



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación del desempeño del personal de  
turnos del Centro Nacional de Control de  
Energía por métodos estadísticos.**

TESINA

TITULACIÓN POR SERVICIO SOCIAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**CARLOS ROGELIO MORONES HERNÁNDEZ**

ASESOR:

ING. CARLOS FERNÁNDEZ FIOLE

CIUDAD UNIVERSITARIA

MAYO 2015



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por la hermosa familia que me dio, por haberme regalado tantas bendiciones, por guiarme a través del camino correcto y por ayudarme a sortear las dificultades.

A mi padre Rogelio, por brindarme todo su apoyo en cada momento de mi vida, por sus grandes consejos, por ser ejemplo de fortaleza y determinación, así como por enseñarme a poner todo mi empeño en cualquier tarea que realice.

A mi madre Rocío, por guiarme y formarme con su ejemplo excepcional, por brindarme su apoyo y amor en todo momento. Es una verdadera dicha ser hijo de un ser humano de tanta calidad como mi madre.

A mi hermano Fernando, por recordarme siempre que la perseverancia y la disciplina son unas de las mejores cualidades con las que una persona puede contar para lograr su superación personal y profesional.

A mi hermano Francisco, por compartir conmigo gratos y valiosos momentos en nuestros pasatiempos afines y por ayudarme a fortalecer mi humanidad.

A mi tía Eva que en paz descansa, de quien aprendí invaluable lecciones de vida, gracias a sus consejos y su ejemplo excepcional como una persona bella y maravillosa.

A mi abuela Ricarda, quien con su singular ejemplo me enseñó a ser una persona fuerte y que se entrega totalmente a la familia.

A mi abuela Chayito, quien nos brindó apoyo incondicional a mis padres, hermanos y a mí. Le agradezco también la lección de salir adelante con la familia y darlo todo por ella.

Al Ingeniero Gabriel García Rojas, quien me brindó su tiempo, atención y paciencia, así como por el gran conocimiento y los consejos que me proporcionó.

Al Ingeniero Carlos Fernández, por su tiempo, apoyo y porque es un honor contar con un asesor con tal experiencia y trayectoria en la Comisión Federal de Electricidad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por todo el conocimiento que me dieron. A sus académicos y administrativos por la atención y la inmensa enseñanza que adquirí. Gracias, máxima casa de estudios, porque hoy soy una persona exitosa, soy universitario y próximo Ingeniero UNAM.

## Tabla de contenido

Introducción.....	1
Hipótesis.....	2
Objetivo General.....	3
Objetivo secundario.....	3
Metodología.....	3
CAPÍTULO 1. Fundamentos de corriente alterna.....	5
1.1 Frecuencia.....	5
1.1.1 Desviación Estándar.....	5
1.2 Potencia aparente.....	7
1.3 Balance de Potencia.....	8
1.3.1 Balance de Potencia Activa y su efecto en la frecuencia del sistema.....	8
1.4 Regulación Primaria.....	10
1.4.1 Máquina libre o suelta.....	11
1.4.2 Máquina limitada.....	11
1.4.3 Máquina en banda muerta.....	12
1.4.4 Máquina amarrada.....	13
CAPÍTULO 2. Acciones para la mejora del servicio eléctrico nacional.....	14
2.1 Medidas para incrementar el aporte de Regulación Primaria.....	14
2.2 Modernización de Sistemas de Control en Centrales Termoeléctricas.....	14
2.2.1 Centrales modernizadas.....	15
2.2.2 Ventajas de los Sistemas Modernos.....	16
2.2.3 Control Coordinado Avanzado de Unidad.....	16
2.2.4 Resultados de la Modernización.....	17
CAPÍTULO 3. Psicología social.....	20
3.1 Pereza Social.....	20
3.2 Facilitación Social.....	21
CAPÍTULO 4. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).....	22
4.1 Objetivos básicos de la Operación del Sistema Eléctrico.....	23
CAPÍTULO 5. Resultados.....	25
5.1 Capacitación.....	25

5.2	Enero de 2014. ....	32
5.3	Febrero de 2014. ....	39
5.4	Marzo de 2014. ....	43
5.5	Abril de 2014. ....	47
5.6	Mayo de 2014. ....	52
5.7	Junio de 2014. ....	56
5.8	Análisis de Resultados. ....	60
5.8.1	Análisis económico. ....	63
	Conclusiones. ....	65
	Referencias. ....	66

## Introducción.

Una de las metas primordiales del Centro Nacional de Control de Energía es mantener la frecuencia en 60 Hertz<sup>1</sup>, ya que de esta forma se establece el equilibrio generación-demanda, lo que quiere decir que se genera la misma cantidad de energía que se está consumiendo. Si este balance se inclina del lado de la producción o del consumo, desvía la frecuencia del sistema eléctrico de 60 Hz y pueden existir pérdidas significativas de energía e incluso pueden llegar a colapsar partes del sistema si el desbalance es muy grande.

En años previos al 2007, la dispersión de los valores de frecuencia del país era significativamente mayor a la que existe hoy en día. Esto se debía a diversos factores, tal como la operación de un gran número de unidades generadoras de energía en condiciones de regulación en banda muerta e incluso, muchas no regulaban en lo absoluto. Esta problemática se resolvió mediante una iniciativa conjunta de las dos áreas involucradas en la regulación de la frecuencia del sistema, CENACE<sup>2</sup> quien supervisa el comportamiento global de la red eléctrica y Generación, que es la responsable del comportamiento de cada unidad generadora conectada al sistema, que además es el único punto donde es posible regular frecuencia. La estrategia fue sensibilizar tanto a los operadores de las plantas del país para que sus unidades participaran siempre en la regulación, como a los operadores del CENACE para que la supervisión de la variable fuera siempre eficaz y las acciones de corrección se tomaran de manera preventiva. Adicionalmente se corrigió en varias unidades el ajuste de la banda muerta de regulación, dejando en cero este ajuste, lo que garantiza la regulación inmediata a partir de la mínima desviación de los 60 Hz. Con ello, y la inversión para modernizar infraestructura y tecnología para diversas plantas de energía eléctrica del país, la calidad y seguridad de la energía mejoraron a gran escala. Una herramienta que permitió visualizar esta mejoría fue la desviación estándar de frecuencia, y, aproximadamente desde el año de 2008, esta disminuyó de manera continua hasta mediados del 2009 en donde se detuvo y se observó numéricamente el resultado de esta serie de acciones. A partir de entonces y hasta finales del 2013 (a pesar de ciertos altibajos de desviación estándar) no se ha logrado volver a disminuir este promedio de error en los valores de frecuencia e incluso puede que sea físicamente imposible hacerlo. Sin embargo, la misión de mantener la integridad del Sistema Eléctrico Nacional continúa y es necesario implementar métodos para verificar que se le proporciona calidad y seguridad a la energía eléctrica del país.

