuerdo al artículo: “An overview of Data Warehouse Design Approaches and Techniques” (Gutiérrez Alejandro, Marota Adriana, 2000), la arquitectura global de un Data Warehouse es la que se exhibe en la figura 8.

Figura 8. **Arquitectura de un sistema Data Warehouse**



Fuente: Gutiérrez A. Marota A., 2000, pp 4.

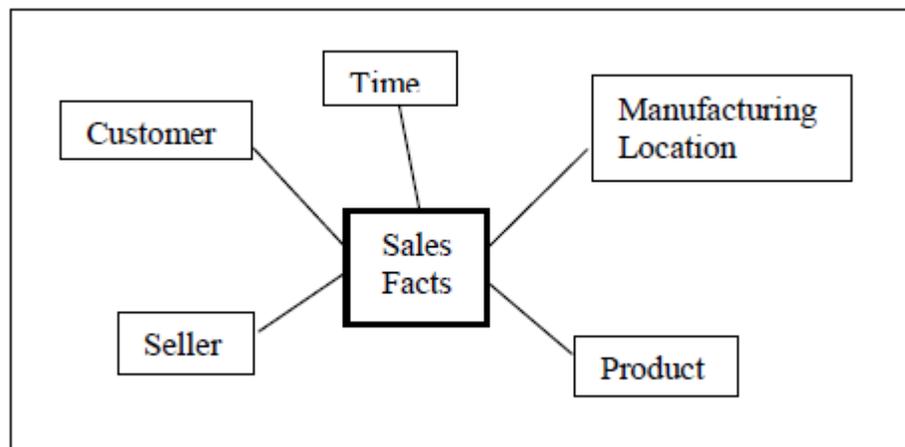
El artículo indica que los modelos de datos que son usados para un *Data Warehouse* son el multidimensional y el relacional. Los modelos multidimensionales representan los datos como una estructura de cubo, haciendo más compatible la representación lógica de los datos con la administración de datos OLAP.

Los conceptos básicos que se manejan en un modelado dimensional son los de: hechos, dimensiones y medidas. Un hecho es una colección de ítems de datos relacionados, consistentes en medidas y datos de contexto. Típicamente

representan ítems de negocio o transacciones de negocio. Una dimensión es una colección de datos que describen una dimensión de negocio. Las dimensiones determinan el contexto de los hechos. Una medida es un atributo numérico de un hecho, que representa el desempeño o comportamiento del negocio relativo a las dimensiones.

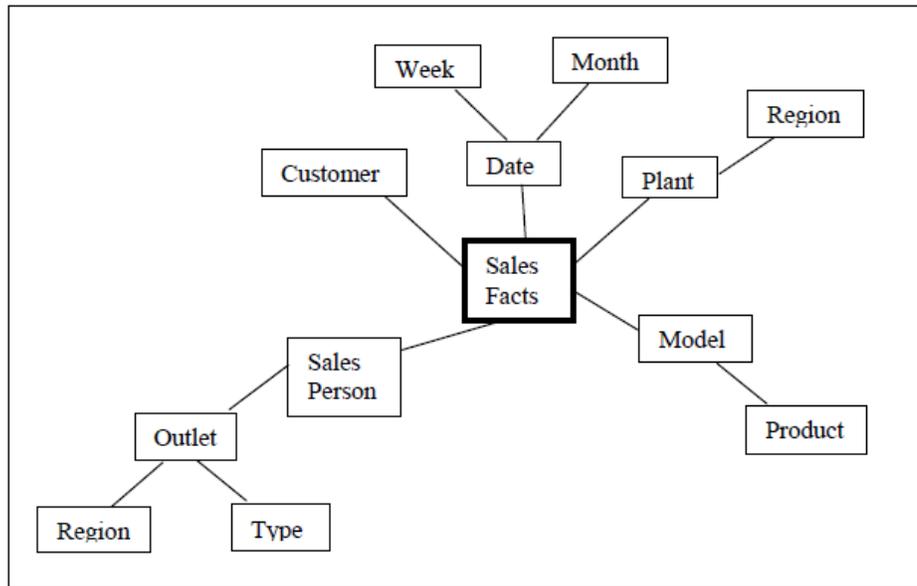
Considerando el contexto relacional, hay dos modelos básicos que son usados en el modelado dimensional: i) el modelo estrella y ii) el modelo copo de nieve. El modelo estrella es la estructura básica para un modelo dimensional. Tiene una gran tabla central (tabla de hechos) y un conjunto de pequeñas tablas (dimensiones) arregladas en un patrón radial alrededor de la tabla central. Se exhibe un ejemplo en la figura 9. El modelo de copo de nieve es el resultado de descomponer una o más dimensiones. La relación uno a muchos entre el conjunto de atributos de una dimensión puede separar nuevas tablas de dimensión, formando una jerarquía.

Figura 9. **Modelo estrella dimensional**



Fuente: Gutiérrez A. Marota A., 2000, pp 6.

Figura 10. **Modelo copo de nieve dimensional**



Fuente: Gutiérrez A. Marota A., 2000, pp 6.

El artículo “Development of a Data Warehouse for Non-operational Data in Power Utilities” (Mini S. Tomas, Debajit Nanda and Iqbal Alí, 2006) por su parte, aborda el tema de la integración y almacenamiento de información proveniente de los dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) que recolectan datos de fallas, formas de onda, parámetros del estado de elementos del sistema y del medio ambiente de un sistema eléctrico en una sola base de datos, para su almacenamiento y análisis.

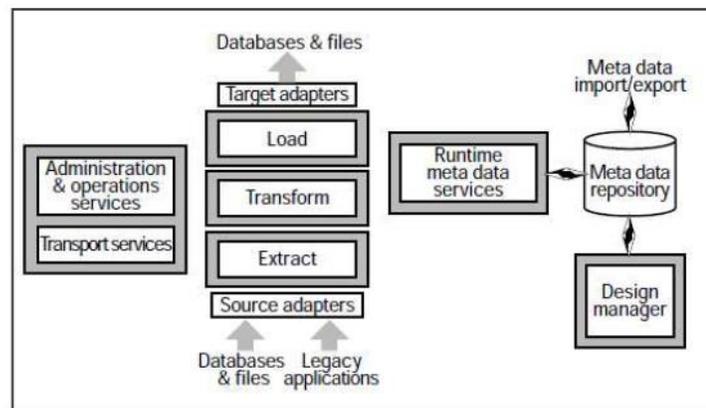
El artículo indica que el principal propósito de aplicar un *Data Warehouse* en el campo eléctrico es encontrar los patrones, tendencias, hechos, relaciones, modelos y secuencias escondidas en los datos crudos del ambiente operacional y lograr una mejor toma de decisiones para una mejor competencia en el mundo de los negocios.

2.6. Procesos ETL

ETL son las siglas de extraer, transformar y cargar; es el proceso que permite a las organizaciones mover datos desde múltiples fuentes, reformatearlos, limpiarlos y cargarlos en otra base de datos, *Data Mart* o *Data Warehouse* para analizarlos en otro sistema operacional para apoyar un proceso de negocio.

En la figura 11, se presenta la arquitectura de un proceso ETL. Los componentes de la arquitectura que se muestran en la figura se explican a continuación:

Figura 11. Esquema de herramienta ETL



Fuente: Puenayán A., Aynaguano D., 2011, pp 26

Administrador de diseño (*Design Manager*): Proporciona un entorno gráfico que permite a los desarrolladores definir las asignaciones de origen a destino, las transformaciones, los flujos de proceso y el trabajo. Los diseños se almacenan en un repositorio de metadatos.

Repositorio Metadatos (*Metadata Repository*): Proporciona un repositorio de definir, documentar y gestionar la información sobre el diseño y los procesos ETL en tiempo de ejecución. El repositorio hace que los metadatos estén disponibles para el motor ETL y otras aplicaciones.

Extraer (*Extract*): Extrae los datos de origen o fuente utilizando conexiones como ODBC, directa o archivos planos. Estas herramientas consultan en los metadatos para determinar qué datos se pueden extraer y cómo hacerlo.

Transformar (*Transform*): Proporciona una colección de objetos de transformación que permite a los desarrolladores transformar datos de origen en las estructuras de datos de destino y crear tablas para mejorar el rendimiento.

Cargar (*Load*): Permiten insertar o modificar los datos en bases de datos o archivos de destino.

Servicios de Transferencia (*Transport Services*): Utilizan protocolos de red y el archivo FTP para mover datos entre la fuente y los sistemas de destino.

Administración y Gestión (*Administration Operation*): Las utilidades de los ETL permiten a los administradores programar, ejecutar y controlar los trabajos de ETL, así como registrar todos los eventos, gestión de errores, recuperarse de fallas y conciliar los resultados con los sistemas de origen.

Los procesos ETL son los componentes más importantes y de valor añadido de una infraestructura de *Business Intelligence*. La exactitud de la

plataforma BI completa depende de los procesos ETL (Puenayán Adriana, Aynaguano Diana, 2011).

2.7. Data Mining

De acuerdo a la tesis doctoral: “Procesos de explotación de información basados en sistemas inteligentes”, la explotación de información (DM, *Data Mining*), consiste en la explotación de conocimientos no trivial que reside de manera implícita en los datos disponibles en distintas fuentes de información. Este conocimiento es previamente desconocido y puede resultar útil para algún proceso. Para el experto o encargado del sistema no son los datos lo más importante sino el conocimiento que encierran en sus relaciones, fluctuaciones y dependencias.

Esta disciplina engloba un conjunto de técnicas encaminadas a la extracción de conocimiento procesable, implícito en el almacén de datos (*Data Warehouse* u otro sistema de almacenamiento), (Britos Paola, 2008).

Por su parte, el artículo: “Estudio comparativo de metodologías para minería de datos” indica que la minería de datos es el proceso de extraer conocimiento útil, comprensible y novedoso de grandes volúmenes de datos, siendo su principal objetivo encontrar información oculta o implícita, que no es posible obtener mediante métodos estadísticos convencionales. Los datos de entrada al proceso de minería son por lo general registros provenientes de bases de datos operacionales o bien bodegas de datos.

Los proyectos de explotación de información pueden ser llevados a cabo en distintos escenarios. Según el punto de partida del proceso, es posible clasificarlos en:

- Escenarios donde se aborda desde la minería de datos una situación organizacional, buscando patrones y relaciones que puedan colaborar con la misma.
- Escenarios donde el proyecto comienza con un conjunto de datos y el objetivo es explorarlos para encontrar relaciones interesantes que puedan ser útiles en el dominio de la aplicación.

Los esfuerzos en la minería de datos se han centrado en su gran mayoría en la investigación de técnicas para la explotación de la información y extracción de patrones (tales como árboles de decisión, análisis de conglomerados y reglas de asociación), (Moine Juan Miguel, Haedo Ana Silvia, Gordillo Silvia, 2011).

2.8. Estrategia empresarial basada en indicadores de desempeño

El artículo: “Los indicadores de Gestión Organizacional: Una Guía para su Definición” habla acerca de que uno de los pilares básicos de la gestión de la calidad en una organización, es la medición. Si no se recogen datos no puede medirse un proceso, y en consecuencia, no puede mejorarse éste. Sin medidas no se tiene referencia ni valores entre los cuales se mueven los procesos; se desconoce el cumplimiento de los requisitos de los productos y/o servicios con las especificaciones establecidas y se tiene un alto grado de ignorancia de la opinión de los clientes (Rincón Rafael 1,998).

Un indicador es una medida de la condición de un proceso o evento en un momento determinado. Los indicadores en conjunto pueden proporcionar un panorama de la situación de un proceso, de un negocio o de las ventas de una compañía.

Empleándolos de una manera oportuna y actualizada los indicadores permiten tener control sobre una situación dada; la principal razón de su importancia radica en que es posible predecir y actuar con base en las tendencias positivas o negativas observadas en su desempeño global.

Los indicadores son una forma clave de retroalimentar un proceso, de monitorear el avance o ejecución de un proyecto, de los planes estratégicos, etc. y son más importantes todavía si su tiempo de respuesta es inmediato, o muy corto, ya que de esta manera las acciones correctivas se realizan sin demora y en forma oportuna.

No se requiere tener bajo control continuo muchos indicadores, sino solo los más importantes. Los indicadores que engloben fácilmente el desempeño total del negocio deben recibir la máxima prioridad.

Por su parte, el artículo: “Balanced Scorecard en la Gestión del Mantenimiento” (L. Amendola, 2,004) indica que Balanced Scorecard es traducir la estrategia de una empresa en cuatro perspectivas: Cliente, Negocio Interno, Innovación y Aprendizaje y Perspectiva Financiera. Sustentadas cada una de ellas en un set de objetivos, indicadores de gestión, metas e iniciativas, interactivamente conectadas en una relación causa-efecto.

Las cuatro perspectivas aplicadas al mantenimiento se pueden enfocar desde el punto de vista de los indicadores técnicos económicos del mantenimiento.

2.9. Análisis predictivo

De acuerdo al artículo: “Predictive Analytics”, el análisis predictivo es un conjunto de tecnologías de inteligencia de negocios que descubre relaciones y patrones dentro de grandes volúmenes de datos que pueden ser usados para predecir comportamientos y eventos. Diferente a otras tecnologías de inteligencia de negocios, el análisis predictivo ve hacia adelante, usando eventos pasados para anticipar el futuro.

El análisis predictivo puede identificar a los clientes con mayor probabilidad de responder a un correo directo la próxima semana. También puede anticipar cuando las máquinas de una fábrica estén próximas a fallar o averiguar que clientes van a dejar de pagar un préstamo.

Actualmente, el *marketing* es el mayor usuario del análisis predictivo, a través de las ventas cruzadas, gestión de campañas, captación de clientes y modelos de presupuesto y de predicción así como los programas de lealtad.

El análisis predictivo es inductivo. No asume nada acerca de los datos, más bien deja que ellos marquen el camino. Emplea la estadística, el aprendizaje automático, computación neuronal, robótica, matemática computacional y técnicas de inteligencia artificial para explorar todos los datos, en lugar de un pequeño sub conjunto de ellos, para descubrir patrones y relaciones significativas.

El análisis predictivo es más que solo estadística. Las técnicas estadísticas clásicas como la regresión lineal aún son el caballo de trabajo de los modelos predictivos al día de hoy e incluso los modeladores analíticos usan

estadística descriptiva (media, moda, desviación estándar, histogramas) para entender la naturaleza de los datos que se quieren analizar.

Sin embargo, el avance en la potencia de procesamiento y la tecnología de base de datos hace posible emplear una clase más amplia de técnicas predictivas tales como: árboles de decisión, redes neuronales, algoritmos genéticos y otros algoritmos matemáticos. Estas nuevas técnicas toman ventaja del incremento de la potencia de computación, para desempeñar complejos cálculos que muchas veces requieren múltiples pases a través de la data. Ellos están diseñados para correr grandes volúmenes de datos con muchas variables (campos y columnas). También están equipados para manejar data con: “ruido” con diferentes anomalías que pueden causar estragos en los modelos tradicionales (Eckerson, 2007).

El artículo: “Unleashing the Power of Big Data and Analytics for the Utility Industry” menciona que las empresas que brindan servicios públicos tales como electricidad, agua y gas, han venido reconociendo la importancia de tener inversiones en inteligencia de negocios y análisis. Estas empresas están usando el análisis de negocios para dar soporte a las actividades de satisfacción del cliente y mejora de operaciones.

En el área de satisfacción del cliente se puede mencionar la evaluación de la efectividad de la demanda y los programas de eficiencia energética. En el área de mejora de operaciones la localización de la ubicación de los cortes para despliegue de la fuerza de trabajo, exploración de posibles violaciones de seguridad, detección de fraude y robo, identificación de cuentas no facturadas y análisis de fallas e irregularidades de voltaje.

En los Estados Unidos, las empresas de servicios públicos están considerando el uso de *Big Data* y análisis, primariamente para datos de operación, análisis del comportamiento del cliente, análisis de datos transaccionales de los sistemas de ventas, innovación en el servicio y análisis de datos de máquinas y dispositivos (Feblowitz, 2012).

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Proceso de operación de plantas hidroeléctricas

La operación de una planta hidroeléctrica se realiza por lo general a través de un control centralizado en la sala de mando de la casa de máquinas, es decir, desde el lugar donde se encuentran las unidades generadoras (sistemas turbina, generador eléctrico). También pueden existir salas de mando secundarias en los embalses, presas y subestaciones eléctricas. Cada sala de mando cuenta por lo menos con un operador que realiza las maniobras pertinentes en las unidades generadoras y un auxiliar de operador que realiza maniobras en equipos auxiliares y lecturas manuales de parámetros de operación. La supervisión de la operación se realiza a través de un ingeniero supervisor o jefe de sala de mando y en ocasiones a través del subjefe o jefe de planta.

El personal de la sala de mando de una planta hidroeléctrica debe realizar el trabajo de operar las unidades generadoras, es decir, darles orden de arranque, orden de paro, sincronizarlas al sistema eléctrico, cambiar sus condiciones de operación y controlar sus sistemas auxiliares, entre otras actividades.

El operador de la sala de mando del embalse y/o presa, debe realizar la operación de los equipos allí presentes, como compuertas, desarenadores, limpia rejillas y sistemas auxiliares, entre otros.

Las plantas generadoras hidroeléctricas deben permanecer la mayor parte del tiempo produciendo energía, lo cual involucra que también existan procesos de mantenimiento y procesos administrativos, los cuales ya cuentan con un sistema de información para su gestión, en las plantas que se tomaron como ejemplo.

Para la especificación de requerimientos del sistema de información operativa se realizaron entrevistas con los operadores de las plantas hidroeléctricas de mayor capacidad del Instituto Nacional de Electrificación que son: Chixoy, Aguacapa, Jurún Marinalá y Los Esclavos, durante los meses de marzo y abril del año 2016, con el objeto de conocer los procedimientos y actividades involucradas en la operación de las plantas generadoras.

Las respuestas a la pregunta ¿Qué procedimientos operativos se ejecutan en las plantas? se pueden ver en la tabla II. Asimismo las respuestas a la pregunta ¿Qué actividades operativas se ejecutan en las plantas? pueden verse en la tabla III.

Debido a las respuestas obtenidas puede verse que los procedimientos y actividades realizadas en las salas de mando y casa de máquinas de las plantas generadoras pueden clasificarse en dos procesos que son: la "gestión de información" y "maniobras operativas" que son realizados principalmente por el operador y el ayudante de operador.