El Centro Nacional de Control de Energía opera las 24 horas bajo un esquema de turnos: mañana, tarde y noche. Se observó mediante estadística que la desviación estándar de frecuencia para cada turno era diferente y que además los valores de desviación, bajos o

---

<sup>1</sup> Hertz. Unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades (símbolo **Hz**).

<sup>2</sup> CENACE. Siglas del Centro Nacional de Control de Energía.

altos, se asociaban directamente a determinados operadores. Esto sugiere que el rendimiento del personal de turnos del CENACE no es uniforme y es posible que exista un escalonamiento en cuanto a su desempeño.

Si el desempeño de un operador no es el adecuado, es decir, no lleva a cabo las maniobras requeridas o las realizadas resultan inadecuadas, la estabilidad del sistema se puede afectar directamente, de igual manera que no se alcanzarán los objetivos de seguridad, calidad y economía de operación del Sistema Eléctrico Nacional. Por ello, resulta crucial que la productividad de cada operador sea la óptima.

En el presente trabajo de investigación me enfoco en la identificación de debilidades del personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía por medio de la elaboración de estadística diaria de Frecuencia y flujos de potencia activa en las compuertas críticas del Sistema Interconectado Nacional. Planteado lo anterior, surgen las siguientes interrogantes: ¿Existirán debilidades en el personal de turnos del CENACE? En caso afirmativo, ¿cuáles son esas debilidades y de qué manera se identificarán? ¿Qué solución se aplicará para intentar solventar estas debilidades? ¿Resultará viable realizar estadística de frecuencia y flujos de potencia activa diariamente? ¿En qué beneficiará estas actividades al Centro Nacional de Control de Energía y a la Comisión Federal de Electricidad?

### **Hipótesis.**

Un método para verificar que se le proporciona calidad y seguridad a la energía eléctrica del país es por medio de la supervisión del personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía, en quienes reside gran parte de la responsabilidad de mantener la estabilidad del Sistema Eléctrico Nacional y de proporcionar un óptimo Nivel de Seguridad.

En su labor de Control de Frecuencia, los operadores (personal de turnos del CENACE) deben tomar en consideración un elevado número de variables y con ellas elegir la maniobra o maniobras más adecuadas. Puede darse el caso en el que un operador no cuente con la experiencia requerida para solucionar un evento con determinadas variables mediante las maniobras óptimas que mantengan la seguridad, calidad y economía de la energía.

Por otro lado, en el aspecto psicológico, diversas investigaciones se han realizado para demostrar que el desempeño de una persona en un grupo de trabajo se ve afectado bajo ciertas condiciones. El efecto de Ringelmann dice que, en grupos de personas, la productividad de cada individuo disminuye en relación al tamaño del grupo. La teoría de la Facilitación Social afirma que las personas incrementan su productividad en tareas bien aprendidas cuando son observadas o monitoreadas. Puede ser que alguna de estas teorías (o ambas) esté relacionada con el posible escalonamiento del rendimiento del personal de turnos.

## Objetivo General.

Contribuir a mantener la integridad del Sistema Eléctrico Nacional por medio de la evaluación del personal del Departamento de Operación y Despacho en Tiempo Real, en su labor de Control de Frecuencia y cuidado de las compuertas críticas de flujos de potencia activa del Sistema Interconectado Nacional.

## Objetivo secundario.

Buscar la mejora continua en la calidad y seguridad del servicio de energía eléctrica.

## Metodología.

El presente trabajo de investigación se basa en la evaluación del personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía. Esta evaluación se realizó mediante estadística diaria de frecuencia, flujos de potencia activa en las compuertas críticas del Sistema Eléctrico Nacional, Reserva Secundaria<sup>3</sup> y Error de Tiempo<sup>4</sup>. Respecto a la estadística de frecuencia, se obtuvieron los valores de frecuencia almacenados en el servidor del CENACE cada 2 segundos, con lo que se obtiene un total de 43200 valores de frecuencia por día a los cuales se calcula su desviación estándar. De igual manera se calcula la desviación estándar para cada turno (07:00 a 15:00 hrs. para la mañana, 15:00 a 22:00 hrs. para la tarde y de 22:00 a 07:00 hrs. para la noche) y esta es asignada a cada operador. Para toda la evaluación se utilizó el software de paquetería Microsoft Excel. La extracción de datos del servidor se realiza mediante el complemento de Microsoft Excel *PI DataLink*<sup>5</sup>. Para evaluar el desempeño del operador en cuanto a desviación estándar de frecuencia se asignó una calificación, calculada como la relación entre la cantidad de turnos cuya desviación estándar obtenida por el operador se encontró por debajo de 0.03 Hz y la cantidad total de turnos ejercidos. Finalmente, este porcentaje indica la efectividad del operador para mantener la frecuencia lo más cercana a los 60 Hz.

Otra herramienta que ayuda a la evaluación del personal de turnos son los tiempos fuera de las bandas; estas son rangos establecidos por encima y debajo de la frecuencia nominal de 60 Hz y son diferentes. Por ley, se establece la banda de frecuencia 59.50-60.50 Hz [1], en compromiso con CFE la banda 59.80-60.20 Hz y por reglamento interno del Departamento de Operación y Despacho en Tiempo Real la banda 59.85-60.15 Hz. Mientras la frecuencia se encuentre dentro de estas bandas, se asegura una buena calidad de la energía eléctrica. Por ello se llevó también una estadística de tiempos fuera de las bandas 59.80-60.20 Hz, 59.85-60.15 Hz, 59.90-60.10 Hz y 59.95-60.05 Hz; las últimas dos se realizaron con fines estadísticos. Para identificar las violaciones a estas bandas se utilizó una macros de Microsoft Excel desarrollada por el CENACE, la cual revisa los 43200 valores de frecuencia por día del archivo de Excel ya mencionado y plasma en un nuevo archivo por

<sup>3</sup> Reserva Secundaria. Margen de potencia disponible para la regulación. Se compone de la Reserva para Subir y la Reserva para Bajar.

<sup>4</sup> Error de Tiempo. Contabilidad del tiempo que se permanece fuera de la frecuencia nominal.

<sup>5</sup> PI DataLink. Software de OSisoft que permite la obtención de datos en tiempo real.

cada banda los valores que se encontraron fuera de cada una de ellas y calcula, en base a ello, el tiempo en el que la frecuencia se encontró fuera de cada banda correspondiente. De igual manera se calcula los tiempos fuera para cada turno y se asigna al operador correspondiente; con ello es posible identificar el tiempo que cada operador ha violado cada una de estas bandas.

Para la obtención de los datos de flujos de potencia activa se utilizó la aplicación *Estado de Enlaces de Potencia V6.1*<sup>6</sup> la cual obtiene los datos del mismo servidor para cada enlace crítico del Sistema Interconectado Nacional y plasma en un archivo de Microsoft Excel qué enlace superó su límite establecido de flujo de potencia, cuánto tiempo y cuánta energía estuvo por encima de este límite; todo esto calculado por día. De esta forma se identifica qué enlaces son violados con mayor frecuencia y en qué medida.

Por último, la estadística de Reserva Secundaria y Error de Tiempo se realizó también obteniendo los datos almacenados en el servidor del CENACE y mostrándolos en gráficas por medio de Microsoft Excel.

---

<sup>6</sup> Estado de Enlaces de Potencia V6.1. Aplicación desarrollada por el CENACE para la obtención de estadística de enlaces del Sistema Interconectado Nacional.



## CAPÍTULO 1. Fundamentos de corriente alterna.

### 1.1 Frecuencia.

La cantidad de tiempo requerido para completar un ciclo completo de una señal es llamado periodo (Figura 1.1). La frecuencia es una medida del número de ciclos completos que ocurren en un determinado tiempo tal como ciclos por segundo (CPS) o ciclos por minuto (CPM). La frecuencia se relaciona con el periodo por medio de esta simple fórmula:

$$Frecuencia = \frac{1}{Periodo}$$

En otras palabras, la frecuencia es el inverso del periodo. Aunque la frecuencia puede ser expresada en ciclos por segundo, en la práctica se utiliza comúnmente el término Hertz (abreviado Hz) en un lugar de CPS. [2]

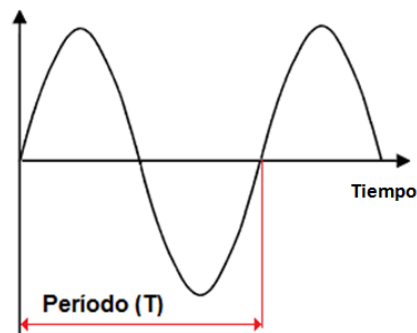


Figura 1.1. Periodo de una señal.

#### 1.1.1 Desviación Estándar.

La desviación estándar es la medida de variabilidad de uso más común. La desviación estándar es la cantidad promedio que cada uno de los puntajes individuales varía respecto a la media de un conjunto de puntajes [3]. Cuanto mayor es la desviación estándar, más variable es el conjunto de puntajes. Si todos los puntajes de una muestra son idénticos, como 10, 10, 10 y 10, no hay variabilidad, y la desviación estándar es cero. La fórmula para calcular la desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

donde  $\sigma$  = desviación estándar

$\Sigma$  = signo de sumatoria

$X$  = puntaje bruto

$\bar{X}$  = media de la distribución

$n$  = tamaño de la muestra

Propiedades de la desviación estándar:

- La desviación estándar es una medida de variación de todos los valores con respecto a la media.
- El valor de la desviación estándar  $\sigma$  suele ser positivo. Sólo es igual a cero cuando todos los valores de los datos son el mismo número. Además, valores grandes de  $\sigma$  indican mayores cantidades de variación.
- El valor de la desviación estándar  $\sigma$  se puede incrementar de manera drástica con la inclusión de uno o más datos distantes (valores de datos que se encuentran muy lejos de los demás).
- Las unidades de la desviación estándar  $\sigma$  (como minutos, pies, libras, etcétera) son las mismas de los datos originales. [4]

#### 1.1.1.1 Campana de Gauss.

Si se examina un conjunto de errores aleatorios con respecto a su valor promedio se encuentra que su frecuencia de ocurrencia con relación con su tamaño está descrita mediante una curva (Figura 1.2) que se conoce como curva de Gauss, campana de Gauss o curva gaussiana. Karl Friedrich Gauss fue el primero en descubrir la relación expresada por esta curva. Muestra que la ocurrencia de desviaciones estándar aleatorias pequeñas con respecto al valor medio son mucho más probables que la ocurrencia de desviaciones estándar grandes. La curva también indica que los errores al azar tienen la misma probabilidad de ser positivos o negativos. Si se emplea la desviación estándar como una medida del error, se puede emplear la curva para determinar cuál será la probabilidad de un error mayor que un determinado valor  $\sigma$  para cada observación. [5]

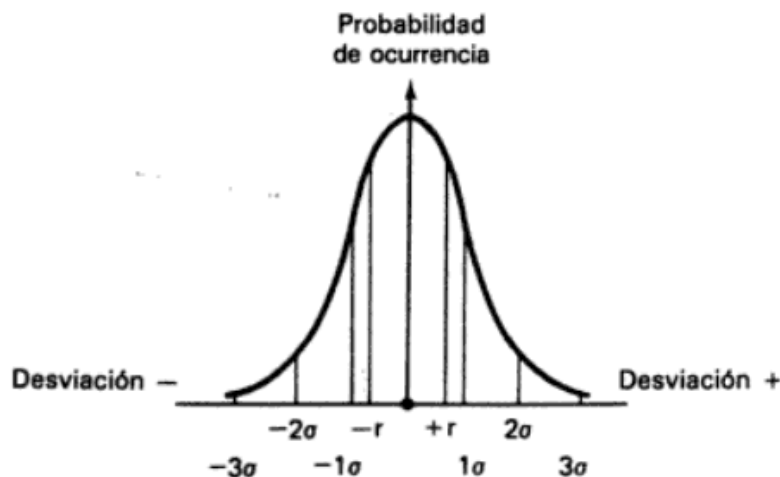


Figura 1.2. Tamaño del error en términos de desviaciones estándar.

## 1.2 Potencia aparente.

El producto de los fasores de corriente y voltaje es llamado *Potencia aparente o total* y tiene las unidades de volts-amperes. La potencia total es el producto de una variable real y una compleja o de dos variables complejas. Cuando la potencia total es expresada como una suma de vectores, la componente real es la *Potencia Activa* y la parte imaginaria es la *Potencia Reactiva* (Figura 1.3).