Tabla II. **Procedimientos operativos en plantas hidroeléctricas**

Aguacapa	Jurún Marinalá	Los Esclavos	Chixoy
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos de líneas. • Toma de datos de niveles y caudales del embalse. • Datos de generador y turbina. • Operación de arranque y paro de unidades. • Variaciones de carga. • Monitoreo de equipos. • Maniobras de equipos de subestación. • Coordinar operaciones en el punto en subestación y embalse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de potencia activa y reactiva • Control de la frecuencia y voltaje • Operación de las máquinas (arranque, paro, sincronización) • Maniobras en subestación • Monitoreo de mandos en manual/automático • Maniobras de servicios auxiliares y planta diésel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de turno (verificación de condiciones) • Verificar condiciones del embalse. • Comunicación con el centro de control. • Comunicación horaria con el centro de control y eventual por condiciones operativas. • arranque y paro de unidades. • maniobras en área de unidades para el arranque. • toma de lecturas horarias y de contadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arranque y paro de unidades generadoras • Regulación de potencia activa y reactiva • Realizar la conmutación para operación de equipos de respaldo en caso de falla de equipos principales • Arranques de prueba a equipos de emergencia • Maniobras de conmutación en la subestación principal, así como, en las subestación de servicios auxiliares

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Actividades operativas en plantas hidroeléctricas**

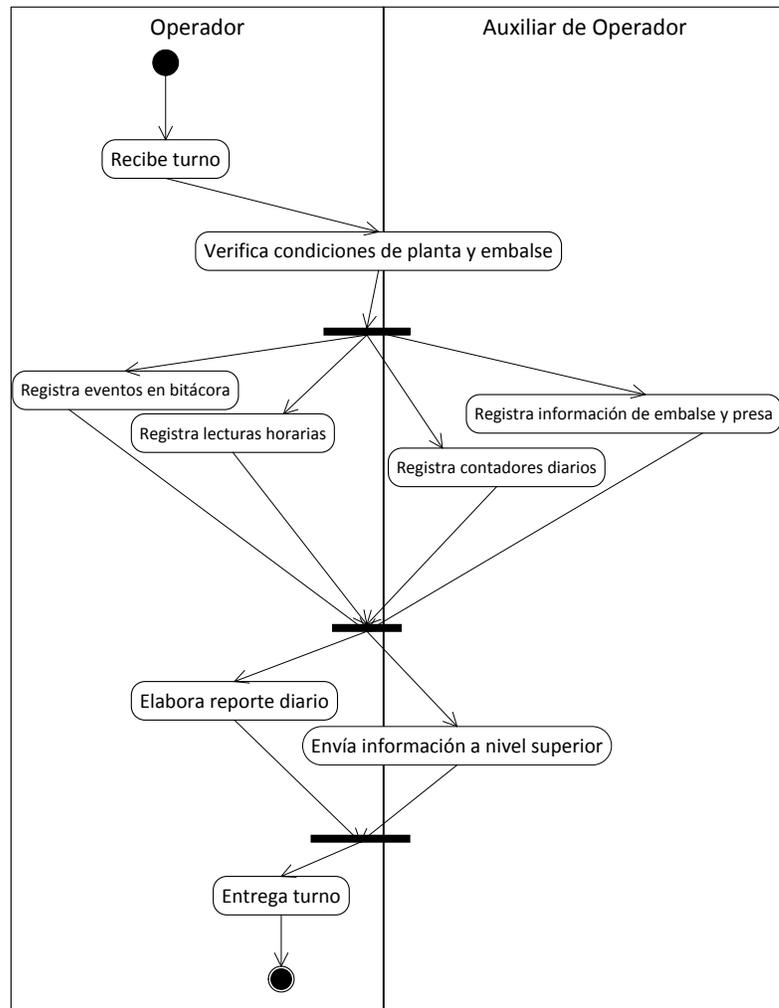
Aguacapa	Jurún Marinalá	Los Esclavos	Chixoy
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de reporte diario de generación por unidad, generación total, tiempos trabajados, indisponibilidades, datos estadísticos de caudal, niveles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control del tanque de agua de enfriamiento • Lectura de temperatura de chumaceras y presiones en el pupitre de aguas arriba y abajo y junta de servicio. • Lectura de generación, niveles de embalse y lago de Amatitlán. • Lectura de contadores cada 24 horas • Lectura de horómetros de unidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Órdenes de trabajo rutinario que realiza el auxiliar de operador • toma de lecturas • reporte de eventos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se hace mención de las condiciones de operación de las unidades y equipos al personal que entra a turno • Se realiza la toma de parámetros horarios de las unidades, líneas y servicios auxiliares • Se monitorea la condición de operación de las unidades • Se atiende la solicitud por parte del centro de control de regulación de carga activa y reactiva, maniobras en subestación y se da informe horario de los datos de generación • Se deja plasmado en bitácora toda maniobra realizada, alarmas activas, conmutación de operación de equipos, arranques y paros de unidades y equipos, se da informe de fallas al personal de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de control en tiempo real (SCADA) que están instalados en algunas de las plantas generadoras que se estudiaron, recopilan información de las variables de operación de las unidades generadoras y equipos en general. Sin embargo toda la información de las lecturas horarias realizadas de forma manual, por el personal de operación y la información de las bitácoras escritas,

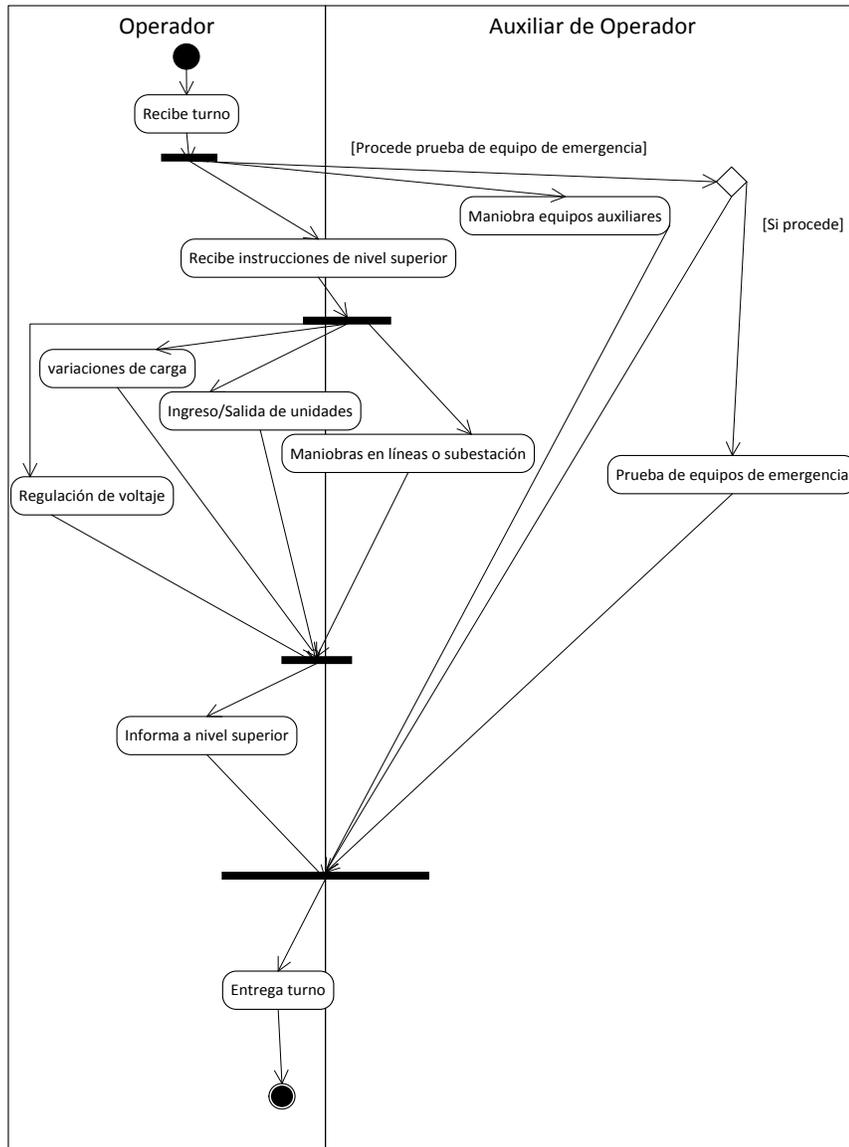
en donde se registran los eventos ocurridos durante el turno, no son ingresadas a un sistema de información como tal. En la figura 12 puede verse el proceso de gestión de información que se identificó de las entrevistas realizadas. En la figura 13, aparece a su vez, el proceso de maniobras operativas.

Figura 12. **Proceso de gestión de información en plantas hidroeléctricas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Proceso de maniobras en plantas hidroeléctricas**



Fuente: elaboración propia.

Conforme se desarrolla el turno, el operador o el ayudante de operador van ingresando información de forma manual, tanto en formatos impresos para los parámetros operativos, como en el libro de bitácora.

Existe información que se recopila de forma horaria como la potencia real y potencia reactiva generada, voltajes, corrientes, presiones, temperaturas, caudales, niveles de embalse, entre otras. También existe información que se recopila al final del día, como los contadores de energía por unidad, los horómetros y la demanda máxima. Para la lectura manual de parámetros operativos de equipos que se encuentran fuera de la sala de mando, el ayudante de operador realiza rondas de toma de datos. La información de parámetros operativos de los embalses o sitios remotos de operación es recibida a través del canal de radio, por el operador o ayudante de operador.

El registro de eventos ocurridos en el turno es conforme éstos se van dando. Se registra en bitácora escrita, el ingreso y salida de unidades, salidas e ingresos de mantenimiento, salidas por falla, alarmas que se presentan en los equipos, trabajos y maniobras realizadas en equipos auxiliares, de embalse y subestación, visitas a sala de mando de personal ajeno a la planta, entre otros.

Parte de la información recopilada cada hora y al final del día es transmitida al nivel superior de operación que es el Centro de Control de Generación del INDE y el Centro de Despacho de Carga nacional, del administrador del mercado mayorista. Esta transmisión se realiza vía radio. En algunas de las plantas que se visitaron se realiza un reporte diario de generación al final del día, en el cual se utilizan los datos recopilados durante el turno.

El proceso de maniobras comienza de igual forma con la recepción del turno por parte del operador que ingresa y finaliza con la entrega del turno, por parte del operador que sale. Durante el desarrollo del turno se realizan maniobras que deben ser ordenadas por el nivel superior de operación que en este caso es el Centro de Control de Generación del INDE o bien el Centro de

Despacho de Carga del administrador del mercado mayorista. Dichas maniobras son solicitadas a través del canal de comunicación vía radio e involucran ingresos y salidas de unidades, regulación de voltaje, variaciones de carga y maniobras en líneas de transmisión y subestaciones. La realización de estas maniobras debe ser debidamente informada al nivel superior.

Paralelamente se pueden realizar maniobras, mantenimientos o pruebas internas de la planta, sobre equipos auxiliares, tales como bombas del sistema de enfriamiento, sistema de lubricación o sistema hidráulico y aires acondicionados. Cada cierto tiempo y conforme a una programación, también se realizan pruebas y mantenimientos a los sistemas de emergencia como plantas diésel y bancos de baterías.

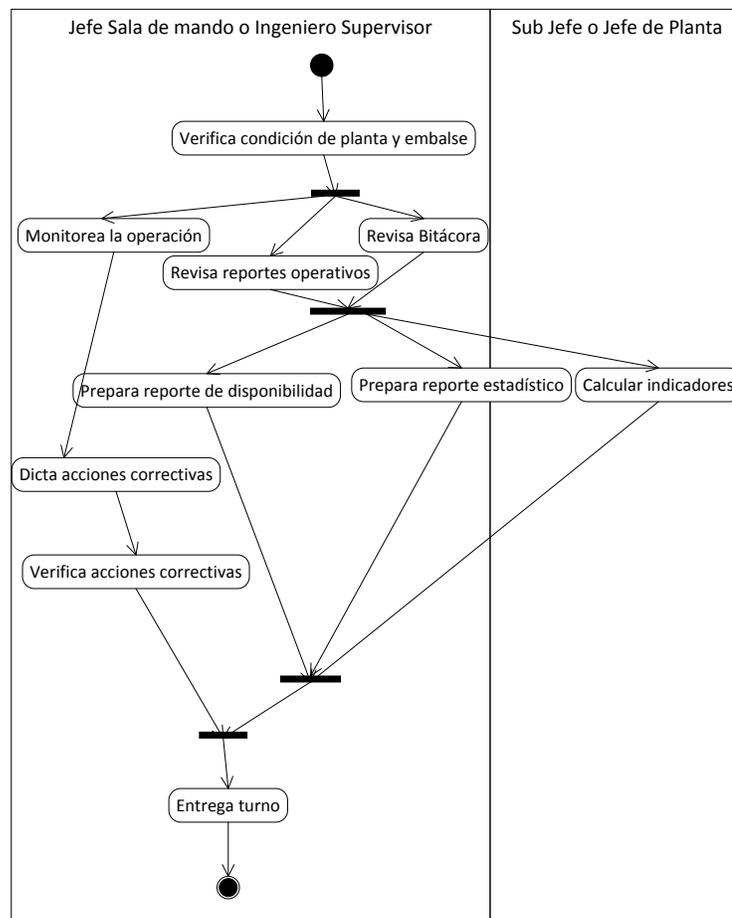
3.1.1. Proceso de supervisión

La supervisión que realizan los jefes de sala de mando o ingenieros supervisores y jefes de planta se centra en los procesos identificados en sala de mando y casa de máquinas. En cuanto a la gestión de información, los jefes de sala de mando o jefes de planta, analizan los reportes diarios y las bitácoras escritas, lo que les da un panorama general del turno de operación. Con base en esta información, se generan otro tipo de análisis y reportes que son importantes para conocer el desempeño de la planta generadora, como reportes estadísticos, de disponibilidad y de indicadores.

La información operativa es de interés para los técnicos electricistas y mecánicos que consultan las lecturas de los diferentes parámetros y la información consignada en las bitácoras. Esta información sirve de respaldo y/o complemento para las órdenes de trabajo que los técnicos ingresan al sistema de gestión de mantenimiento. En algunas plantas existen también jefes de

supervisión de mantenimiento eléctrico y mecánico que utilizan la información operativa para realizar análisis y reportes en sus áreas de trabajo. En la parte operativa la supervisión se lleva a cabo en seguimiento a las maniobras que realiza el operador, especialmente en condiciones de falla o condiciones de contingencia. Bajo ciertas circunstancias el jefe o ingeniero supervisor solicitará acciones correctivas en la operación. El operador las llevará a cabo e ingresará la información respectiva a la bitácora. El jefe o ingeniero supervisor verificará el cumplimiento de las acciones solicitadas.

Figura 14. **Proceso de supervisión en plantas hidroeléctricas**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Sistema SCADA

Un sistema SCADA es sinónimo de control supervisorio y adquisición de datos. Se refiere a la combinación de telemetría y adquisición de datos. Comienza con la medición de los datos por dispositivos específicos en el campo de aplicación, los cuales son recolectados en dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs), que luego transfieren estos datos a una estación maestra para implementar el proceso necesario y los algoritmos de control. Los resultados del procesamiento son desplegados en un número de pantallas de operación, mientras que las señales de control son transmitidas de regreso al campo de operación en tiempo real. (Abdelay S., Om M., 2011, pp 473).

3.2.1. Telemetría

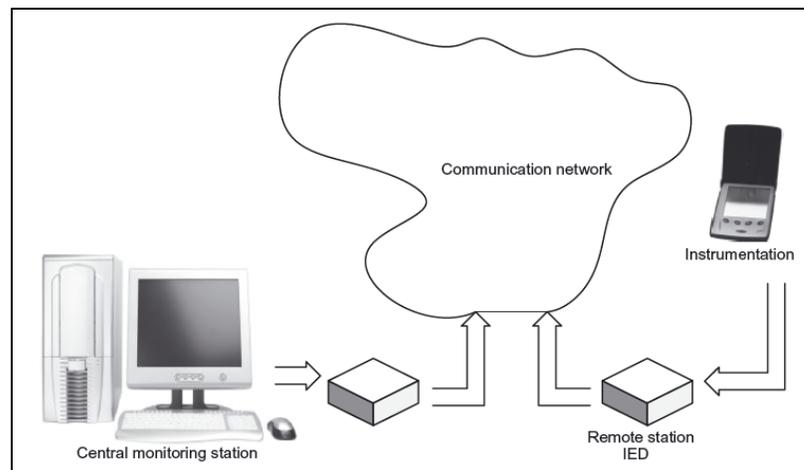
La telemetría es el paso inicial en aplicaciones de SCADA que define la técnica usada para la medición de los datos (voltaje, corriente, velocidad, entre otros) desde diferentes localizaciones en el proceso en tiempo real y su transferencia hacia los IEDs, tales como una Unidad Terminal Remota (RTUs) o PLCs en otra localización, a través de un circuito de comunicación. (Abdelay S., Om M., 2011, pp 473).

3.2.2. Adquisición de datos

La adquisición de datos se refiere al método usado para acceder y recolectar los datos desde los dispositivos que están siendo controlados y monitoreados, para luego ser reenviados a los diferentes sitios. Los datos pueden ser análogos o digitales, recolectados por sensores tales como amperímetros, voltímetros, tacómetros y medidores de flujo, entre otros.

También puede ser data del control de los equipos, tales como actuadores, relés, válvulas y motores. (Abdelay S., Om m., 2011, pp 474).

Figura 15. **Elementos de un sistema SCADA**



Fuente: Abdelay S.; Om M., 2011, pp 473

En el caso de las cuatro plantas hidroeléctricas que se visitaron, dos de ellas cuentan con un sistema SCADA que recolecta datos de elementos de campo y los traslada a Unidades Terminales Remotas que se conectan a un PLC y a una Interface Hombre Máquina desde donde se pueden ver los valores instantáneos de los parámetros de operación. Este sistema sin embargo tiene poca capacidad de almacenamiento y de análisis de los datos recolectados.

3.3. Recolección manual de datos en plantas hidroeléctricas

El personal de las salas de mando de las plantas generadoras visitadas, recolecta manualmente la información de los principales parámetros de operación, en hojas de papel con formatos impresos. La recolección por lo general es horaria y se realiza tanto en sala de mando por parte del operador

como en la sala de máquinas y en equipos auxiliares durante la ronda del auxiliar de operador. En algunas plantas los datos recolectados se ingresan a un archivo de hoja electrónica, el cual utilizan los supervisores para realizar los informes diarios de generación y algunas gráficas de los principales parámetros de operación. No obstante, la información de los archivos de hojas electrónicas no está disponible para todos los niveles de operación y solo puede consultarse en la computadora de sala de mando o copiando los archivos.

Generalmente, se realiza un archivo de generación por mes, de tal manera que no se pueden realizar consultas de información de períodos más largos de tiempo, lo que limita el análisis histórico de la producción de la planta y del comportamiento de los principales parámetros de operación. En las tablas de la IV a la VI se muestra un resumen de los parámetros que se recolectan manualmente.