La Potencia activa es la potencia que es disipada como calor en el sistema, transducida de potencia eléctrica a mecánica en un motor o transformada de una corriente y voltaje de corriente alterna a otra en un transformador eléctrico. Excluyendo la cantidad que es disipada mediante calor, la potencia activa es lo que podemos utilizar como potencia mecánica. Las unidades de la potencia activa son los Watts (W).

La componente imaginaria del vector de potencia aparente es llamada potencia reactiva. Esta representa el flujo de energía dentro del campo magnético de una inductancia o el campo eléctrico de una capacitancia. La potencia reactiva es potencia real, pero no es convertida en potencia mecánica en un motor eléctrico. La energía almacenada en los campos eléctricos y magnéticos de una máquina o circuito de corriente alterna fluye hacia dentro y luego sale cada ciclo de la corriente sinusoidal. La potencia reactiva es imaginaria, en el sentido en que no puede ser tomada por un motor como potencia mecánica en el eje del rotor. La potencia reactiva tiene unidades de var, que significa volts-amperes reactivos. [6]

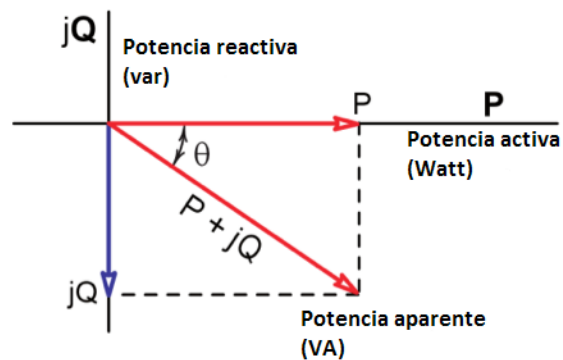


Figura 1.3. Descomposición de vectores de potencia aparente. Los dos componentes del vector de potencia aparente proyectado en los ejes real e imaginario son la potencia activa y reactiva, correspondientemente.

### **1.3 Balance de Potencia.**

Un Sistema Eléctrico de Potencia no puede almacenar energía eléctrica por lo que debe ser generada en las cantidades y tiempos que el usuario demande. Por esto es que es necesario lograr un balance permanente entre la energía generada y la energía demandada. No toda la energía generada es consumida por los usuarios, existen pérdidas propias del Sistema Eléctrico de Potencia que deben ser absorbidas por este.

Una metodología para mantener este balance carga-generación es la Operación en Tiempo Real; en esta el balance de potencia se logra fundamentalmente a través de dos procedimientos conocidos como “Despacho Económico de Carga o Generación” y “Control Automático Frecuencia-Potencia”.

La demanda a satisfacer se obtiene normalmente a través de mediciones en el Sistema Eléctrico de Potencia y se asignan requerimientos de generación a las unidades generadoras con criterios económicos y de seguridad del sistema.

Como la carga demandada por los usuarios del sistema varía continuamente en el tiempo, los Sistemas Eléctricos de Potencia generalmente están equipados con sistemas automáticos de control en el que participan la mayoría de las unidades importantes del sistema, cuyo objetivo es el seguimiento de las variaciones de demanda en los intervalos de tiempo entre aplicaciones de despacho económico de carga.

El balance de potencia en un Sistema Eléctrico de Potencia está íntimamente ligado con los factores de aseguramiento de calidad en el servicio de suministro eléctrico, que son frecuencia y voltaje.

Las cargas demandan tanto potencia activa como potencia reactiva y por su naturaleza dinámica están variando continuamente en el tiempo. El Sistema Eléctrico de Potencia debe generar las cantidades de potencia activa y reactiva demandadas por la carga en todo momento para lograr el renombrado balance de potencia. [7]

#### **1.3.1 Balance de Potencia Activa y su efecto en la frecuencia del sistema.**

Una vez establecida la generación a las unidades generadoras, la suma de las generaciones de todas ellas tendrá que ser igual a la suma de las cargas demandadas más las pérdidas que se generen principalmente por transmisión y otros medios, para lograr el balance deseado (Figura 1.4).

Para poder operar en forma interconectada, las unidades generadoras deben estar sincronizadas a una frecuencia común con márgenes de desviación tolerables, de tal forma que no existan fluctuaciones importantes de potencia entre ellas, que pongan en peligro la integridad del sistema.

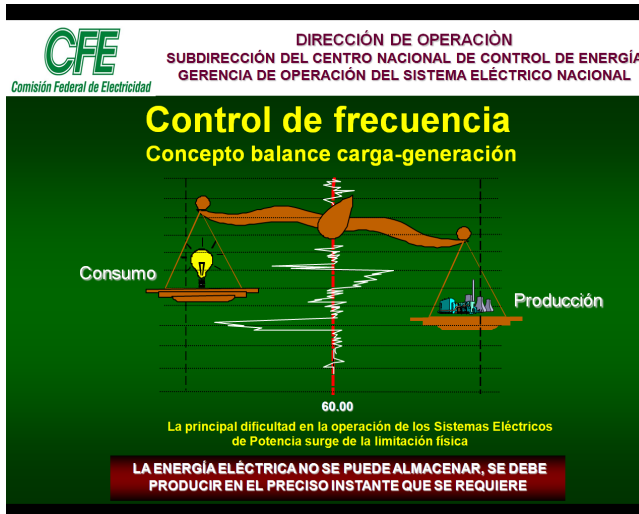


Figura 1.4. Esquema del balance carga-generación y su efecto en la frecuencia.

Siendo las unidades generadoras máquinas síncronas, el balance de potencia por unidad para condiciones de operación estable se logra cuando la potencia eléctrica de salida de la máquina es igual a la potencia mecánica de entrada a ésta y la velocidad de la flecha a la cual está acoplado el rotor del generador es igual a la velocidad síncrona del sistema expresada por  $\omega = 2\pi f$  rad/seg., donde  $f$  es la frecuencia del sistema<sup>7</sup>. Como la unidad generadora es un elemento convertidor de potencia mecánica a eléctrica, que está constituido por partes fijas y móviles que tienen movimiento rotacional, la dinámica del movimiento puede describirse por la ecuación de oscilación en un cuerpo que tiene una constante de inercia  $M$  como sigue:

$$Ma = P_m - P_e$$

Donde  $a$  es la aceleración del cuerpo en movimiento, y  $P_m$  y  $P_e$  son las potencias de entrada y salida del elemento, respectivamente.

Cuando existe equilibrio en el sistema se cumple que  $P_m = P_e$  y  $Ma = 0$ , por lo que  $a = 0$ .