A pesar de que en dos de las plantas se cuenta con un sistema SCADA, la práctica de las rondas de los auxiliares de operador para toma de datos de forma manual no se ha erradicado, ya que también es necesario efectuarlas para revisar el estado de los equipos o elementos de campo, que son los que realizan la medición y de los equipos en general, por lo que se genera una data histórica que actualmente no se puede aprovechar de forma adecuada. Como se indicó en los antecedentes de este trabajo, la intervención humana no puede ser eliminada del todo en la automatización de los procesos industriales. (Pretlove John, Skourup Charlotte, 2007). En la figura 16 se muestra el proceso actual de gestión de información en una planta hidroeléctrica.

Tabla IV. **Datos operativos por unidad generadora, capturados horariamente en sala de mando**

Parámetro	No	Variable	Dimensional
Eléctrico	1	Frecuencia	Hz
	2	Potencia activa	MW
	3	Potencia reactiva	MVAR
	4	Voltaje de excitación	V (DC)
	5	Corriente de excitación	A (DC)
	6	Corriente fase R	A
	7	Corriente fase S	A
	8	Corriente fase T	A
	9	Voltaje fase R	kV
	10	Voltaje fase S	kV
	11	Voltaje fase T	kV
	12	Voltaje R-S	kV
	13	Voltaje S-T	kV
	14	Voltaje R-T	kV
Temperatura	15	Temperatura Cojinete #	°C
	16	Temperatura aire caliente del generador lado 1	°C
	17	Temperatura aire caliente del generador lado 2	°C
	18	Temperatura aire frío del generador lado 1	°C
	19	Temperatura aire frío del generador lado 2	°C
	20	Temperatura generador ranura #	°C
	21	Temperatura hierro estator	°C
	22	Temperatura tanque aceite de regulación	°C
	23	Temperatura tanque aceite de lubricación	°C
	24	Temperatura aceite de regulación	°C
	25	Temperatura aceite de cojinetes	°C
	26	Agua de enfriamiento antes del intercambiador	°C
	27	Agua de enfriamiento después del intercambiador	°C
	28	Temperatura sello del eje	°C
Presión	29	Presión bomba de refrigeración hidráulica #	Bar
	30	Presión aguas arriba válvula de ingreso	Bar
	31	Presión aguas abajo válvula de ingreso	Bar
	32	Presión junta de servicio	Bar
	33	Presión aceite de cojinete #	Bar
	34	Presión bomba de aceite de cojinetes	Bar
	35	Presión agua mando válvula de ingreso	Bar
	36	Presión aceite mando válvula de ingreso	Bar
	37	Presión aceite de regulación bomba #	Bar
	38	Presión del sistema de aceite de regulación	Bar
	39	Presión agua del sello del eje	Bar
Caudal	40	Caudal del sistema de refrigeración aceite lubricación	L/m
	41	caudal del sistema de refrigeración aceite de regulación	L/m
	42	Caudal del sistema de refrigeración aire del generador	L/m
	43	Caudal aceite de lubricación de cojinetes	L/m
	44	Caudal agua del sello	L/m
Otros	45	Porcentaje del limitador de apertura	%
	46	Porcentaje de apertura de toberas (o paletas)	%
	47	Velocidad de turbina	Rpm

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Datos operativos de otros equipos, capturados horariamente en sala de mando

Equipo	Parámetro	No	Variable	Dimensional
Planta	Varios	1	Nivel pozo agua de refrigeración	m
		2	Nivel del desfogue	m.s.n.m.
		3	Potencia activa Total	MW
		4	Potencia reactiva Total	MW
		5	Voltaje Barra 1,	kV
		6	Voltaje Barra 2,	kV
Transformador de bloque	Varios	7	Temperatura aceite transformador de bloque	°C
		8	Temperatura devanado de baja tensión	°C
		9	Temperatura devanado de alta tensión	°C
		10	Corriente devanado de baja tensión	A
		11	Corriente devanado de alta tensión	A
Línea (s)	Eléctricos	12	Voltaje R-S	Kv
		13	Voltaje S-T	Kv
		14	Voltaje R-T	Kv
		15	Voltaje R-N	Kv
		16	Voltaje S-N	Kv
		17	Voltaje T-N	Kv
		18	Corriente fase R	A
		19	Corriente fase S	A
		20	Corriente fase T	A
		21	Potencia activa	MW
		22	Potencia reactiva	MVAR
Servicios auxiliares	Eléctrico	23	Potencia activa	KW
		24	Potencia reactiva	KVAR
		25	Corriente	A
		26	Voltaje	V
Banco de baterías	Eléctrico	27	Corriente banco de baterías	A
		28	Voltaje banco de baterías	V
		29	Temperatura banco de baterías	°C
Generador diésel de emergencia (si genera)	Eléctrico	30	Potencia activa	KW
		31	Potencia reactiva	KVAR
		32	Corriente	A
		33	Voltaje	V
Embalse y presa	Varios	34	Nivel embalse	m.s.n.m
		35	Nivel presa	m.s.n.m
		36	Nivel desarenador No 1	m
		37	Nivel desarenador No 2	m
		38	Apertura compuerta de despacho 1	%
		39	Apertura compuerta de despacho 2	%
		40	Nivel del desfogue	m.s.n.m.
		41	Apertura compuertas de desfogue 1	%
		42	Apertura compuertas de desfogue 2	%
		43	Apertura compuertas de desfogue 3	%

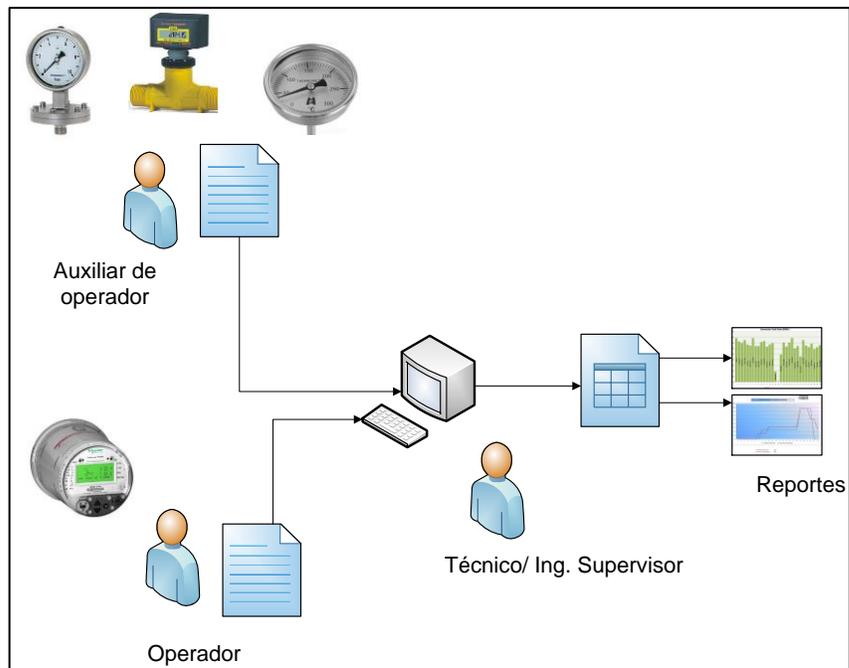
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos operativos capturados diariamente en sala de mando**

Equipo	Parámetro	No	Variable	Dimensional
Planta	Varios	1	Lectura contador energía activa Unidad #	KWh
		2	Lectura horómetro unidad #	horas
		3	Lectura horómetro unidad diesel	horas
		4	Lectura contador servicios auxiliares	KWh
		5	Lectura contador Potencia activa total planta	KWh
		6	Lectura contador Energía Activa Línea #	KWh

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Proceso actual de gestión de información en una planta hidroeléctrica**



Fuente: elaboración propia.

Un claro ejemplo de la interacción humana con equipos modernos es la lectura manual que realizan los operadores de turno de los “display” o pantallas de los equipos multimedidores y los relevadores de protección instalados en las plantas. Tanto los multimedidores como los relevadores, son dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) que registran un conjunto de parámetros eléctricos como corriente, voltaje, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia, y en el caso de los relevadores, información digital de la condición de los elementos de subestación y de las funciones de protección.

El operador registra los valores medidos por estos equipos en sus lecturas manuales y en la bitácora escrita consigna las alarmas u operaciones de los equipos de protección. Si esta información se registra en un sistema de información, existirá una fuente de información adicional para ser comparada eficientemente con lo registrado en el sistema SCADA.

Figura 17. **Ejemplo de los dispositivos electrónicos inteligentes de medición y protección eléctrica instalados en las plantas**



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Recolección de eventos en bitácora escrita

En las cuatro plantas que se visitaron se cuenta con un libro denominado bitácora, en el cual el operador ingresa los principales eventos ocurridos durante el desarrollo del turno. En algunas plantas, el auxiliar de operador también tiene su propio libro de bitácora en donde anota los principales eventos.

En los libros de bitácora no existe una estandarización de la información, los hechos que se apuntan difieren en cada planta e incluso entre lo registrado por los operadores de turno de la misma planta, existen diferencias.

Las similitudes que presentan las bitácoras son el registro de los eventos de ingreso y salida de unidades a operación, los cambios de carga de potencia activa y reactiva, ingreso y salida de unidades a mantenimiento, disparos de unidades y líneas y arranques fallidos de unidades.

También se anotan las maniobras internas de equipos en casa de máquinas y subestación, el monitoreo de la condición del mando de unidades en local o remoto, maniobras en servicios auxiliares, registro de las alarmas que se presentan, condiciones de entrega y recepción de turno, algunas comunicaciones realizadas hacia los centros de control y viceversa, entre otras.

Tabla VII. Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora

FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA FIN	HORA FIN	UNIDAD	TIPO DE EVENTO	SUB TIPO DE EVENTO	AUTORIZACION AMIM	DESCRIPCION	CODIGO HORAS	POT DISP NETA
15/01/2013	21:18	16/01/2013	05:00	JURUN3	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Unidad sale de línea normalmente para recuperar nivel embalse	HES	
15/01/2013	21:30	16/01/2013	05:00	JURUN2	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Unidad sale de línea normalmente para recuperar nivel embalse	HES	
16/01/2013	23:59	16/01/2013	05:00	JURUN1	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Unidad en mantenimiento por limpieza del pozo de agua de enfriamiento	HES	
16/01/2013	05:01	16/01/2013	09:00	JURUN3	MANTENIMIENTO	OBRA CIVIL	GEN-050-ENE-2016	Unidad en mantenimiento por limpieza del pozo de agua de enfriamiento	HMP	
16/01/2013	05:00	16/01/2013	09:00	JURUN2	MANTENIMIENTO	OBRA CIVIL	GEN-050-ENE-2016	Unidad en mantenimiento por limpieza del pozo de agua de enfriamiento	HMP	
16/01/2013	05:01	16/01/2013	09:00	JURUN1	MANTENIMIENTO	OBRA CIVIL	GEN-050-ENE-2016	Unidad en mantenimiento por limpieza del pozo de agua de enfriamiento	HMP	
16/01/2013	09:01	16/01/2013	10:29	JURUN1	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Queda disponible luego de mantenimiento programado	HES	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora

FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA FIN	HORA FIN	UNIDAD	TIPO DE EVENTO	SUB TIPO DE EVENTO	AUTORIZACION AMM	DESCRIPCION	CODIGO HORAS	POT DISP NETA
16/01/2013	09:00	16/01/2013	21:10	JURUN2	OPERACION	EN LINEA		Unidad ingresa a linea en operación local	HOP	
16/01/2013	09:05	N/A	N/A	JURUN2	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Unidad generando 8 MW x 0 MVAR		
16/01/2013	09:01	16/01/2013	10:25	JURUN3	OPERACION	EN LINEA		Unidad ingresa a linea en operación local	HOP	
16/01/2013	09:05	N/A	N/A	JURUN3	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Unidad generando 8 MW x 0 MVAR		
16/01/2013	10:25	16/01/2015	16:15	JURUN3	SALIDA FORZADA	ELECTRONICO		Unidad fuera de linea por falla en tarjeta de regulador de voltaje	HIF	
16/01/2013	10:30	16/01/2015	21:25	JURUN1	OPERACION	EN LINEA		Unidad ingresa a linea en operación local		
16/01/2013	10:35	N/A	N/A	JURUN1	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Unidad generando 8 MW x 0 MVAR		
16/01/2013	16:15	16/01/2013	18:10	JURUN3	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Queda disponible la unidad luego de que se resuelve la falla	HES	
16/01/2013	17:10	N/A	N/A	JURUN2	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Por solicitud de Centro de Control, sube a 20 MW X 5 MVAR		
16/01/2013	17:25	N/A	N/A	JURUN1	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Por solicitud de Centro de Control, sube a 20 MW X 5 MVAR		

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Ejemplo de formato para ingreso de eventos en bitácora

FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA FIN	HORA FIN	UNIDAD	TIPO DE EVENTO	SUB TIPO DE EVENTO	AUTORIZACION AMM	DESCRIPCION	CODIGO HORAS	POI DISP NETA
16/01/2013	18:10	16/01/2013	22:00	JURUN3	OPERACION	EN LINEA		Ingreso a línea en operación local	HOP	
16/01/2013	18:15	16/01/2013	20:15	JURUN3	OPERACION	DEGRADACION		Control solicita completar carga, solo completa 15 MW por calentamiento de cojinetes	HED	15
16/01/2013	20:15	N/A	N/A	JURUN3	OPERACION	CONSIGNA DE CARGA		Completar 20 MW *5 MVAR		
16/01/2013	21:10	16/01/2013	23:59	JURUN2	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Salie de línea por recuperacion de nivel de embalse	HES	
16/01/2013	21:25	16/01/2013	23:59	JURUN1	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Salie de línea por recuperacion de nivel de embalse	HES	
16/01/2013	22:00	16/01/2013	23:59	JURUN3	OPERACION	OFERTA DISPONIBLE		Salie de línea por recuperacion de nivel de embalse	HES	
17/01/2013	08:15	N/A	N/A	JURUN2	OPERACION	ARRANQUE FALLIDO		A las 08:15 se convoca a generar con 8 MW, pero falla en el arranque	AF	
17/01/2013	00:00	17/01/2013	08:15	JURUN2	SALIDA FORZADA	ELECTRONICO		Falla al ser convocada por problemas en el regulador electrónico de voltaje	HIF	

Fuente: elaboración propia.

Debido a que muchos de los cálculos de indicadores de desempeño de la planta y unidades generadoras se basan en los registros de eventos de operación de las bitácoras, se considera necesario estandarizar el registro de estos eventos, en un formato en el cual sea factible el cálculo de los tiempos de operación, tiempos de falla, de mantenimiento y agregar los tiempos de operación en condición de degradación, que como se verá más adelante, es parte del cálculo del coeficiente de disponibilidad.

Para los eventos internos también debe contarse con un formato lo más estandarizado posible, pues la naturaleza de la información es diversa. En las tablas VII a IX se puede ver un ejemplo de formato para estandarizar la información de eventos de unidades generadoras en bitácora.

3.5. Recolección de datos de fuentes externas

El administrador del mercado mayorista envía diariamente a los agentes generadores (plantas) el programa de despacho de carga, en el cual se consigna la información horaria de la potencia a generar por cada planta. Los datos de este programa sirven al operador y al auxiliar de operador para llevar el control de la potencia generada y compararlo con la potencia programada.

Asimismo semanalmente el administrador del mercado mayorista envía el programa de mantenimientos a realizarse en las unidades generadoras. La programación de estos mantenimientos sirve al operador y al auxiliar de operador para saber el horario en que se debe realizar un mantenimiento programado.

Los programas mencionados se obtienen en archivos de hoja electrónica que son descargados del sitio web del administrador del mercado mayorista. En las figuras 18 y 19 se puede ver un ejemplo de los documentos mencionados.

Figura 18. **Vista del programa de despacho diario del Mercado Mayorista**

		CHX-H	AGU-H	JUB-H	LES-H	SMA-H	POB-H	SAL-H	RBD-H	SEC-H	PAS-H	MTZ-H	SES-H	PYE-H	LVA-H
REGULACION PRIMARIA: LOS GENERADORES DEBEN MANTENER COMO RESERVA RODANTE REGULANTE UN 3% DE LA POTENCIA GENERADA															
POT. MAX.		279.0	79.7	59.9	13.4	6.0	2.1	2.4	10.5	16.1	12.4	11.8	3.4	9.6	36.9
POT. MIN.		30.0	15.0	8.0	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5	3.0	0.8	1.8	0.4	1.0	1.0
POT. DISP.		261.0	79.7	39.9	13.3	6.0	0.0	2.3	10.1	0.0	12.4	11.5	3.4	9.6	36.9
*** *****		253.4	77.4	38.8	13.0	5.9	0.0	2.3	9.8	0.0	12.0	11.2	3.3	9.3	35.9
ENERGIA		4301.7	597.8	926.3	48.0	44.5	0.0	14.8	82.2	0.0	24.0	72.2	14.1	49.7	130.4
DE	A														
00:01	01:00	30.0	OD	38.8	2.0	OD	N	0.6	OD	M	1.0	OD	0.6	OD	OD
01:01	02:00	30.9	OD	38.8	2.0	OD	N	0.6	OD	M	OD	OD	0.6	OD	OD
02:01	03:00	31.8	OD	38.8	2.0	OD	N	0.6	OD	M	OD	OD	0.6	OD	OD
03:01	04:00	31.8	OD	38.8	2.0	OD	N	0.6	OD	M	1.1	OD	0.6	OD	OD
04:01	05:00	62.6	OD	38.8	2.0	1.5	N	0.6	OD	M	1.1	OD	0.6	OD	9.0
05:01	06:00	151.6	OD	38.8	2.0	1.5	N	0.6	OD	M	1.1	OD	0.6	OD	12.0
06:01	07:00	217.6	OD	38.8	2.0	1.5	N	0.6	OD	M	1.1	OD	0.6	1.8	6.0
07:01	08:00	253.4	OD	38.8	2.0	1.5	N	0.6	OD	M	1.1	OD	0.6	1.8	11.9
08:01	09:00	253.4	OD	38.8	2.0	5.9	N	0.6	0.5	M	1.1	2.2	0.6	3.6	OD
09:01	10:00	253.4	15.0	38.8	2.0	5.9	N	0.6	0.5	M	1.1	9.5	0.6	3.6	6.0
10:01	11:00	253.4	30.0	38.8	2.0	1.8	N	0.6	1.1	M	1.1	4.9	0.6	3.6	6.0
11:01	12:00	253.4	34.9	38.8	2.0	1.8	N	0.6	4.6	M	1.1	6.2	0.6	3.6	6.0

Fuente: <http://amm.org.gt>. Consulta: 10 de mayo de 2,016.

Figura 19. Vista del programa semanal de mantenimientos del administrador del mercado mayorista

REPORTE DE MANTENIMIENTOS, SEMANA							
P Mantenimiento programado.		*Mantenimiento realizado en un tiempo y en el momento acordado con el cliente (PRO-1), cuenta con autorización de los involucrados y se realiza según actividad eléctrica.					
NP Mantenimiento No programado.		*Mantenimiento que no tiene orden de coordinación, se agenda al momento de contactar con el cliente o se realiza según actividad eléctrica.					
IF Disponibilidad forzada.		*Mantenimiento que se cuenta con orden de coordinación pero no se programa en tiempo y forma (PRO-1), pero cuenta con autorización y se realiza según actividad eléctrica.					
C Mantenimiento cancelado.		*Mantenimiento que ha sido cancelado a solicitud del agente.					
Fechas en verde		*Mantenimiento mayor a 72 horas*. *Mantenimiento incluido en la Programación anual de actividades de mantenimiento y programación anual de actividades.					
No.	Agente u OS	Equipo	Unidad	Estado	Número programación	DE	A
13	EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE	JURUN MARINALA 3	JUR-H3	P	AMM-MAY16-GEN83	08-may dom 07:00	08-may dom 11:00
14	EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE	JURUN MARINALA 2	JUR-H2	P	AMM-MAY16-GEN84	08-may dom 07:00	08-may dom 16:00
15	EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE	El Salto	SAL-H	P	AMM-MAY16-GEN77	08-may dom 00:00	08-may dom 14:00

Fuente: <http://amm.org.gt>. Consulta: 10 de mayo de 2,016.

3.6. Indicadores

Los indicadores de desempeño de las unidades y de la planta generadora se relacionan directamente con la información operativa que se recolecta en la actualidad de forma manual, tanto en la bitácora de eventos como en las hojas impresas de parámetros de operación.

El tiempo de operación de las unidades por ejemplo puede determinarse de las lecturas diarias de los horómetros o bien sumando los tiempos en que las unidades estuvieron en línea, de acuerdo a las horas que se consignan en la bitácora escrita. El número de arranques fallidos también se puede determinar de acuerdo a la información de la bitácora escrita. Otros indicadores se calculan

utilizando los datos de la energía diaria generada por unidad y/o planta, lo cual se puede determinar con la lectura de los contadores de los multimedidores.

Algunos de los indicadores son de utilidad para la determinación de la potencia que se oferta en el Mercado Mayorista o bien la cantidad de energía efectivamente generada del programa de despacho que realiza el mismo Mercado Mayorista.

En general los indicadores son de utilidad principalmente para los ingenieros supervisores, jefes de sala de mando y sub jefatura y jefatura de planta, ya que miden el desempeño de las unidades y/o la planta hidroeléctrica.

3.6.1. Coeficiente de disponibilidad

Este indicador se encuentra dentro de la Norma de Coordinación Comercial No 2 del AMM y es una medida de la disponibilidad de una unidad generadora, para propósitos del sistema de información operativa se pretende que el cálculo de este indicador se realice mensualmente.

Para realizar el cálculo de este coeficiente es necesario contar con la información de los eventos operativos de las unidades, lo cual actualmente solo se puede realizar, sumando todos los tiempos de los eventos indicados en la bitácora escrita.

La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{Coefdisp} = \frac{\text{HD} + \text{HMP} - \text{HED}}{\text{HD} + \text{HMP} + \text{HIF}}$$

Donde

HIF = horas de indisponibilidad forzada

HD = horas disponibles = HOP + HES

HOP = horas de operación

HES= horas en que la unidad está disponible, en espera de ingresar a línea.

HMP = horas de mantenimiento programado.

HED = horas equivalentes de degradación

Para las horas equivalentes de degradación, existe una fórmula específica que es:

$$HED = \sum_{i=1}^n (PP - PD_i)/PP$$

Donde

PP = potencia máxima neta

PD_i= potencia disponible neta en la hora i

n= número de horas del período

3.6.2. Índice de salidas forzadas

Es un indicador que mide el tiempo que una unidad generadora estuvo indisponible contra el tiempo en que la unidad pudo haber estado generando.

La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{Índice de salidas forzadas} = HIF / (HIF + HOP)$$

Donde

HIF = horas de salida forzada

HOP = horas de operación

3.6.3. Número de arranques fallidos

Es un indicador que contabiliza el número de arranques fallidos que tuvo una unidad en un mes. Este indicador se encuentra dentro de la Norma de Coordinación Comercial No 2 del AMM como criterio para convocar a una prueba de disponibilidad de dicha unidad. Para realizar el cálculo es necesario contar con la información de los eventos de este tipo registrados en la bitácora de operación.

3.6.4. Índice de mantenimiento

Es un indicador que mide la efectividad del tiempo programado de un mantenimiento. Se expresa como la relación entre el tiempo programado de un mantenimiento entre el tiempo real en que se llevó a cabo dicho mantenimiento.

La fórmula de cálculo es:

Índice de mantenimiento = horas programadas del mantenimiento/horas reales del mantenimiento.

3.6.5. Índice de oferta firme disponible

Es un indicador que mide la parte de la potencia máxima que una unidad generadora tiene disponible. Este indicador se encuentra dentro de la Norma de Coordinación Comercial No 3 del AMM. Para el cálculo de este indicador se

requiere la información de la carga horaria de las unidades generadoras, la cual se recolecta manualmente por los operadores y se reporta al AMM y el valor de la potencia máxima declarada al AMM, cuyo valor se encuentra dentro de los datos generales de la planta. Este indicador se calcula diariamente.

La fórmula de cálculo es:

$$OFD_{id} = PP_i * Dd_{id}$$

Donde

Dd_{id} = Índice de disponibilidad del día d de la unidad generadora "i".

PP_i = potencia máxima de la unidad generadora "i" calculada de acuerdo a la norma de AMM

La fórmula de cálculo del índice de disponibilidad es:

$$Dd_{id} = \sum_{h=1}^N PD_{ihd} / H * PP_i$$

Donde

PD_{ihd} = potencia disponible de la unidad generadora "i" en la hora "h" para el día "d".

PP_i = potencia máxima de la unidad generadora "i" calculada de conformidad con la Norma de Coordinación Comercial No 2.

H = tiene un valor de cuatro al considerar diariamente cuatro reportes de disponibilidad; uno a las 18:00, a las 19:00, a las 20:00 y el último a las 21:00

horas, con base a lo que se informa al Centro de Despacho de Carga –CDC- del AMM.

3.6.6. Índice de generación de energía

Es un indicador que mide el cumplimiento del programa de generación de energía de la planta, asignado por AMM.

Índice de generación de energía = MWh Generados / MWh Programados.

Se calcula mensualmente para mostrar el resultado de producción de la planta.

3.6.7. Factor de planta

Indicador que mide la relación entre la energía producida por una unidad generadora con respecto a la energía que es producida a plena carga durante un período.

Para el cálculo de este indicador se requiere la información de los contadores diarios de energía por unidad generadora y el valor de la potencia máxima declarada al AMM.

Factor de planta = energía generada en el período (MWh) / potencia máxima (MW) * número de horas del período.

Este indicador se calcula mensualmente.

3.6.8. Factor de carga

Indicador que mide la relación entre la energía mensual producida por una unidad generadora, con respecto a la energía que produciría a plena carga durante las horas en que operó durante el mes.

Para el cálculo de este indicador se requiere la información de los contadores diarios de energía por unidad generadora, el valor de la potencia máxima declarada al AMM y el valor del número de horas de operación por unidad, proveniente de la bitácora de operación y/o el horómetro de unidad.

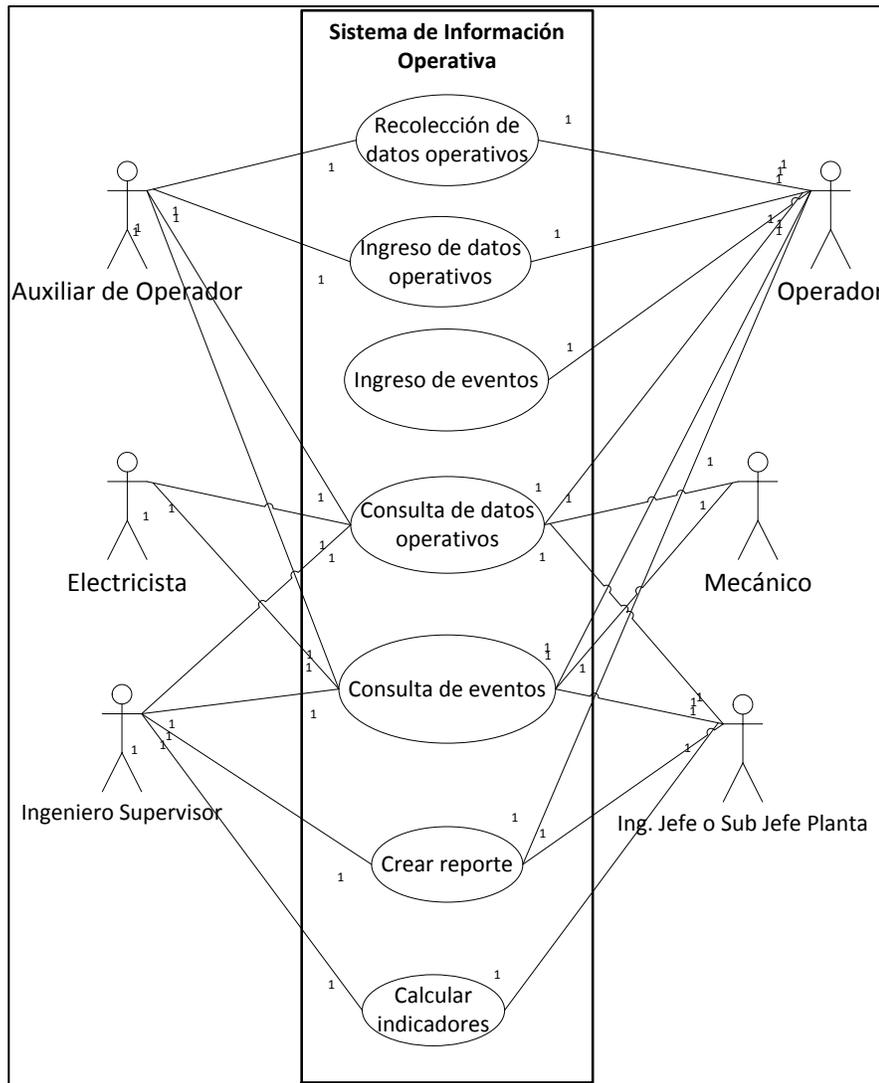
Factor de carga = energía generada en el período (MWh) / potencia máxima (MW) * número de horas de operación.

3.7. Casos de uso del sistema de información operativa

Con base al análisis del proceso de gestión de información y proceso de supervisión de las plantas generadoras hidroeléctricas, se definieron casos de uso de las actividades de ingreso, consulta y análisis de la información operativa. Estos casos de uso se pueden ver en el diagrama de casos de uso que se presenta en la figura 20.

La descripción de cada uno de los casos de uso se presenta en las tablas X a XVI. Los actores involucrados son los mismos que participan en la operación de la planta generadora hidroeléctrica.

Figura 20. Diagrama de casos de uso del sistema de información operativa



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Caso de uso recolección de datos operativos.**

Caso de uso:	Recolección de datos operativos
Actor:	Operador, Auxiliar de Operador
Descripción:	Describe el proceso de recolección de información en una planta generadora hidroeléctrica.
Precondición:	Debe de llevarse a cabo en cada hora en punto del día.
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Operador y/o Auxiliar de operador se dirigen a la ubicación de cada medidor de parámetros operativos. 2. Operador y/o Auxiliar de operador verifica el estado del medidor o elemento de campo que mide el parámetro operativo. 3. Operador y/o Auxiliar de operador verifica que el valor medido por el elemento o medidor sea correcto. 4. Operador y/o Auxiliar de operador toman nota del valor del parámetro operativo registrado por el medidor. 5. Operador y/o Auxiliar de operador toman nota del valor del parámetro operativo que se reporta desde sitios remotos vía radio comunicación.
Alternativa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si el medidor o elemento de campo se encuentra en mal estado, no se toma la lectura y se reporta el hallazgo en bitácora. 2. Si el valor medido por el elemento o medidor no es correcto, no se toma la lectura y se reporta el hallazgo en bitácora
Post condición	Se anota en el formato de toma de lecturas, el valor medido por cada elemento o medidor en cada hora del día.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Caso de uso ingreso de datos operativos**

Caso de uso:	Ingreso de datos operativos
Actor:	Operador, Auxiliar de Operador
Descripción:	Describe el proceso de ingreso de la información operativa en una planta generadora hidroeléctrica.
Precondición:	Haber llevado a cabo el caso de uso de recolección de datos operativos.
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Operador y/o auxiliar de operador ingresa al sistema de información vigente (actualmente hoja electrónica) en donde se guardan los valores de los parámetros operativos de cada hora. 2. Operador y/o auxiliar de operador transcribe los datos que recolectó en los formatos escritos, al sistema de información vigente (hoja electrónica).
Alternativa	Si al momento de ingresar la información se detecta que el dato se encuentra fuera del rango de medición, no se ingresa al sistema de información y se reporta el hallazgo en bitácora.
Post condición	En cada hora del día se llena el registro de los datos operativos de la planta generadora. .

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Caso de uso ingreso de eventos**

Caso de uso:	Ingreso de eventos
Actor:	Operador
Descripción:	Describe el proceso de ingreso de los eventos operativos en una planta generadora hidroeléctrica.
Precondición:	Al inicio del turno, el operador debe registrar que recibe dicho turno, en el sistema de información vigente (actualmente libro de bitácora).
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Durante el desarrollo del turno, el operador ingresa los eventos operativos que suceden en la operación de las unidades generadoras y equipos auxiliares, al sistema de información vigente (libro de bitácora). 2. El operador de turno recibe vía radio la información de eventos operativos ocurridos en sitios remotos como embalse, presa y subestación y los ingresa al sistema de información vigente (libro de bitácora).
Alternativa	
Post condición	Al finalizar el turno el operador registra su salida de dicho turno en el sistema de información vigente (actualmente libro de bitácora).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Caso de uso consulta de datos operativos**

Caso de uso:	Consulta de datos operativos
Actor:	Operador, Auxiliar de Operador, Electricista, Mecánico, Ingeniero Supervisor, Sub Jefe de planta, Jefe de planta.
Descripción:	Describe el proceso de consulta de los datos operativos en una planta generadora hidroeléctrica.
Precondición:	Los datos operativos a consultar deben haber sido ingresados al sistema de información vigente
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa al sistema de información vigente. 2. El usuario ingresa los criterios de consulta en el sistema de información vigente. 3. El sistema de información procesa los criterios de consulta. 4. El sistema de información devuelve el resultado de la consulta. 5. El usuario visualiza el resultado de la consulta.
Alternativa	El sistema no presenta datos como resultado de la consulta, el usuario informa al encargado del sistema, sobre la falla detectada.
Post condición	El resultado de la consulta satisface el criterio del usuario, quien imprime o graba la información.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Caso de uso consulta de eventos**

Caso de uso:	Consulta de eventos
Actor:	Operador, Auxiliar de Operador, Electricista, Mecánico, Ingeniero Supervisor, Sub Jefe de planta, Jefe de planta, sistema de información
Descripción:	Describe el proceso de consulta de los eventos operativos en una planta generadora hidroeléctrica.
Precondición:	Los eventos operativos a consultar deben haber sido ingresados al sistema de información vigente
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa al sistema de información vigente. 2. El usuario ingresa los criterios de consulta en el sistema de información vigente (actualmente se hace una búsqueda manual evento por evento en el libro de bitácora). 3. El sistema de información procesa los criterios de consulta. 4. El sistema de información devuelve el resultado de la consulta. 5. El usuario visualiza el resultado de la consulta.
Alternativa	El sistema no presenta datos como resultado de la consulta, el usuario informa al encargado del sistema, sobre la falla detectada.
Post condición	El resultado de la consulta satisface el criterio del usuario, quien imprime o graba la información (actualmente apunta manualmente los datos que requiere).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Caso de uso crear reporte**

Caso de uso:	Crear reporte
Actor:	Operador, Ingeniero Supervisor, Sub Jefe de planta, Jefe de planta,
Descripción:	Describe el proceso de creación de reportes diversos de información operativa.
Precondición:	La información operativa a reportar debe haber sido ingresada al sistema de información vigente
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa al sistema de información vigente. 2. El usuario ingresa los criterios del reporte en el sistema de información vigente (actualmente solo se realiza con los datos operativos en hoja electrónica). 3. El sistema de información procesa los criterios de reporte. 4. El sistema de información presenta el reporte en pantalla. 5. El usuario visualiza el reporte.
Alternativa	El sistema no presenta los datos requeridos en el reporte, el usuario informa al encargado del sistema, sobre la falla detectada.
Post condición	El reporte satisface el criterio del usuario, quien imprime o graba la información.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Caso de uso calcular indicadores**

Caso de uso:	Calcular indicadores
Actor:	Ingeniero Supervisor, Sub Jefe de planta, Jefe de planta,
Descripción:	Describe el proceso de cálculo de indicadores.
Precondición:	La información operativa para el cálculo de indicadores, debe haber sido ingresada al sistema de información vigente
Secuencia normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa al sistema de información vigente. 2. El usuario ejecuta el proceso de cálculo de indicadores en el sistema de información (actualmente solo se calculan algunos indicadores en hoja electrónica). 3. El sistema de información presenta el cálculo de los indicadores. 4. El usuario visualiza el cálculo de los indicadores.
Alternativa	El cálculo de los indicadores no presenta valores correctos, el usuario informa al encargado del sistema, sobre la falla detectada.
Post condición	El cálculo de indicadores es correcto, el usuario imprime o graba la información.

Fuente: elaboración propia.