Esta condición implica que la velocidad del cuerpo giratorio sea constante, de tal forma que  $a = d\omega/dt$ , donde  $\omega$  es la velocidad angular de la unidad, que considerando las unidades apropiadas, se puede expresar en rad/seg.

Esta velocidad debe ser igual a la velocidad de sincronización del sistema expresada por  $\omega = 2\pi f$ .

Así: 
$$a = \frac{d\omega}{dt} = 2\pi \frac{df}{dt}$$

y 
$$2\pi M \frac{df}{dt} = P_m - P_e$$

<sup>7</sup> En México la frecuencia nominal del Sistema Eléctrico es de 60 Hz.

Esta ecuación implica que cualquier desbalance que se produzca entre las potencias  $P_m$  y  $P_e$  producirá una aceleración en la unidad que se reflejará en una desviación de la frecuencia con respecto a la frecuencia original de sincronismo.

Si se reconoce que  $P_e$  es la potencia eléctrica que tiene que estar siendo generada por las unidades generadoras del sistema para satisfacer la demanda de los usuarios, y que ésta a su vez está cambiando continuamente en el tiempo, entonces se pueden resaltar dos aspectos importantes que suceden en los Sistemas Eléctricos de Potencia:

- a) Las variaciones normales de carga en el sistema tendrán que ser atendidas por las unidades generadoras del mismo, provocando desbalances momentáneos que harán que la frecuencia promedio de la interconexión no sea estrictamente constante, sino un valor promedio de las frecuencias de operación de cada una de las unidades generadoras.
- b) Para que se pueda lograr el balance de potencia del sistema en forma continua, deberán haber mecanismos que permitan variar la potencia mecánica  $P_m$  de entrada a las máquinas, de tal forma que se pueda cumplir en forma *cuasicontinua* el balance de las unidades y por ende del sistema.

#### 1.4 Regulación Primaria.

El Control de Frecuencia se lleva a cabo por medio de la Regulación Primaria, la Regulación Secundaria, la Reserva Rodante del Sistema y las Acciones del Operador; en situaciones de emergencia se recurre a esquemas de corte de carga por baja frecuencia.

La Regulación Primaria actúa a nivel de la unidad de generación y es la acción de control automática que mantiene el balance entre generación y demanda de potencia de un sistema mediante la actuación de los gobernadores de velocidad de las turbinas como respuesta a variaciones de frecuencia [8].

Sus características son:

- Debe ser una acción de control rápida (menos de 30 segundos) tendiente a equilibrar los apartamientos de generación respecto del despacho previsto, producidos principalmente por los requerimientos variables de la demanda.
- Es una acción de control local. Cada unidad dispone de un regulador de velocidad, que controla la velocidad de rotación en el eje del generador y actúa sobre las válvulas de admisión de vapor a la turbina en las centrales térmicas turbo vapor, en válvula de admisión de combustible en las térmicas turbo gas y en los distribuidores (controlan el caudal y dirección del flujo de agua) en las centrales hidráulicas.
- Es un control de característica proporcional. Luego de su actuación queda una desviación de frecuencia que asegura la distribución de la variación de carga entre las distintas unidades.

### 1.4.1 Máquina libre o suelta.

Se define como máquina libre a la unidad que es controlada por el variador de carga o gobernador y permite a la unidad participar en la regulación primaria, el limitador de carga se encuentra posicionado arriba del 100% de la Potencia Nominal (Figura 1.5). Esto quiere decir que para cualquier valor de frecuencia, si esta aumenta, la unidad disminuirá su potencia, y si la frecuencia disminuye la unidad aumentará su potencia (Figura 1.6). Este es el modo de operación ideal de las unidades para el correcto Control de Frecuencia. [8]

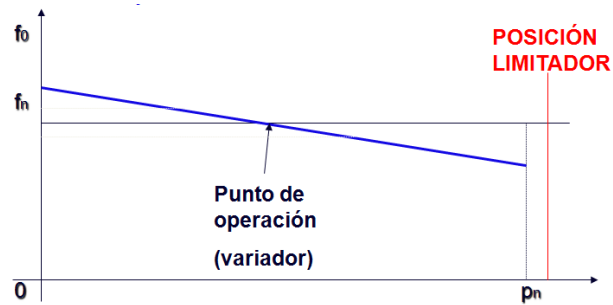


Figura 1.5. Gráfica del comportamiento de una máquina suelta.



Figura 1.6. Gráfica de una Unidad Suelta (Salamanca Unidad 3). El eje de las ordenadas corresponde a la frecuencia [Hz] y el de las abscisas a la potencia suministrada por la unidad [MW].

### 1.4.2 Máquina limitada.

Cuando la potencia generada por la unidad es controlada por el variador y el limitador se encuentra posicionado abajo del 100% de la potencia nominal, la unidad puede responder a la regulación primaria a frecuencias mayores a la nominal y a frecuencias menores hasta alcanzar la posición del limitador (Figura 1.7). En otras palabras, la unidad regulará su potencia en respuesta a la frecuencia hasta llegar a la posición del limitador, en donde dejará de regular (Figura 1.8).

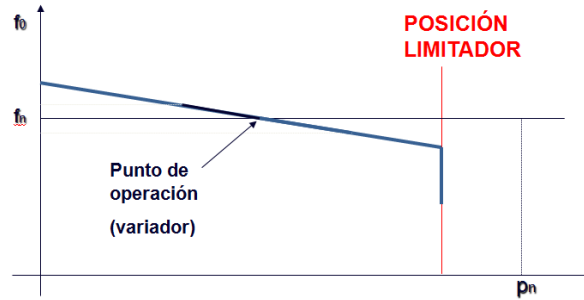


Figura 1.7. Gráfica del comportamiento de una máquina limitada.



Figura 1.8. Gráfica de una Unidad Limitada (Valle de México Unidad 3). El eje de las ordenadas corresponde a la frecuencia [Hz] y el de las abscisas a la potencia suministrada por la unidad [MW].

### 1.4.3 Máquina en banda muerta.

Una unidad o máquina trabajando en banda muerta participará en la regulación primaria únicamente fuera de un intervalo de frecuencia establecido con respecto a la nominal (Figura 1.9); si la frecuencia se encuentra dentro de este intervalo, la máquina no regulará en lo absoluto (Figura 1.10).