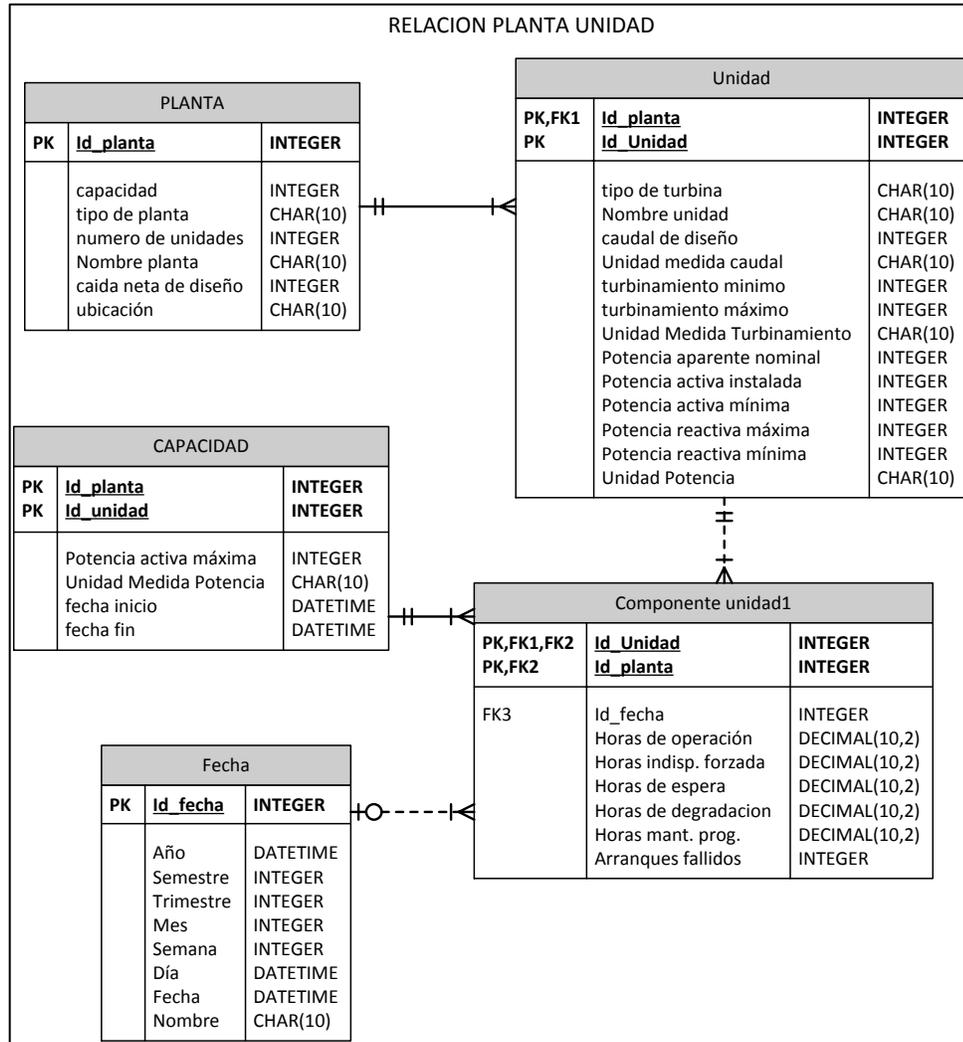
3.8. Análisis y modelado de datos

En base a los requerimientos del proceso de gestión de información observado en las plantas hidroeléctricas y a los parámetros operativos y eventos que allí se recolectan, se definió un modelo de datos.

Dicho modelo establece las entidades planta y unidad, las cuales tienen una relación de uno a muchos. La capacidad de la unidad puede variar con el tiempo por lo cual se definió una entidad para almacenar el registro histórico de dicha capacidad, de acuerdo al resultado de las pruebas de potencia realizadas por el administrador del mercado mayorista. También se definió una entidad llamada componente de unidad, la cual almacena los valores de las horas de disponibilidad, indisponibilidad y mantenimientos, entre otros. Esta entidad se relaciona con la entidad unidad y con la entidad fecha, con el objeto de conocer los valores de las horas en que una planta permanece en una condición dada, en una fecha determinada. En la figura 21 se observa el modelo planta-unidad.

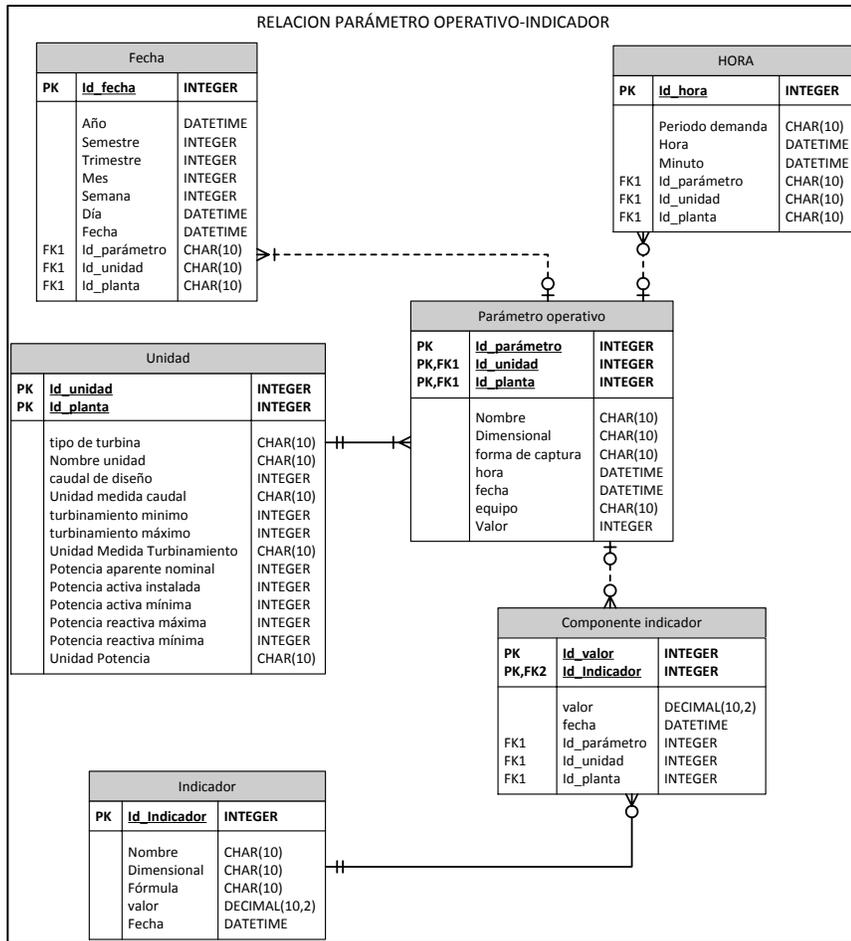
Para el almacenamiento de los parámetros operativos que se recolectan en las plantas hidroeléctricas se definió la entidad parámetro operativo, la cual se relaciona con la entidad planta y/o unidad y con las entidades de fecha y hora, tal como ocurre en los formatos escritos que se utilizan actualmente. Se creó una instancia denominada componente indicador en donde se almacenarán variables temporales para el cálculo de los indicadores y una instancia denominada indicador en donde se almacenarán los valores históricos de los indicadores. En la figura 22 se observa el modelo parámetro-indicador.

Figura 21. Modelo de datos planta-unidad.



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Modelo de datos parámetro-indicador

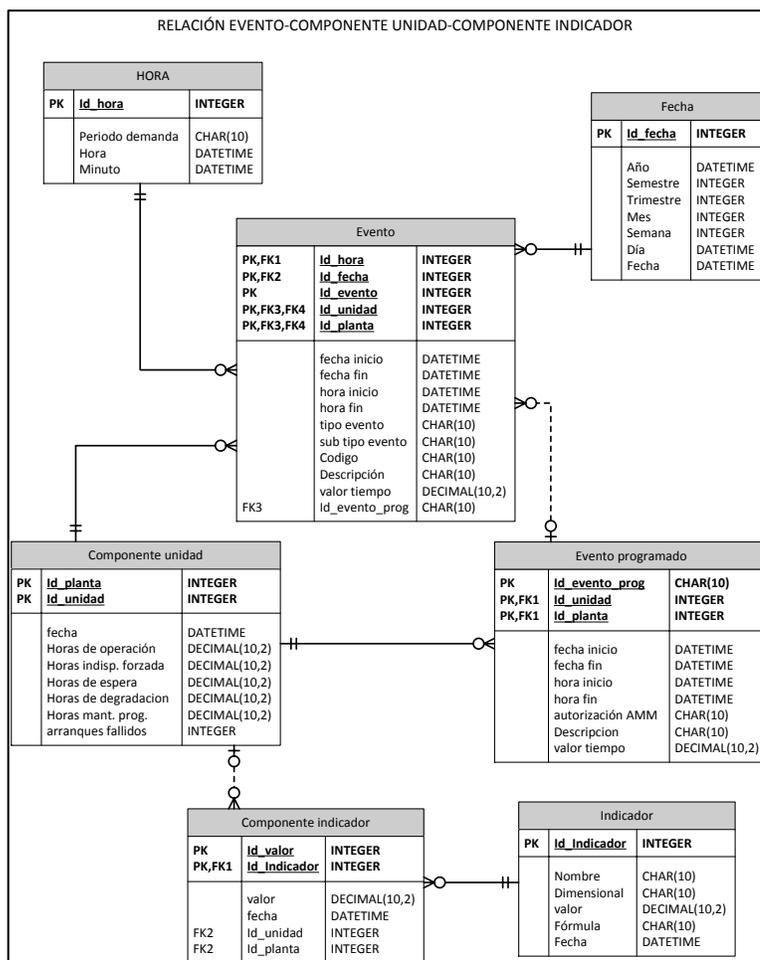


Fuente: elaboración propia.

Para lo que respecta a los eventos operativos se definió la entidad evento que se relaciona con las entidades de fecha y hora y con la entidad componente unidad. En la entidad eventos se almacenarán los eventos operativos ocurridos en la planta y/o en unidades generadoras. La relación con la entidad componente unidad se debe a que en componente unidad se almacenarán los valores de la duración de los eventos, que a su vez se relacionan con el cálculo de los indicadores, en la entidad componente indicador. Asimismo se definió una entidad de nombre evento programado, cuya finalidad es registrar de forma

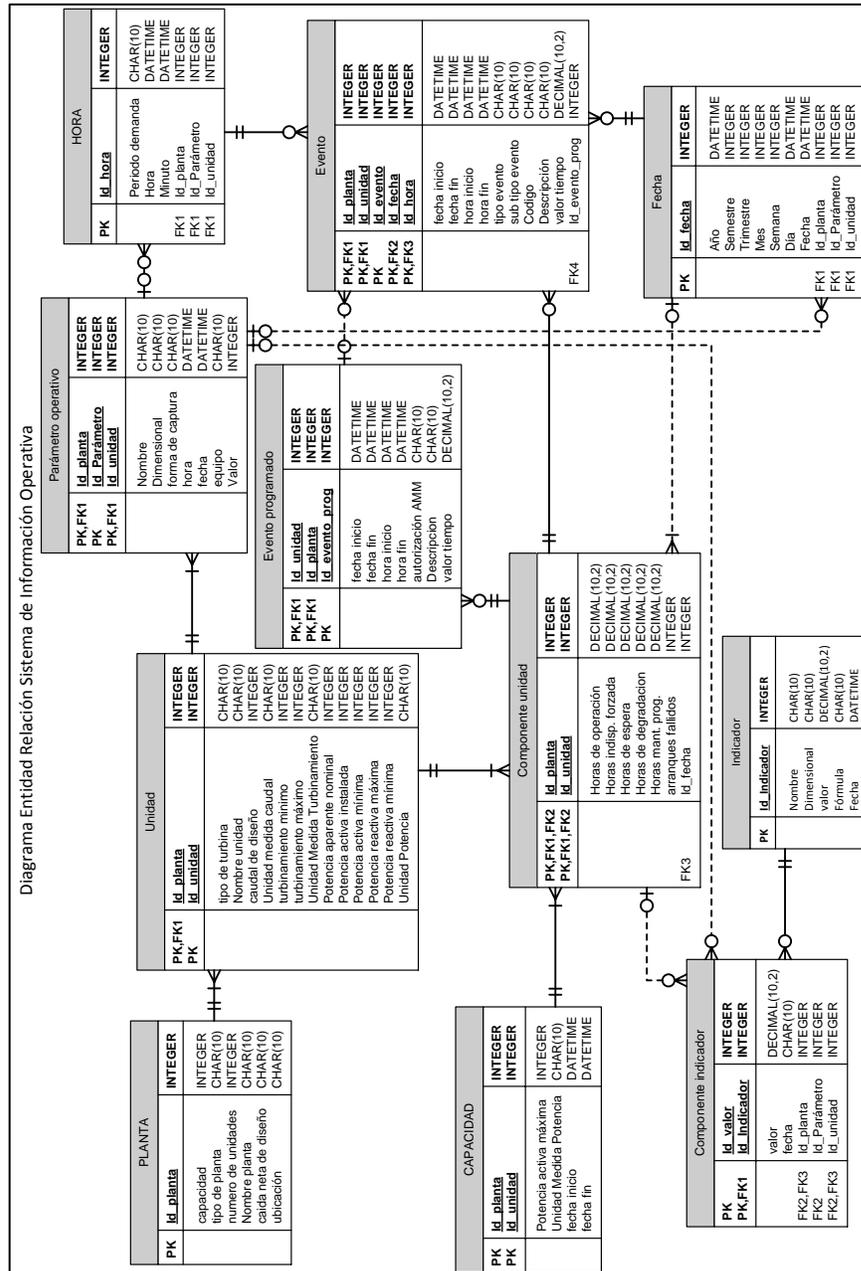
histórica la programación de los eventos de mantenimiento, programados por el administrador del mercado mayorista. En la figura 23 se observa el modelo evento-componente unidad-componente indicador. Por otra parte en la figura 24 se observa el modelo entidad-relación completo del sistema de información operativa de plantas hidroeléctricas.

Figura 23. **Modelo de datos evento-componente unidad-componente indicador**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Modelo entidad-relación del sistema de información operativa**

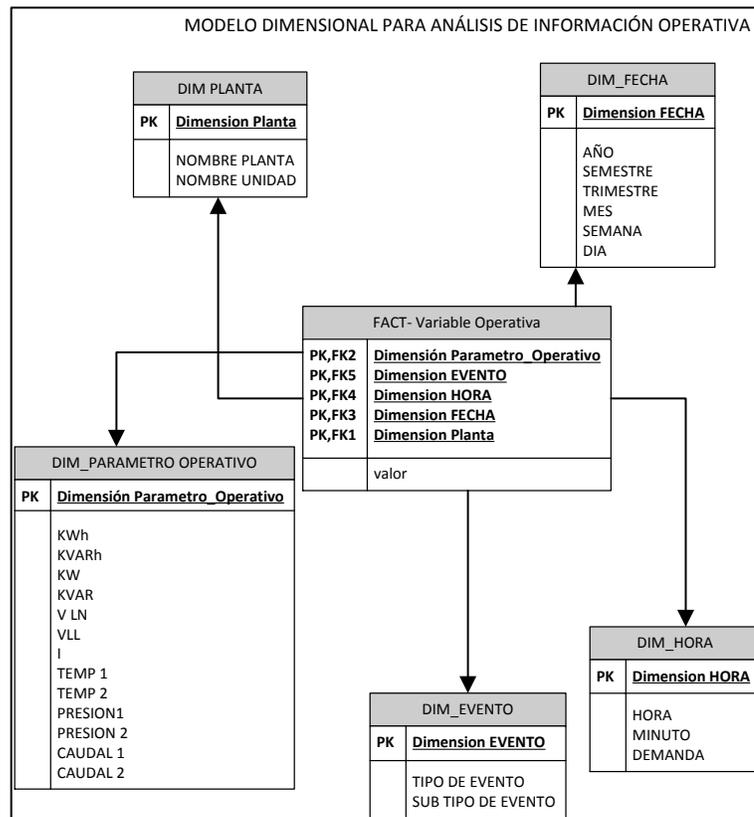


Fuente: elaboración propia.

3.8.1. Modelo de datos dinámico

El diseño del modelo de datos dinámico para la implementación de un *Data Warehouse* consideró la relación de los datos de los parámetros operativos con las dimensiones de tiempo tales como fecha y hora, la dimensión de la planta y unidad y la dimensión de los eventos, de tal forma que se pueda tener un análisis de los datos de parámetros operativos considerando diferentes combinaciones de tiempo, unidad, planta y evento. El modelo de datos dinámico se puede ver en la figura 25.

Figura 25. **Modelo multidimensional de análisis del sistema de información operativa**



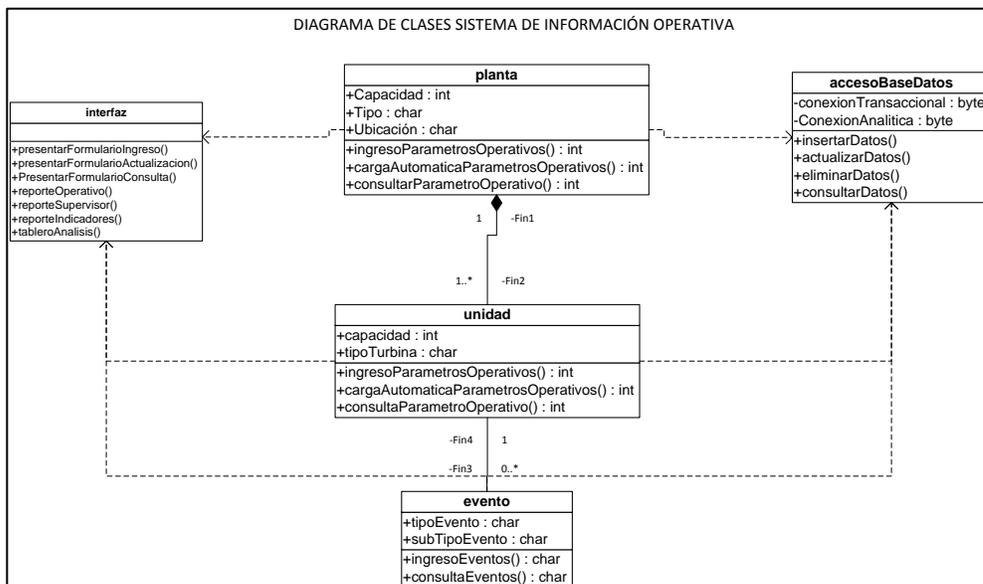
Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis y modelado de objetos

Partiendo del hecho de que el sistema de información operativa propuesto contempla la realización de actividades de ingreso, consulta y análisis de información, se definieron los objetos y componentes necesarios y la representación de sus relaciones.

Se definió una clase planta, unidad y evento, cuyas operaciones son de ingreso manual y automático de parámetros y eventos, así como de consulta de los mismos. Estas tres clases dependen de una clase que realiza la interacción con el usuario para el ingreso y consulta de información, incluyendo los reportes operativos y de indicadores, definida como Interfaz y de una clase que se comunica con la base de datos definida como *accesoBaseDatos*, en la figura 26 se aprecia el diagrama de clases establecido.