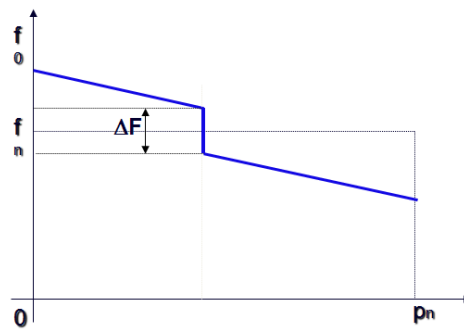


Figura 1.9. Gráfica de una unidad trabajando en banda muerta.





Figura 1.10. Gráfica de una Unidad en banda muerta +/- 0.05 Hz. El eje de las ordenadas corresponde a la frecuencia [Hz] y el de las abscisas a la potencia suministrada por la unidad [MW].

#### 1.4.4 Máquina amarrada.

Cuando la potencia generada es controlada por el limitador de carga, estando totalmente abierto el variador de carga o gobernador, la unidad no puede participar en la regulación primaria y se dice que está amarrada. La unidad no responde en lo absoluto a variaciones en la frecuencia (Figura 1.11).

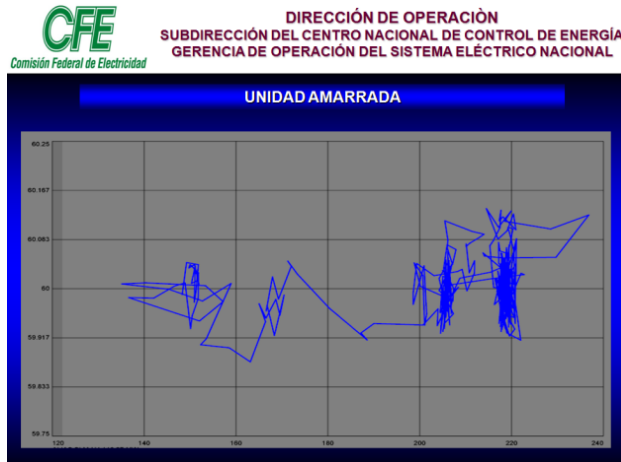


Figura 1.11. Gráfica de una Unidad Amarrada. El eje de las ordenadas corresponde a la frecuencia [Hz] y el de las abscisas a la potencia suministrada por la unidad [MW].

## **CAPÍTULO 2. Acciones para la mejora del servicio eléctrico nacional.**

### **2.1 Medidas para incrementar el aporte de Regulación Primaria.**

Mantener una correcta regulación de frecuencia es indispensable. Las problemáticas que ocasiona una mala regulación en el sistema son:

- Mala calidad en el servicio al cliente (pérdida de clientes).
- Interrupción de procesos.
- Fatiga o desgaste de Unidades Generadoras.
- Desperdicio de energía.

Como parte de las medidas utilizadas para mejorar la calidad y seguridad de la energía eléctrica, el Centro Nacional de Control de Energía junto con el área de Generación realizaron una serie de pláticas para sensibilizar a los operadores de las plantas del país para que sus generadores operaran como unidad suelta. Sin embargo, algunos operadores de las plantas tales como los Productores Independientes, no estaban de acuerdo con que sus máquinas, las cuales se encontraban operando como unidad amarrada, participarían siempre en la regulación. Una explicación a esta negación es que una unidad suelta sufre de mayor desgaste cuando está regulando que cuando no lo hace. Derivado de esta situación, se negoció con estos operadores y se acordó que sus máquinas participarían en regulación pero con banda muerta, de esta manera contribuyen en la regulación primaria y sus máquinas no sufren un desgaste más acelerado.

Otra acción que contribuyó al correcto Control de Frecuencia fue desplegar en las pantallas de los operadores de cada planta de energía la gráfica de regulación de cada una de sus unidades generadoras. Una máquina puede dejar de regular o no estarlo haciendo apropiadamente por causa de alguna falla técnica. Una gráfica que muestra el comportamiento de la unidad con respecto a las variaciones de frecuencia (Figuras 1.6, 1.8, 1.10 y 1.11), proporciona al operador la enorme ventaja de saber inmediatamente al verla si sus unidades están regulando o no, y en caso negativo, tomar las medidas para restaurar su regulación. Si se observa en la gráfica un patrón semejante a una recta con pendiente negativa, entonces la unidad correspondiente estará regulando en todo momento (unidad suelta).

### **2.2 Modernización de Sistemas de Control en Centrales Termoeléctricas.**

El objetivo del proyecto de Modernización de Sistemas de Control en Centrales Termoeléctricas de CFE fue resolver la problemática producto de la obsolescencia y falta de refaccionamiento de los Sistemas de Control de las Centrales Generadoras a través de la modernización de los mismos. Se esperó como resultado inmediato, una mayor participación de las Unidades Generadoras en el despacho de energía eléctrica al reducir sus costos de producción por el aumento de la eficiencia térmica y la utilización de

tecnología de punta en sus Sistemas de Control. También se esperaba una mayor confiabilidad y disponibilidad de las Unidades Generadoras. [9]

### 2.2.1 Centrales modernizadas.

1. Primer Registro ante SHCP proyecto Rehabilitación de Sistemas de control **0318TOQ0132**
  - CT Manzanillo II
  - CT Villa de Reyes
2. Segundo registro ante SHCP proyecto SICODI **0418TOQ0077**
  - CT Guadalupe Victoria
  - CT Salamanca U3 y U4
  - CT Río Escondido
  - CT Pdte. Adolfo López Mateos “Tuxpan” U1 y U2
3. Tercer registro ante SHCP proyecto SICOUT **0818TOQ0042**
  - CT Pdte. Adolfo López Mateos “Tuxpan” U3 a U6
  - CT Pdte. Plutarco Elías Calles “Petacalco” U1 a U6
  - CCC Felipe Carrillo Puerto “Valladolid”

Modernización de Sistemas de Control en proyectos de Rehabilitación y Modernización (RM)

- CT Francisco Pérez Ríos U1 y U2, U3 y U4, U5.
- CCC Gómez Palacio.
- CT Manuel Álvarez Moreno U3 y U4.
- CT Puerto Libertad U1 a U4.
- CT Carlos Rodríguez Rivero “Guaymas II” U1 y U3.
- CCC Emilio Portes Gil U1, U2 y BOP.
- CT Altamira U3 y U4.

El proyecto SICOUT (Modernización a Sistemas de Control para Unidades Termoeléctricas) con Clave de cartera **0818TOQ0042**, se programó para el periodo Junio/2008-Diciembre/2011, con la finalidad de conservar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los equipos principales y auxiliares de las unidades. Sin embargo, debido a la falta de presupuesto este programa no pudo ser llevado a cabo. Por ello se presentó un nuevo documento programado para el periodo 2012-2015, con cambio de alcance y montos para su revisión. Este nuevo proyecto SICOUT cuenta con un monto total de inversión de \$1,651,199,488.0 pesos<sup>2012</sup>.