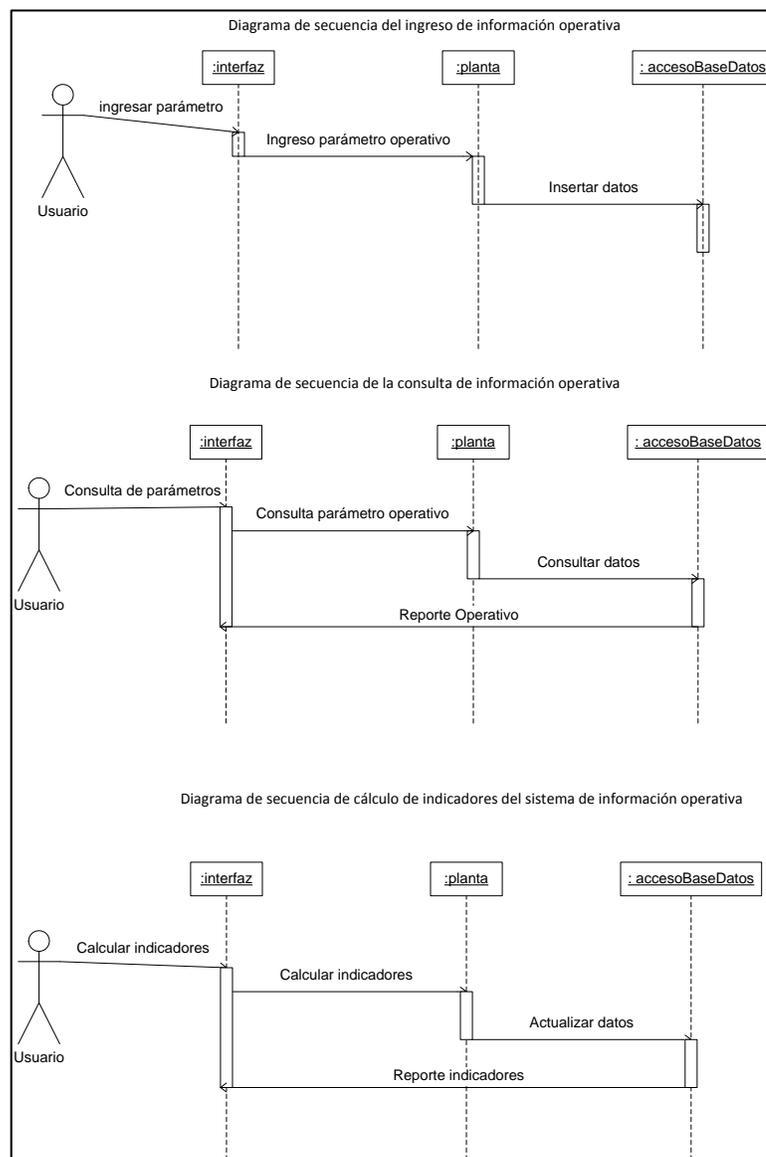
Figura 26. Diagrama de clases del sistema de información operativa



Fuente: elaboración propia.

Las clases definidas interactúan entre sí para realizar las tareas de ingreso, consulta y análisis de información, como puede observarse en el diagrama de secuencia que se muestra en la figura 27.

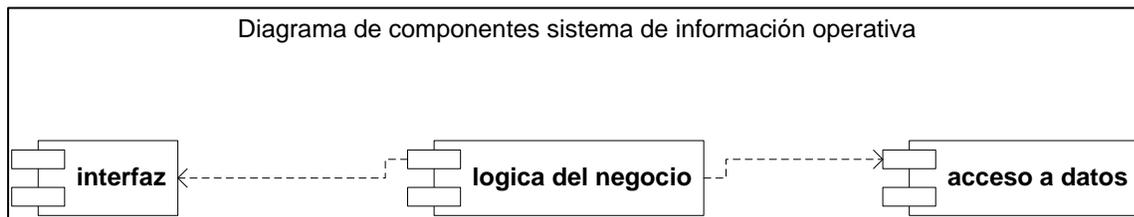
Figura 27. **Diagramas de secuencia del sistema de información operativa**



Fuente: elaboración propia.

Los componentes de software a residir en el servidor de aplicaciones, para la implementación del sistema de información operativa se muestran en la figura 28.

Figura 28. **Diagrama de componentes sistema de información operativa**



Fuente: elaboración propia.

3.10. **Arquitectura de red**

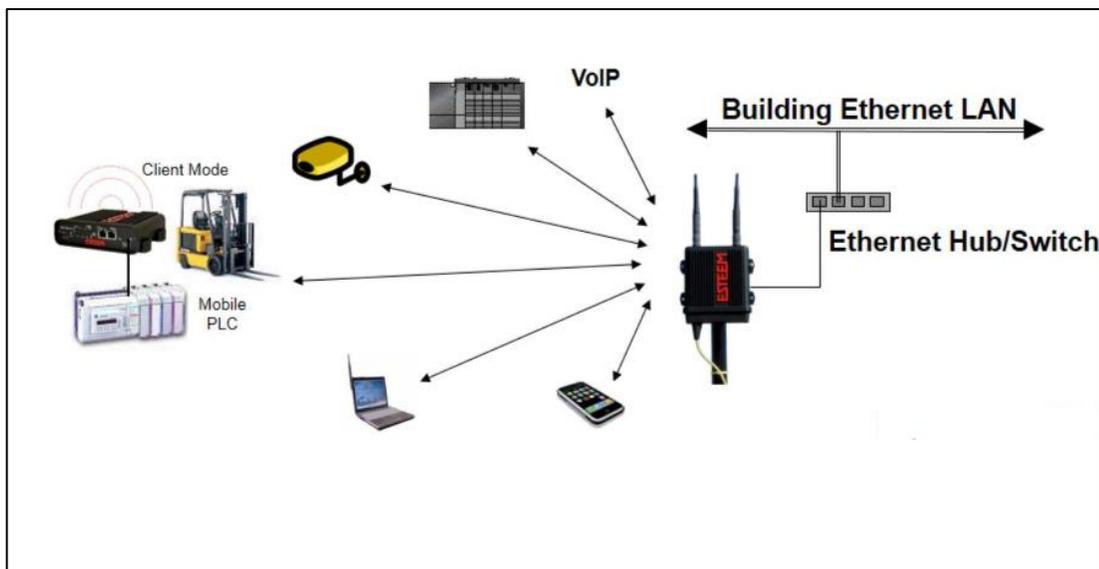
En las plantas hidroeléctricas que se visitaron y tomaron como ejemplo para proponer el sistema de información operativa, existe actualmente una red Ethernet administrativa que comunica las computadoras de las jefaturas, de los ingenieros supervisores, técnicos y personal administrativo. Esta red actualmente se conecta a un enlace de datos vía satélite o fibra óptica, para utilización de los sistemas contables y de gestión de mantenimiento cuyos servidores residen en las oficinas centrales ubicadas en la ciudad de Guatemala.

Se propone que el sistema de información operativa para una planta hidroeléctrica, utilice una red local, como la antes descrita, para la conexión del hardware en donde residirán las aplicaciones del sistema y la base de datos transaccional y analítica. En el caso de las plantas del INDE, actualmente las terminales de los operadores no están incorporadas a la red, por lo que la

terminal de sala de mando debe incluirse en la red. Asimismo, se propone que el auxiliar de operador que realiza las rondas de toma de datos, utilice un dispositivo móvil como una *Tablet* o *Smart Phone*, en el cual residirá la aplicación móvil para el ingreso de datos operativos.

Este dispositivo accederá a la red a través de un módem inalámbrico en red *access point* de tipo industrial, de los cuales existen variedad en el mercado y utilizan el estándar IEEE 802.11x. En la figura 29, se presenta un ejemplo de módem inalámbrico en red *access point*. Asimismo en la figura 30 se muestra el diagrama de red del sistema de información operativa.

Figura 29. **Ejemplo de red a través de módem inalámbrico**

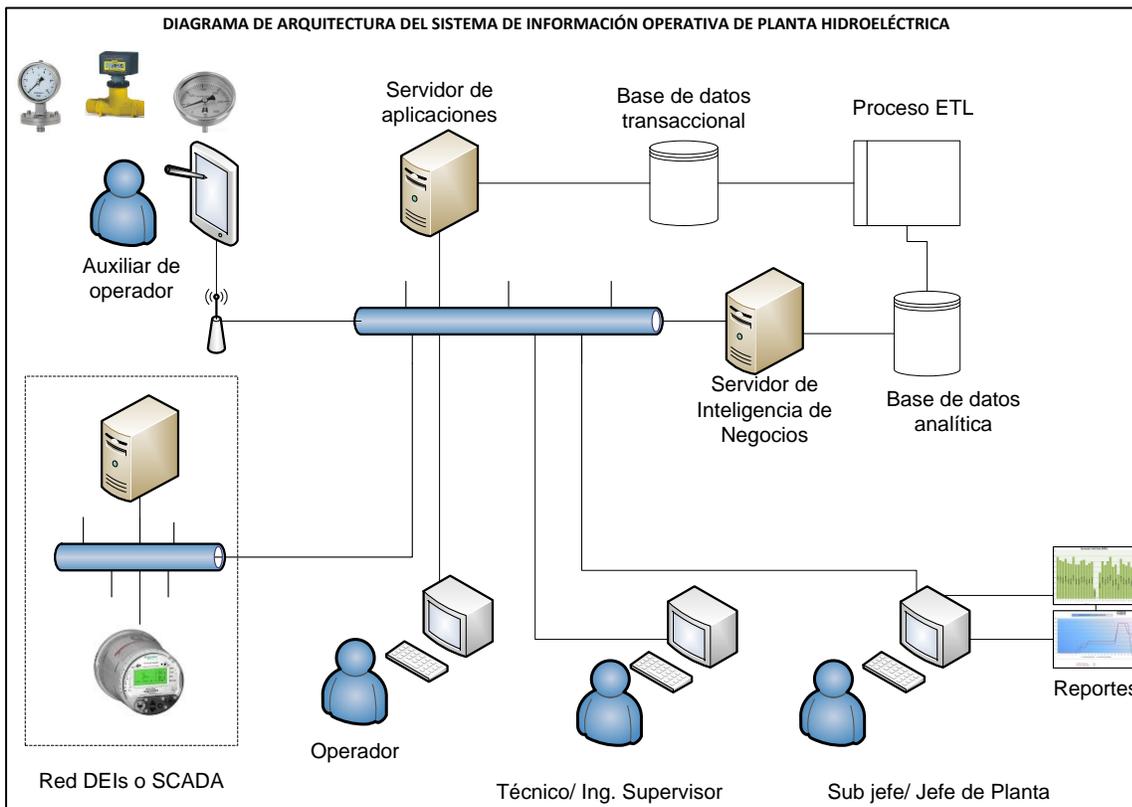


Fuente: rockwellautomation.com/resources/downloads/. Consulta: 20 de mayo 2016.

El diagrama de arquitectura de red considera una posible inclusión de la lectura automática de los parámetros operativos, mediante una conexión a la base de datos o sistema de archivos del sistema SCADA. Esta posibilidad es

aplicable en plantas generadoras que tengan una red Ethernet de SCADA, mediante el uso de aplicaciones JDBC u ODBC.

Figura 30. **Diagrama de arquitectura de red del sistema de información operativa**

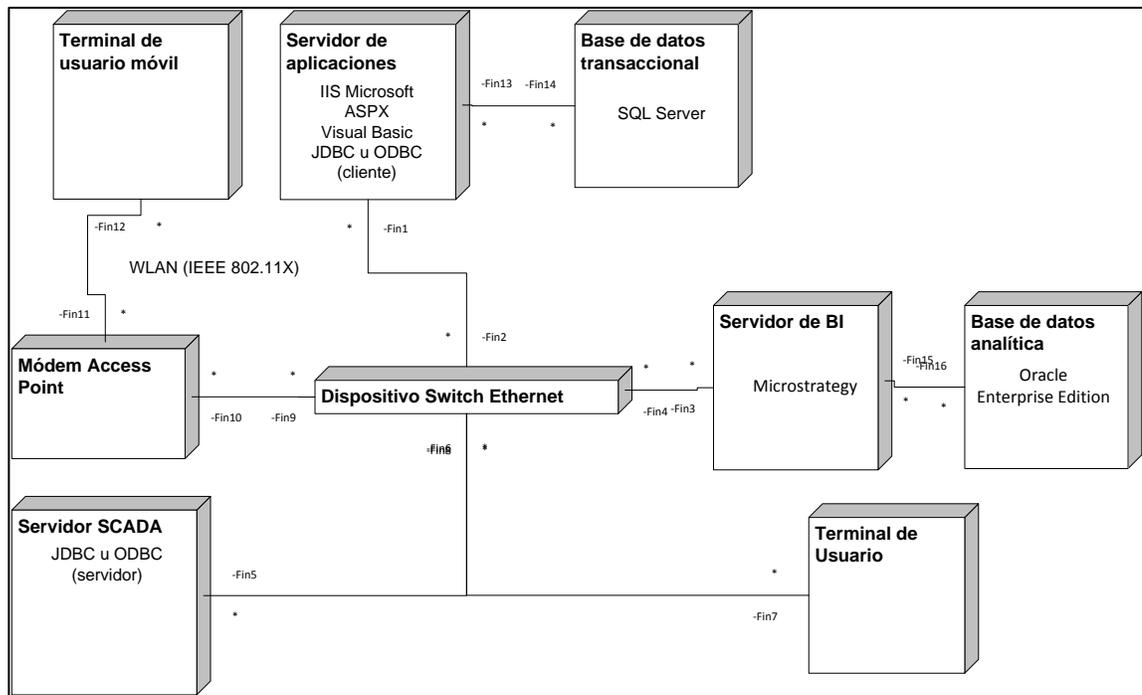


Fuente: elaboración propia.

No se considera el uso de medidores o sensores con conexión inalámbrica debido a que la mayoría de estos dispositivos están diseñados para reportar a través de protocolos industriales a un Controlador Lógico Programable o Unidad Terminal Remota del sistema SCADA, por lo que es más sencillo realizar la conexión entre bases de datos.

La lectura automática de parámetros operativos adquiridos a través del SCADA dentro del sistema de información operativa propuesto, es de utilidad para realizar un análisis comparativo de la información adquirida. En la figura 31 se muestra el diagrama de distribución del sistema de información operativa.

Figura 31. **Diagrama de distribución del sistema de información operativa**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Ingreso, consulta y análisis de la información operativa

Como se explicó en el capítulo anterior, en las plantas generadoras hidroeléctricas que fueron tomadas como modelo para la realización del diseño del sistema de información operativa, existe un proceso de gestión de información, el cual se realiza conjuntamente al proceso de supervisión de la operación de la planta.

Tomando en cuenta los procesos mencionados, se propuso la arquitectura del sistema, de tal forma que se cuente con una herramienta de ingreso, consulta y análisis que utilice un servidor web. La arquitectura propuesta considera la utilización de la aplicación IIS de Microsoft, dado que en las plantas tomadas como modelo y en sí en la institución a la que pertenecen, se cuenta con aplicaciones y licencias Microsoft.

Para acceder al sistema de información operativa, el usuario debe acceder primeramente al buscador de internet y posteriormente buscar la dirección URL definida para el sistema, realizando el proceso de autenticación, mediante el ingreso de su contraseña. El operador y el ayudante del operador mantendrán una sesión abierta en el sistema durante el desarrollo de su turno, para el ingreso de la información de parámetros operativos y de eventos que puedan ocurrir.

Se ha propuesto la utilización del software de administración de base de datos SQL Server, para la base de datos transaccional, dado que en las plantas

se cuenta con licencias de dicho software y al hecho de que los sistemas SCADA modernos actualmente están utilizando con mayor frecuencia los sistemas operativos y herramientas Microsoft, lo que hace mucho más sencillo la migración de datos a una base SQL Server.

Para la base de datos analítica se propuso la utilización de una licencia de software Oracle, dada la robustez y disponibilidad de herramientas de análisis que dicho software posee.

El diseño del sistema de información consideró el hecho de que la información de parámetros operativos que se recolecta horariamente es de interés para los involucrados directamente que son el operador y el auxiliar de operador, pero que también será consultada por el resto del personal técnico presente en la planta generadora.

A través del sistema de información operativa se podrá tener un acceso recurrente para la consulta de la información recolectada, por parte de cada una de las personas interesadas en conocerla. Esto a través de sus computadoras conectadas a la red Ethernet administrativa de la planta hidroeléctrica.

Ya no será necesario ir a sala de mando y solicitar los registros impresos que actualmente se llenan manualmente o bien solicitar una copia del archivo de hoja electrónica correspondiente al mes que interese. Incluso se podrá tener una vista de la información ingresada en la última hora en que el auxiliar de operador realiza su ronda de toma de datos.

Asimismo se contará con una herramienta de consulta electrónica de los eventos operativos ocurridos durante el turno, que hayan involucrado a alguna unidad generadora o equipo en general que se encuentre en la casa de

máquinas, subestación, presa y embalse. Esto eliminará la consulta poco eficiente de los registros manuscritos del libro de bitácora.

El acceso a la información operativa puede servir de soporte a los técnicos mecánicos o electricistas para la realización de las órdenes de trabajo que se ingresan en el sistema de gestión de mantenimiento, incluso realizando consultas históricas de los parámetros operativos, para confirmar los valores que dichos parámetros hayan alcanzado en las fechas de interés o de los eventos ocurridos que sirvan de antecedente a un evento reciente.

En la tabla XVII se muestra un resumen por tipo de parámetro de la unidad generadora y la relación de interés del personal de la planta hidroeléctrica. Asimismo en la tabla XVIII se muestra un resumen por tipo y ubicación de otros parámetros que se capturan en la planta y la relación de interés del personal de la misma. En lo que respecta a los eventos operativos, en la tabla XIX se pueden ver los tipos y sub tipos y su relación de interés del personal de la planta hidroeléctrica.

4.1.1. Análisis de información a través de reportes de supervisión

En lo que respecta al análisis de información, cobra importancia la generación de reportes diarios de supervisión que permiten conocer de forma general el estado de la planta y de las unidades generadoras.

El diseño del sistema contempla que estos reportes estén disponibles en el sistema de información operativa, de tal manera que el usuario defina la fecha del reporte y pueda visualizarlo en pantalla, para luego imprimirlo o trasladarlo a un formato de archivo definido.

Tabla XVII. Resumen de parámetros operativos por unidad y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica

Tipo de parámetro	A quién le interesa							
	Operador	Aux. de Operador	Electricista	Mecánico	Jefe Sala de mando	Ing. Supervisor	Sub. Jefe de planta	Jefe de planta
Eléctrico	X	X	X		X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	X	X	X	X	
Presión	X	X	X	X	X	X	X	
Caudal	X	X	X	X	X	X	X	
Otros	X	X		X	X	X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resumen de otros parámetros operativos capturados en la planta y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica**

Ubicación	Tipo de parámetro	A quién le interese							
		Operador	Aux. de Operador	Electricista	Mecánico	Jefe de sala de mando	Ing. Supervisor	Sub Jefe de planta	Jefe de planta
Planta	Varios	X	X	X	X	X	X	X	X
Transform. de bloque	Varios	X	X	X		X	X	X	
Líneas de transmisión	Eléctricos	X	X	X		X	X	X	
Servicios auxiliares	Eléctricos	X	X	X		X	X	X	
Banco de baterías	Eléctricos	X	X	X		X	X	X	
Generador Diésel	Eléctricos	X	X	X		X	X	X	
Embalse	Varios	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Tipos y sub tipos de eventos operativos y su relación de interés por parte del personal de la planta hidroeléctrica

Tipo de Evento	Sub tipo de Evento	A quién le sirve								
		Operador	Aux. de Operador	Electricista	Mecánico	Jefe Sala de mando	Ing. Supervisor	Sub Jefe de planta	Jefe de planta	
Operación	En línea	X	X			X		X	X	X
Operación	Oferta Disponible	X	X			X		X	X	X
Operación	Degradación	X	X	X	X			X	X	X
Operación	Consigna de carga	X	X			X		X	X	
Operación	Arranque fallido	X	X	X	X			X	X	X
Mantenimiento /salida forzada	Eléctrico	X	X	X		X		X	X	
Mantenimiento /salida forzada	Electrónico	X	X	X				X	X	
Mantenimiento /salida forzada	Mecánico	X	X		X			X	X	
Mantenimiento /salida forzada	Obra Civil	X	X					X	X	

Fuente: elaboración propia.

Los reportes diarios son de interés para todo el personal de la planta involucrado en la operación y presentan el total de energía generada, de acuerdo a las lecturas de los medidores eléctricos o de la carga horaria recolectada, así también los datos de la demanda máxima por unidad y datos hidrológicos relevantes. En la figura 32 se aprecian un ejemplo de reporte de generación diaria y en la figura 33 un ejemplo de reporte de carga horaria.

Figura 32. **Ejemplo de reporte de generación diaria.**

REPORTE DE GENERACIÓN DIARIA				
PLANTA HIDROELÉCTRICA AGUACAPA				
Fecha	26/05/2013			
Generación Bruta por unidad (MWh)				
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Total	
100.00	379.00	104.00	583.00	
Servicios Auxiliares planta (MWh)		Generación neta planta (MWh)		
4.50		578.50		
Nombre	Demanda Máxima			
	MW	Hora inicio	Hora fin	
Unidad 1	25	19:00	22:00	
Unidad 2	26	19:00	22:00	
Unidad 3	26	19:00	22:00	
Hidrología diaria				
Nombre	Cota inicial	Cota Máxima	Cota final	Caudal promedio
Embalse	697.74	699.01	696.70	6.33
Presa	700.52	700.74	700.53	
Desfogue	140.20	141.00	140.40	

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Ejemplo de reporte de carga horaria

HORA		Unidad 1		Unidad 2		Unidad 3		TOTAL		NIVELES (m.s.n.m.)			Caudal (m3/seg)		Temperaturas Generador (°C)					
		MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	Embalse	Desfogue	Embalse	Embalse	1	2	1	2	1	2	
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	697.74	140.20	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	698.13	140.20	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	698.45	140.20	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	698.75	140.30	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	699.08	140.30	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	699.35	140.30	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.52	699.67	140.30	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	699.65	140.60	7.50	0.00	0.00	58.00	52.00	0.00	0.00
09:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	699.45	140.95	7.50	0.00	0.00	58.00	54.00	0.00	0.00
10:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	699.27	141.00	7.50	0.00	0.00	59.00	56.00	0.00	0.00
11:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	699.09	141.00	7.50	0.00	0.00	60.00	56.00	0.00	0.00
12:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	698.92	141.00	7.50	0.00	0.00	60.00	57.00	0.00	0.00
13:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	698.74	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	57.00	0.00	0.00
14:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.52	698.56	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	57.00	0.00	0.00
15:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.58	698.50	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	57.00	0.00	0.00
16:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.58	698.46	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	58.00	0.00	0.00
17:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.66	698.55	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	58.00	0.00	0.00
18:00	0	0	25	5	0	0	0	25	5	0	700.74	698.83	141.00	7.50	0.00	0.00	61.00	58.00	0.00	0.00
19:00	25	0	26	5	25	0	0	76	5	0	700.76	699.01	140.85	7.40	53.00	60.00	61.00	58.00	49.00	56.00
20:00	25	0	26	5	25	0	0	76	5	0	700.78	698.40	140.70	3.00	58.00	65.00	61.00	58.00	53.00	59.00
21:00	25	0	26	5	25	0	0	76	5	0	700.78	697.82	140.50	2.70	59.00	68.00	61.00	58.00	55.00	61.00
22:00	25	0	26	5	25	0	0	76	5	0	700.78	696.95	140.50	2.40	60.00	69.00	61.00	58.00	55.00	62.00
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.54	696.40	140.50	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700.53	696.76	140.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia.

En la figura 33 se puede ver que el reporte entrega el valor del parámetro operativo solicitado por cada hora del día. Por lo anterior, aunado al valor de carga horaria y de datos hidrológicos se puede presentar el valor medido de otros parámetros de interés. En el ejemplo se han puesto los datos de temperatura del generador de cada unidad generadora, pero pueden sustituirse o bien agregarse otros parámetros que sirvan para el análisis del estado de la planta.

En lo que respecta al análisis de los eventos, se prevé que el sistema de información operativa entregue un reporte diario en donde se detallen los eventos importantes que hayan impactado en la operación de la planta, como pueden ser los eventos de indisponibilidad forzada o mantenimiento programado. Tanto para el análisis de información de los parámetros operativos como para los eventos, se prevé que el sistema pueda entregar reportes por rango de fecha, para analizar períodos más largos a un día, de ser necesario.

En el caso de los eventos puede ser necesario realizar una consulta para conocer los eventos operativos de mantenimiento o salida forzada que se hayan dado en una unidad generadora en un mes determinado, para efectos de contabilizar el tiempo en que la unidad estuvo en una condición indisponible, aunque este tipo de cálculos se realizarán en el sistema de información operativa, para determinar cada uno de los factores que determinan al indicador coeficiente de disponibilidad, como se verá más adelante. En la figura 34 se puede ver el ejemplo de un reporte diario de eventos, en el cual se han consignado aquellos que tuvieron impacto en la disponibilidad de las unidades generadoras de la planta, obviando entre otros, a los que contabilizan los tiempos de operación y las maniobras de cambio de consigna de carga, los cuales no se consideran relevantes para dicho reporte.

Figura 34. Ejemplo de un reporte diario de eventos

REPORTE DIARIO DE EVENTOS PLANTA HIDROELÉCTRICA JURÚN MARINALÁ									
Fecha		22/05/2016							
No	FECHA DE INICIO	HORA INICIO	FECHA FIN	HORA FIN	UNIDAD	TIPO DE EVENTO	AUTORIZACIÓN AMM	DESCRIPCIÓN	
1	25/04/2016	00:01	-----	-----	JURUN 1	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	AMM-ABR16-GEN262	Implementación de varios sistemas electrónicos de la unidad	
2	22/05/2016	06:04	22/05/2016	10:00	JURUN 2	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	AMM-MAY16-GEN264	Limpieza del pozo de agua de enfriamiento	
3	22/05/2016	06:04	22/05/2016	10:00	JURUN 3	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	AMM-MAY16-GEN264	Limpieza del pozo de agua de enfriamiento	
4	22/05/2016	10:00	22/05/2016	12:40	JURUN 2	SALIDA FORZADA		Unidad indisponible por exceder tiempo limite de mantenimiento programado.	
5	22/05/2016	10:00	22/05/2016	10:18	JURUN 3	SALIDA FORZADA		Unidad indisponible por exceder tiempo limite de mantenimiento programado.	

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Análisis de información a través de reportes gerenciales

Los reportes de información para los niveles gerenciales de una planta generadora hidroeléctrica, se relacionan con los indicadores de desempeño que fueron presentados en el capítulo anterior. En la tabla XX se presenta un resumen de indicadores y su relación de interés por parte de los niveles de supervisión y gerenciales.

Tabla XX. Indicadores de desempeño del sistema de información operativa

No	Indicador	Umbral			A quién le interesa		
		Bajo	medio	óptimo	Ing. Supervisor	Sub Jefe de Planta	Jefe de planta
1	Coefficiente de disponibilidad	Menor de 0.95	Entre 0.95 a 0.99	Mayor a 0.99	X	X	X
2	Índice de salidas forzadas	Mayor a 0.05	Entre 0.02 a 0.05	Entre 0.00 a 0.02	X	X	X
3	Número de arranques fallidos	Mayor a 2	2	1	X	X	X
4	Índice de mantenimientos	Menor a 0.95	Entre 0.95 a 1	Mayor a 1		X	X
5	Oferta firme disponible	Menor a $0.95 \cdot P_m$	Entre $0.95 \cdot P_m$ a $0.99 \cdot P_m$	Mayor a $0.99 \cdot P_m$		X	X
6	Índice de generación de energía	Menor a 0.90	Entre 0.90 a 0.95	Mayor a 0.95		X	X
7	Factor de planta	Menor a 0.30	Entre 0.3 a 0.5	Mayor a 0.5		X	X
8	Factor de carga	Menor a 0.50	Entre 0.5 a 0.7	Mayor a 0.7		X	X

Fuente: elaboración propia.

Como se vio en los casos de uso, los niveles gerenciales de la planta hidroeléctrica ejecutarán el proceso de cálculo de los indicadores, los cuales quedarán almacenados históricamente en la base de datos del sistema. Al requerir un reporte de indicadores, se presentarán los mismos de acuerdo a su

frecuencia de cálculo, con lo cual se podrá hacer la relación histórica de su magnitud en un determinado período de tiempo.

Los indicadores se presentarán por planta y podrán ser desagregados en sus valores por unidad. El valor del indicador por planta en algunos casos será el promedio de los valores obtenidos por unidad y en otros la suma de los valores por unidad. En la figura 35 se puede ver un ejemplo de reporte gerencial del indicador coeficiente de disponibilidad.

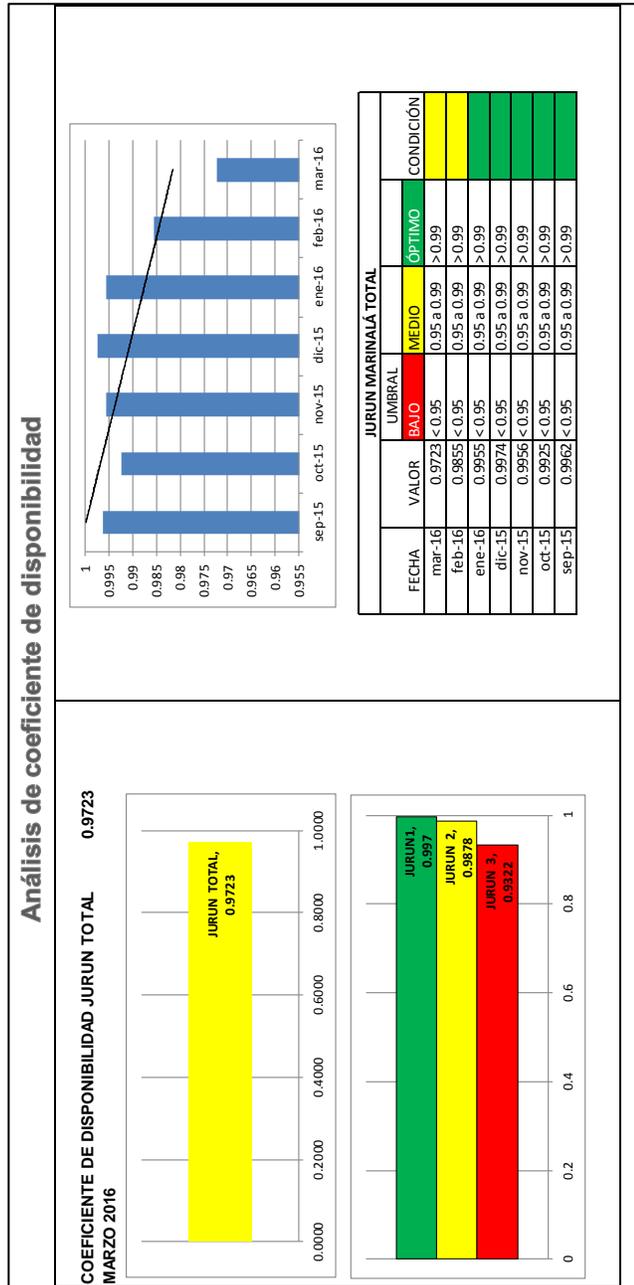
4.2. Normalización y ordenamiento de la información operativa

La información operativa de las plantas hidroeléctricas que sirvieron de modelo para el diseño del sistema, actualmente se encuentra disponible en formatos impresos u hojas electrónicas en donde no es posible relacionar sus valores con la condición de las unidades generadoras o de la planta en su conjunto.

El diseño que se propuso para el sistema de información, relaciona tanto la información de parámetros operativos como la información de los eventos operativos que suceden y que afectan la disponibilidad de las unidades y por ende de la planta hidroeléctrica.

Para normalizar la información, en el modelo de datos se crearon las entidades planta y unidad, así como la entidad capacidad, debido a que el Mercado Mayorista de Electricidad realiza periódicamente una comprobación de la capacidad de la planta, a través de una prueba, por lo que dependiendo del resultado de la misma puede variar la capacidad y es necesario almacenar los diferentes valores obtenidos a lo largo del tiempo de operación de la planta.

Figura 35. Ejemplo de reporte gerencial de indicadores



Fuente: elaboración propia.

La información operativa se guardará en la entidad parámetro operativo. Aquí destaca el hecho de que se almacenarán los registros históricos de la generación de la planta, según los medidores instalados. Se tendrán los registros de generación por unidad, los cuales sumados dan la generación bruta de la planta, el registro del consumo de los servicios auxiliares y el registro de la generación neta de la planta, que es la generación bruta menos los servicios auxiliares.

Estos registros serán de utilidad para el cálculo de los indicadores definidos, cuyas variables temporales serán almacenadas en la entidad componente indicador, la cual está relacionada con la entidad parámetro operativo.

La información de los eventos operativos se guardará en la entidad evento, la cual se relaciona con la entidad componente unidad. El valor de la suma de la duración de los eventos operativos, de acuerdo a la clasificación del Mercado Mayorista, se guardará en la entidad componente unidad, que a su vez se relaciona con la entidad componente indicador.

4.3. Análisis de datos y cálculo de indicadores

El sistema de información operativa será una herramienta de utilidad para el cálculo de los indicadores de la planta. La información ingresada en las tablas de la base de datos propuesta servirá para realizar esta tarea. En la tabla XXI por ejemplo, se presentan algunos valores de la cuantificación de las horas de los eventos, para el cálculo del indicador coeficiente de disponibilidad.

Tabla XXI. **Valores típicos de las horas de duración de eventos, para el cálculo del coeficiente de disponibilidad**

UNIDAD	HD	HMP	HIF	HED	CoefDisp
JURUN1	645.80	95.98	2.22	0	0.9970
JURUN2	430.45	312.00	1.55	0	0.9979
JURUN3	166.02	527.53	50.45	0	0.9322
TOTAL					0.9757

Fuente: elaboración propia.

Puede verse entonces que el diseño del sistema considera la relación entre las entidades de acuerdo a las reglas del negocio. Las entidades componente unidad y componente indicador se relacionan para proporcionar la información necesaria para el cálculo de los indicadores.

Tomando como ejemplo los indicadores de factor de planta y factor de carga se puede ver que existe una relación entre la cuantificación de las horas de operación de la planta cuyos datos se encuentran en la entidad componente unidad, el valor de la energía generada que se encuentra en la entidad parámetro operativo y la capacidad de la planta cuyo valor reside en la entidad capacidad. En la tabla XXII se muestra un ejemplo de cálculo de los factores mencionados.

Otro ejemplo sobre la utilización de la información para el cálculo de indicadores definidos y que se relaciona con las clasificaciones de la información dadas por el Mercado Mayorista, es el cálculo de la oferta firme disponible. En este caso, la información de las cargas horarias de potencia activa se guardará en la tabla parámetro operativo, mientras que el valor actualizado de la capacidad de cada unidad y por ende, de la planta, se guarda en la entidad capacidad. El cálculo de este indicador es diario y en la tabla XXIII se muestra un ejemplo del mismo.

Tabla XXII. Ejemplo de cálculo mensual de indicadores utilizando datos de parámetros operativos, capacidades y eventos de unidad.

UNIDAD	HOP	HES	HMP	HIF	TOTAL	Pmax (MW)	Energía Generada (MWh)	Factor de planta	Factor de carga
JURUN1	474.42	171.38	95.98	2.22	744	20	7,000	0.4704	0.7377
JURUN2	359.38	71.07	312.00	1.55	744	20	5,320	0.3575	0.7402
JURUN3	122.69	43.33	527.53	50.45	744	20	1,795	0.1206	0.7315
TOTAL								0.3162	0.7365

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Ejemplo de cálculo diario del indicador oferta firme disponible

NOMBRE	CARGA HORARIA EN DEMANDA MÁXIMA				Pmax (MW)	Dd	Oferta Firme Disponible (MW)
	18:00	19:00	20:00	21:00			
JURUN1	0	20	20	20	20	0.75	15
JURUN2	20	20	20	20	20	1.00	20
JURUN3	0	0	20	20	20	0.50	10
TOTAL							45

Fuente: elaboración propia.

Otros indicadores relacionados con la información del Mercado Mayorista son el índice de mantenimientos y el índice de generación de energía. El índice de mantenimientos relaciona el tiempo programado por el Mercado Mayorista para llevar a cabo un mantenimiento, versus el tiempo en que realmente se ejecutó dicho mantenimiento. Para llevar un control de los tiempos programados de mantenimiento en el modelo de datos, se creó la instancia evento programado, la cual guarda los datos de programación de mantenimientos proveniente de AMM. Por otro lado, en la tabla parámetros operativos se guardará la información de la potencia activa programada por el mercado mayorista, para ser generada por una planta, la cual se comparará con la

energía real generada, dando como resultado el índice de generación de energía.

En la tabla XXIV se puede ver el ejemplo sencillo de un cálculo de índice de mantenimiento, relacionado a los eventos de mantenimiento programado que aparecen en la figura 34. Asimismo en la tabla XXV se puede ver un ejemplo sencillo de cálculo del índice de generación de energía.