Cabe mencionar que el proyecto original del 2007, registrado con la clave de cartera 0818TOQ0042, contemplaba la modernización del sistema de control de la Central Ciclo Combinado Felipe Carrillo Puerto, perteneciente al Área de Control Peninsular, mismo que

ya fue modernizado utilizando recursos económicos asignados a mantenimientos de los años 2010 y 2011. Es por ello que esta central ya no se considera en el nuevo proyecto. [9]

### 2.2.2 Ventajas de los Sistemas Modernos.

- Compatibilidad total de los sistemas de control que integran cada unidad.
- La capacitación del personal se simplifica al obtener los conocimientos que son aplicables a cualquier sistema.
- Integración de las funciones y equipos de los actuales sistemas.
- Control de generación programable a base de microprocesadores.
- Control de proceso y adquisición de señales con despliegue de las mismas a través de pantallas.
- Integración de nuevos esquemas y conceptos de control avanzado.
- Gestión de la información de las unidades generadoras en tiempo real.

### 2.2.3 Control Coordinado Avanzado de Unidad.

El objetivo principal para el modo coordinado es la operación estable de la planta mientras se mantiene la carga cerca del punto de ajuste. Los cambios normales de la carga del operador o del despachador de carga se realizan de acuerdo a la dinámica intrínseca del generador de vapor sin reducir la capacidad de trabajar el control primario de frecuencia (Figura 2.1).

Utilizando un modelo coordinado del generador de vapor y la turbina basado en prealimentación, permite cambios exactos en la carga, minimiza el esfuerzo de control en el generador de vapor y la turbina, además que reduce al mínimo desgaste y fatigas durante cambios de carga. [9]

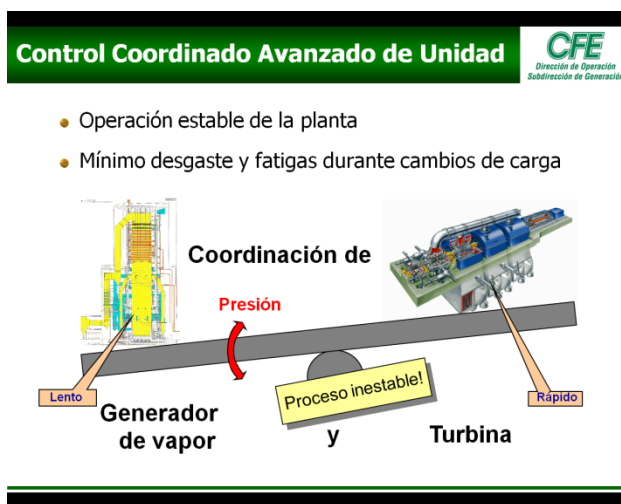


Figura 2.1. Control Coordinado Avanzado de Unidad.

### 2.2.3.1 *Ventajas del Control Coordinado Avanzado.*

- Incremento de razón de cambio de carga.
- Incremento de reservas de estabilidad.
- Mayor maniobrabilidad de la unidad.
- Mayor participación en la regulación secundaria.
- Mayor participación en la regulación primaria.
- Mayor disponibilidad.
- Reducción de intervenciones manuales.

### 2.2.4 **Resultados de la Modernización.**

Con la modernización de los sistemas se obtuvo una mejora de la eficiencia, reduciendo el consumo de combustible y emisión de gases a través de los esquemas de control avanzado propuesto. De igual manera se logró: una mayor maniobrabilidad para soportar las condiciones y variables de demanda de energía, ahorros en gastos de mantenimiento y reparación por uniformidad de sistemas, además de crear las necesidades de mantenimiento a los sistemas informáticos que los componen y contar con personal altamente especializado para su configuración y operación. [9]

De la Figura 2.2 a la Figura 2.4 se muestran las fotografías de algunos centros de control de la República Mexicana antes y después de la modernización.



**Figura 2.2. Altamira. Antes (izquierda) y después (derecha) de la modernización.**



Figura 2.3. Francisco Pérez Ríos. Antes (izquierda) y después (derecha) de la modernización.



Figura 2.4. Salamanca. Antes (izquierda) y después (derecha) de la modernización.

Por medio de la desviación estándar de frecuencia se observó una inmediata mejoría, producto de la modernización (Figura 2.5). El promedio de desviación estándar de frecuencia del año 2006 y 2007 fue de 0.0504 [Hz]. Para Diciembre de 2008, después del inicio del proceso de la modernización, la desviación estándar fue de 0.033 [Hz]. Esto refleja una disminución del 34% del margen de error de frecuencia. [9]