Tabla XXIV. Ejemplo de cálculo del índice de mantenimiento

Nombre	Descripción del mantenimiento	Tiempo programado mantenimiento	Tiempo real de mantenimiento	Índice de mantenimiento
Jurun2	Limpieza de pozo de agua de enfriamiento	04 horas	06 horas 40 minutos	0.6006
Jurun3	Limpieza de pozo de agua de enfriamiento	04 horas	04 horas 18 minutos	0.9303
TOTAL				0.7654

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Ejemplo de cálculo de índice de generación de energía

Nombre	Energía mensual programada (MWh)	Energía mensual generada (MWh)	Índice de generación de energía
Jurún Marinalá	15,400	14,880	0.9662

Fuente: elaboración propia.

4.4. Diseño de la herramienta de análisis de la información histórica

La información histórica del sistema residirá en una base de datos analítica cuyo modelo multidimensional se presentó en el capítulo anterior.

Mediante un proceso de extracción, transformación y carga (ETL) desde la base de datos relacional se construirá un *Data Warehouse* cuya tabla de hechos contendrá los valores numéricos de los parámetros operativos y las tablas dimensionales de parámetro, fecha, hora, planta y evento.

La base de datos analítica constituirá un valor agregado para el análisis de información, ya que permitirá realizar el análisis del comportamiento de diferentes parámetros operativos ante la ocurrencia de un evento en determinada unidad generadora o bien en diferentes fechas y horas.

Relacionar los eventos con los parámetros operativos permitirá esclarecer de mejor forma las causas de salidas forzadas. Asimismo, al establecer que bajo determinados valores de parámetros operativos (presión, temperatura, caudal, entre otros) se producen fallas, se podrá realizar análisis históricos de condiciones operativas que contribuyan a la mejora de los indicadores de desempeño de la planta.

4.5. Impacto social del sistema propuesto

El impacto social del sistema de información operativa se centra en el cambio que se producirá en la forma tradicional de ingresar, consultar y analizar la información por parte del personal de la planta hidroeléctrica.

En plantas como las que se tomaron en cuenta como modelo para la propuesta del diseño del sistema de información, existe una forma de trabajo que viene desde que dichas plantas iniciaron operaciones, décadas atrás. Los formatos impresos para el ingreso de información son grandes matrices donde el operador y el auxiliar de operador ingresan la información manualmente. En el momento de poner en servicio el nuevo sistema, el operador tendrá que

cambiar la forma en que ingresa la información y adaptarse a la tecnología. El ingreso de los eventos en bitácora será uno de los cambios más importantes, ya que se dejará de llenar el tradicional libro de actas, foliado, para utilizar una interface de ingreso de eventos, con un formato estructurado, en donde el único parámetro libre para el ingreso será el de la descripción del evento.

En tal sentido, al momento de construir el sistema de información operativa, deberá tomarse en cuenta que debe tener una interfaz de usuario amigable, que permita que el operador y el auxiliar quieran cambiar el método tradicional de ingreso de datos, incluyendo la utilización de hojas electrónicas.

A nivel de supervisión el impacto principal será tener acceso a la información desde la misma computadora o terminal de usuario que esté conectada a la red administrativa de la planta, lo que hace más probable que el ingeniero supervisor, sub jefe o jefe de planta adviertan algún problema operativo que se produzca en la planta.

Los técnicos mecánicos y electricistas también podrán tener acceso al sistema y como se indicó anteriormente, contarán con una fuente de información para soportar la realización de órdenes de trabajo para realizar intervenciones en el equipo, lo cual fortalecerá el vínculo de trabajo con el personal de operación.

4.6. Impacto económico del sistema propuesto

Aunque el diseño del sistema de información operativa se propuso con el objeto de contar con una herramienta de ingreso, consulta y análisis, su implementación conlleva una mejora en la toma de decisiones a todos los niveles de usuario, lo cual se constituirá en mejoras al proceso de operación y

con ello en un incremento en los ingresos del negocio de venta de energía y potencia.

A nivel de operación, contar con una herramienta de ingreso y consulta de la información, que integre los valores de los principales parámetros de operación, con los eventos operativos ocurridos en el turno, brinda un panorama mayor al que se tiene actualmente, incluso en las plantas que cuentan con un sistema SCADA. De esta forma un operador puede comprender las consecuencias de acciones operativas que conlleven que la unidad quede en una condición de degradación o que salga fuera de línea sin haber sido programada para mantenimiento, decidiendo si es factible, posponer tales acciones. El criterio del operador se incrementará y podrá comprender de mejor forma la lógica del negocio, interactuando de mejor manera con los niveles superiores de operación como el Centro de Control de Generación y el Centro de Despacho del Mercado Mayorista.

A nivel de supervisión, la consulta y el análisis de información igualmente se incrementa, pudiendo un ingeniero supervisor decidir de mejor forma sobre las intervenciones del equipo o en su lugar mantener solo un monitoreo sobre ciertos parámetros que estén marcando una tendencia a salir de los límites permitidos, hasta que se pueda programar un mantenimiento, lo cual incrementa las horas de operación de las unidades y por ende la oferta de potencia y energía. Los técnicos mecánicos y electricistas también se beneficiarán, al contar con información más accesible a la que pueden obtener del sistema SCADA, lo cual les permitirá definir de mejor forma sus cronogramas y órdenes de trabajo.

Si se toma como ejemplo una unidad generadora de 20 MW que comienza a presentar calentamiento en el generador eléctrico y está generando a la hora

de máxima demanda de energía, el ingeniero supervisor podría decidir que dicha unidad deje de generar para revisar porque se produce el calentamiento. No obstante, al contar con el sistema de información operativa podría revisar su registro histórico de temperaturas en el mismo día, semana o mes de años anteriores y descubrir que este comportamiento ya se ha repetido y que no se ha producido un evento de salida forzada, por lo que podría decidir revisar la máquina en horas posteriores o bien solo reducir la generación a un nivel en donde el calentamiento se revierta.

Considerando el costo de compra en el mercado de potencia, que según la Norma de Coordinación comercial del AMM es de 8.9 US\$/KW-mes, la decisión de no sacar la unidad en las horas de demanda máxima tendría un ahorro para la planta hidroeléctrica de:

$$20,000 \text{ KW} \times 8.9\$/\text{KW-mes} \times 1 \text{ mes}/30 \text{ días} = 5,933.33 \text{ US\$}$$

Si la decisión fuera de no sacar la unidad pero reducir generación a 10 MW el ahorro para la hidroeléctrica sería de:

$$10,000 \text{ KW} \times 8.9\$/\text{KW-mes} \times 1 \text{ mes}/30 \text{ días} = 2,966.67 \text{ US\$}$$

A nivel gerencial el beneficio económico se centra en la toma de decisiones para la mejora de los indicadores de desempeño que fueron definidos y que impactan directamente sobre la oferta de energía y potencia que la planta hidroeléctrica pone en el Mercado Mayorista. La mejora por ejemplo del coeficiente de disponibilidad impactará sobre la oferta de potencia que la planta generadora hidroeléctrica podrá comprometer en contratos a largo plazo con un cliente.

Se tomó como ejemplo que debido a la mejora en la toma de decisiones para la ejecución de mantenimientos, reducción de horas de degradación y reducción de horas de salida forzada, al contar con el sistema de información operativa, se obtenga una mejora del coeficiente de disponibilidad de 0.95 a 0.99 en una planta generadora de 90 MW, la oferta de potencia de dicha planta subiría de $90 \times 0.95 = 85.5$ MW a $90 \times 0.99 = 89.1$ MW, es decir 3.6 MW más de potencia.

Los 3.6 MW de potencia significan un ingreso adicional de:

$3,600 \text{ kW} \times 8.9 \text{ US\$/kW-mes} \times 1 \text{ mes}/30 \text{ días} = \text{US\$ } 1,068$ diarios.

En cuanto a la energía, el ingreso adicional por día considerando una generación a plena carga de 4 horas y un precio de la energía en el mercado de oportunidad de 50 US\$/MWh sería de:

$3.6 \text{ MW} \times 4 \text{ horas} * 50 \text{ US\$/MWh} = \text{US\$ } 720$ diarios.

El incremento total en los ingresos diarios sería de US\$ 1,788.00 y el incremento total de los ingresos mensuales sería de US\$ 53,640.00.

Por otra parte, el costo de implementación del sistema de información operativa debe considerar el servicio de consultoría de al menos 3 meses de duración y los costos de licencia del software transaccional propuesto. Asimismo, el costo de la licencia del software analítico Microstrategy. También se tendrán anualmente costos de mantenimiento de las licencias de software.

En la tabla XXVI se presentan los costos del sistema de información operativa, los cuales se proponen de acuerdo a los precios de mercado de licencias y mantenimiento de software y de los servicios de implementación.

Tabla XXVI. **Costos del sistema de información operativa**

Item	Costo	Costo total
Servicio de consultoría (3 meses)	40 US\$/hora	US\$ 19,200.00
Licencia de software transaccional (10 usuarios)	1,000 US\$/usuario	US\$ 10,000.00
Licencia de software analítico Microstrategy (10 usuarios)	1,200 US\$/usuario	US\$ 12,000.00
Costo inicial del sistema		US\$ 41,200.00
Costo anual de mantenimiento software transaccional	20% del valor inicial	US\$ 2,000.00
Costo anual de mantenimiento software analítico Microstrategy	20% del valor inicial	US\$ 2,400.00
Costo anual del sistema a partir del Segundo año		US\$ 4,800.00

Fuente: elaboración propia.

4.7. Impacto tecnológico del tema propuesto

El impacto tecnológico del sistema de información propuesto se podrá ver en el cambio del método de ingreso de la información que es recolectada cada hora, por el operador y el ayudante de operador, ya que se cambiará de una recolección manual en formatos impresos y una posterior transcripción a hojas electrónicas, a un ingreso directo de la información al sistema, incluso por parte de los auxiliares de operador, en sus rondas de toma de datos, utilizando una *Tablet* o *Smart Phone* conectada de forma inalámbrica a la red *Ethernet* de la planta. Esto asegurará por ejemplo, que el operador no ingrese datos que estén fuera del rango mínimo y máximo definido para cada uno de los parámetros operativos, ya que el sistema podrá darle la alerta respectiva.

En la consulta de los datos podrá verse también el impacto tecnológico, ya que la información estará disponible para cualquier usuario conectado a la red, que esté dado de alta en el sistema. Al ser una aplicación de base de datos que no involucra riesgos en su acceso, como si ocurre en el sistema SCADA, habrá más libertad de acceder a la información.

La posibilidad de la migración de datos de SCADA al sistema de información operativa, será también de gran impacto, ya que se podrá hacer la comparación con la información recolectada manualmente y con los eventos operativos e indicadores definidos según las clasificaciones del Mercado mayorista, acercándose la solución a lo que se ha conocido comercialmente como un software Integrador de planta.

El impacto tecnológico se verá igualmente en la implementación de los recursos de hardware y software que son necesarios para el funcionamiento del sistema dentro de la planta generadora, ya que al menos en las plantas tomadas como ejemplo, los sistemas de información de gestión de mantenimiento y sistemas de información contables, tienen sus servidores en la ciudad capital y no residen localmente. En lo que respecta a la red *Ethernet* y a la red inalámbrica a implementar también se verá el impacto tecnológico, ya que será necesaria la adquisición y puesta en operación de los equipos de comunicación.

4.8. Derechos de propiedad intelectual

En cuanto a los derechos de propiedad intelectual producto de la realización de este trabajo de graduación, por tratarse de un diseño en el cual se hacen públicos los modelos propuestos, se ceden tales derechos a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CONCLUSIONES

1. Se realizó el diseño de una herramienta de ingreso, consulta y análisis de los parámetros operativos medidos manualmente en una planta hidroeléctrica, tomando como base las entrevistas realizadas con el personal de operación en las cuatro plantas generadoras del Instituto Nacional de Electrificación, así como la revisión de la información de parámetros operativos y eventos. Para ello, se realizó el modelado de casos de uso y los diagramas de clases, de secuencia y de componentes del sistema. Asimismo, se definió la arquitectura de red necesaria y los recursos de hardware y software para la implementación del sistema, incluyendo la migración de datos provenientes del sistema SCADA.
2. Se normalizó y ordenó la información operativa que se genera en una planta hidroeléctrica para su debida consulta y análisis. Para ello, se elaboró un modelo de datos en el cual se definieron las entidades donde se almacenarán los parámetros operativos medidos manualmente en la planta hidroeléctrica, la capacidad de las unidades, los eventos operativos y la suma de la duración de los eventos operativos de acuerdo a la clasificación del Mercado Mayorista, los cuales sirven para el cálculo de indicadores como el coeficiente de disponibilidad.
3. El diseño del sistema de información operativa que se propuso, considera la utilización de los datos históricos de eventos para el cálculo de los indicadores del Mercado Mayorista y otros indicadores internos. Por otra parte, se realizó el diseño de un modelo de datos dinámico para la implementación de un *Data Warehouse* que contenga toda la

información de parámetros operativos, la cual podrá ser consultada de acuerdo a las dimensiones definidas de fecha, hora, evento y parámetro operativo.

RECOMENDACIONES

1. Se considera que las cuatro plantas generadoras hidroeléctricas que se tomaron de base para el diseño del sistema de información operativa, son representativas de las tecnologías de generación hidroeléctrica presentes en Guatemala. No obstante, una futura investigación puede expandir el diseño del sistema a otro tipo de plantas que utilizan energía renovable como las plantas eólicas y solares, que tienen ciertas particularidades en su oferta de energía y potencia en el Mercado Mayorista.
2. La institución a la que pertenecen las plantas generadoras hidroeléctricas que se tomaron como modelo para realizar el diseño del sistema de información operativa, puede llevar a cabo la construcción del mismo y su implementación, aprovechando que ya existe la infraestructura de red y licencias de bases de datos necesarias. Los equipos para la implementación de la red inalámbrica y los dos servidores para aplicaciones y bases de datos si deben implementarse, pues actualmente las plantas no cuentan con los mismos.
3. En las plantas generadoras hidroeléctricas y en general en cualquier planta generadora de electricidad, existen diferentes sistemas de información de acuerdo a las áreas de trabajo. Es posible que exista la necesidad de relacionar información de los diferentes sistemas de la planta, sean operativos, de mantenimiento, contables, de nómina, entre otros, por lo que se puede proponer el diseño e implementación de una base de datos analítica que integre información de todos estos sistemas,

para la realización de reportes gerenciales de análisis interno, para la mejora de la administración de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abdelay, S. Om, M. (2011) *Electric Distribution Systems*. Wiley –IEEE press. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5733135&queryText=SCADA%20systems&refinements=4291944823>.
2. Al-Alí, A. Aji, Y. Othman, H & Fakhreddin, F. (2005). *Wireless Smart Sensors Network Overview*. Trabajo presentado en la segunda conferencia internacional IFIP de comunicaciones inalámbricas y ópticas. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=Wireless%20Smart%20Sensors%20Networks%20Overview>.
3. Amendola, L. (2004) *Balanced Scorecard en la Gestión del Mantenimiento*. Universidad Politécnica de Valencia. España. Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Amendola1.pdf>.
4. Britos, P. (2008) *Procesos de explotación de información basados en sistemas inteligentes*. Tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1519>.

5. Chen, J. Su, G. & Zhao Q. (2012). *Study of Emergency Management Information System for Hydropower Project*. Trabajo presentado en el tercer congreso mundial de ingeniería del software. Wuhan, China. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6394953&newsearch=true&queryText=Study%20of%20Emergency%20Management%20Information%20System%20for%20Hydropower%20Project.%20Universidad%20de%20Beijing%20China>.
6. Comisión Nacional de Electrificación. (2002) *Informe de gestión 1997-2002*. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/memo/informe-labores97-2002.pdf>.
7. Eckerson, W. (2007). *Predictive Analytics*. TDWI Best Practices Report First Quarter. Recuperado de https://www.sas.com/events/cm/174390/assets/102892_0107.pdf.
8. Feblowitz, J. (2012). *Unleashing the Power of Big Data and Analytics for the Utility Industry*. IDC Energy Insights. Recuperado de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXmYmInZGF0YXxneDo2NTNmOTI1YWUzYTA0NDI3>.
9. Gutiérrez, A & Marota, A. (2000). *An overview of Data Warehouse Design Approaches and Techniques*. Instituto de computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Recuperado de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/handle/123456789/3546>.

10. López, J. (2002). *Análisis e Implantación de un Sistema Integral de Gestión de Información de Plantas Eléctricas en la Empresa ENELVEN Generadora (ENELGEN)*. Tesis de Post Grado en Computación. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Venezuela. Recuperado de http://tesis.ula.ve/postgrado/tde_arquivos/8/TDE-2005-06-14T07:57:08Z-13/Publico/Juan_LopezTesis.pdf.
11. Mini, T. Debajit, N & Iqbal, A. (2006). *Development of a Data Warehouse for Non-operational Data in Power Utilities*. Trabajo presentado en la Conferencia de Potencia de India. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?&arnumber=1632499>.
12. Moine, J. Haedo, A & Gordillo, S. (2011) Estudio comparativo de metodologías para minería de datos. Universidad Tecnológica Nacional, Rosario. Argentina. Recuperado de [10.http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4142](http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4142).
13. Pretlove, J. Skourup, C. (2007). El factor humano en el proceso. *Revista ABB Review, 1-2007*. Recuperado de https://library.e.abb.com/public/a76f155875c71d82c125728b00482701/Revista_1_07_SPA72dpi.pdf.
14. Puenayán, A. Aynaguano, D. (2011). *Estudio comparativo de ETLs propietario vrs Software libre para la implementación de una solución Bussiness Intelligence*. Tesis de grado en Ingeniería de Sistemas Informáticos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

15. Rincón, R. (1998). Los Indicadores de Gestión Organizacional: Una guía para su definición. Universidad EAFIT, Medellín. Colombia. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1104>.
16. Rojas, P. (2009). *Estudio Comparativo de Bases de Datos Analíticas*. Tesis de Master en Tecnologías de la Información. Facultad de Informática de Barcelona-UPC. España.
17. Ruiz, L. Cortés, D. Chávez, F. (2007). Sistema de Información de los equipos instalados en un sistema eléctrico típico de potencia: SGBD y su aplicación en la industria petrolera. *Boletín IIE, enero-marzo 2007*. Recuperado de <http://www.iie.org.mx/boletin012007/apli.pdf>.
18. Saravia, E. Ruiz, M & Calmet, R. (2013). Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología bluetooth. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Marcos, Perú*. 16 (1). 134-143. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469016>.
19. Vilorio, C. Cardona, J & Lozano, C. (2009) Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de tele medicina. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*. 25 (Enero-junio 2009). 200-217. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/1584>.
20. Zeyu, J. Shim, S. Su, X & Mei, H. (2006). *Wireless-Based Software Systems and Applications*. Boston: Artech House.