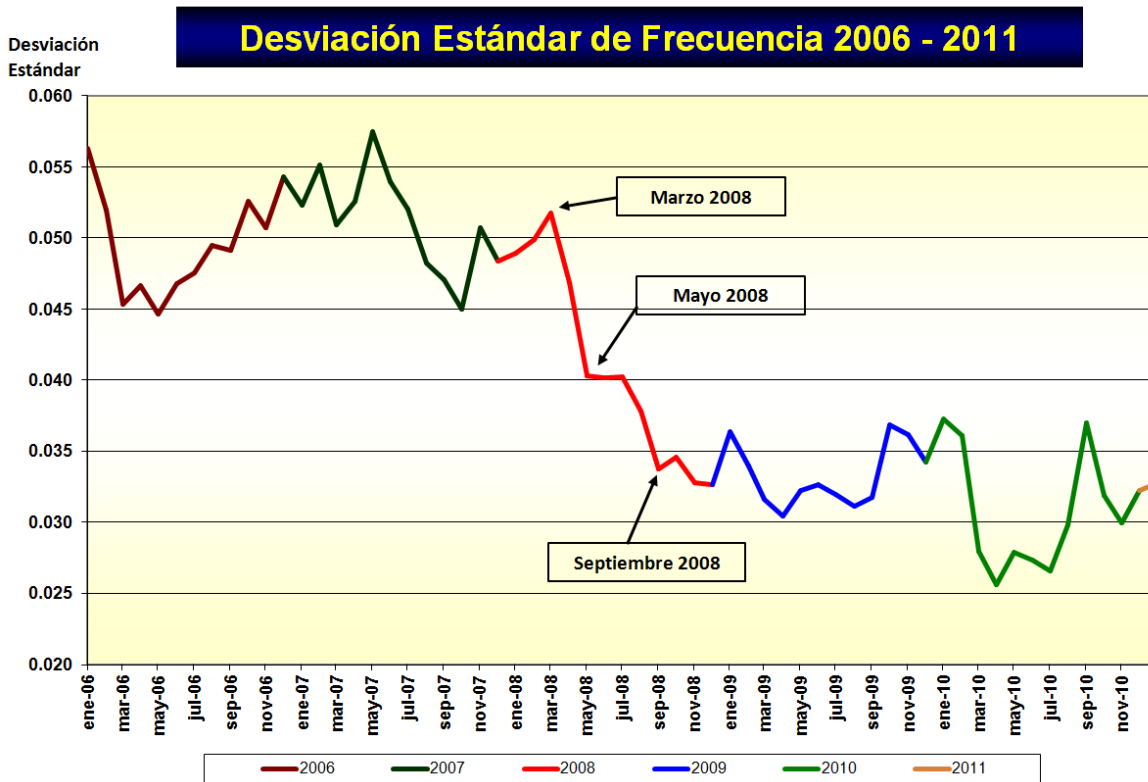


Figura 2.5. Desviación estándar de frecuencia del año 2006 al 2011 (fuente: documentos del CENACE).

## CAPÍTULO 3. Psicología social.

En 1898 Norman Triplett, psicólogo estadounidense, publicó el primer estudio en el campo de la psicología social. Triplett enfocó su investigación en el tema de la competición. Un análisis minucioso de las marcas de eventos en competencias ciclistas mostró que los ciclistas eran más rápidos cuando competían contra otros que cuando simplemente competían contra el reloj individualmente. Además, realizó un estudio de laboratorio en donde él pidió a varios niños que dieran su mayor esfuerzo realizando una tarea física que involucraba girar carretes de pesca, primero por sí solos y luego en competencia por parejas. Triplett descubrió que la competencia parecía tener un efecto energizante, lo que llevaba a que varios niños giraran el carrete más rápido. Estos resultados sugieren que la presencia de un competidor puede conducir a la mayoría de las personas a que ejerzan un mayor esfuerzo que si lo hicieran por si solos.

Triplett publicó sus descubrimientos en la *American Journal of Psychology* en un artículo llamado: *'The dynamogenic factors in pacemaking and competition'*. Este artículo identifica un cuestionamiento fundamental al centro del campo: ¿Cómo afecta la simple presencia de otras personas a nuestro rendimiento individual? Esta pregunta general evolucionó eventualmente en dos grandes literaturas de investigación que han sido conocidas como facilitación social y pereza social. [10]

### 3.1 Pereza Social.

Se ha realizado una extensa investigación enfocada en los niveles de productividad de las personas en ambientes laborales. El trabajo en equipo se vuelve cada vez más frecuente, es por ello que se ha dedicado mayor atención en investigación relacionada con la productividad de los grupos así como de la pérdida de esta. Una explicación ampliamente aceptada a esta pérdida de productividad se asocia al fenómeno de la Pereza Social, y se define como la tendencia de un individuo a realizar un menor esfuerzo cuando trabaja de manera colectiva que si trabajara individualmente. [11]

Las implicaciones de este descubrimiento para las organizaciones que se basan en grupos para lograr desempeños superiores que los de empleados individuales son considerables, lo que resalta la importancia de conocer los antecedentes de la pereza social.

A pesar de que son varias las investigaciones realizadas que explican el porqué se produce el fenómeno la pereza social, existe una amplia aceptación de que el origen fundamental de esta tiene que ver con aspectos motivacionales.

En 1974 se realizaron investigaciones sobre la pereza social por autores reconocidos: Ingham, Levinger, Graves y Peckham. Sin embargo su trabajo fue estimulado por Maximilien Ringelmann, ingeniero agrónomo francés, quien fue el primero en realizar estudios sobre la pereza social (en 1913) y a este descubrimiento le llamó Efecto de Ringelmann. Este efecto ilustra la relación inversa que existe entre el tamaño de un grupo y



la magnitud de contribución individual de cada miembro del grupo en la realización de una tarea. En otras palabras, Ringelmann confirmó que el rendimiento en equipo es siempre menor al rendimiento individual; entre más participantes hay en el equipo, menor es el rendimiento. [12]

Donde hay un trabajo que se realiza en grupo y los esfuerzos individuales se pierden dentro del grupo, los integrantes tienden a esconder su esfuerzo y su responsabilidad. La pereza social ocurre en las empresas y en la familia, donde los miembros del grupo participan sin aportar su máximo esfuerzo por alcanzar la meta. Esto sucede debido a que de forma individual el resultado los compromete directamente, por tanto ejercen su máximo esfuerzo y son más cautelosos con sus decisiones. En cambio, en grupo, si no se alcanza la meta o existe alguna falla, no es posible identificar a un solo individuo responsable; esto permite a cada miembro estar cómodo y evitar esfuerzos mayores. En grupo, los individuos tienden a ser más arriesgados, puesto que el resultado no los compromete.

### **3.2 Facilitación Social.**

En 1965, Robert Zajonc propuso la primer Teoría de Activación para la Facilitación Social, la cual se refiere a la tendencia de las personas para realizar un mejor trabajo en tareas sencillas o bien aprendidas cuando están en presencia de otras personas. Esto implica que siempre que los individuos estén siendo observados por otros, se desempeñarán mejor en cosas en las que ya eran buenos haciendo. [13]

La idea de que la evaluación social tiene un impacto en el desempeño despertó el interés en las razones psicológicas detrás de este fenómeno, llevando a investigaciones posteriores alrededor de la Teoría de la Facilitación Social. Esta teoría sugiere que la presencia de las personas en situaciones sociales crea una atmósfera de evaluación. La teoría de la Ley de Yerkes Dodson sobre la Facilitación Social dice que en esta atmósfera, “la simple presencia de otras personas mejorará el desempeño en velocidad y precisión de tareas bien practicadas, pero disminuirá el desempeño en tareas menos familiares.” [14]

En situaciones sociales es importante considerar la relevancia del papel que juega la facilitación social, ya que implica que el desempeño de las personas no reside únicamente en sus habilidades, sino que también influye la noción interna de ser evaluado. El desempeño puede ser afectado seriamente por factores situacionales, haciendo así posible alterar completamente el desenlace de una situación. Esto puede ser de suma importancia al considerar cómo se desempeñará una persona bajo evaluación y cómo prepararse potencialmente para esas situaciones.

## CAPÍTULO 4. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

Es la entidad encargada del control operativo del sistema Eléctrico Nacional. Su misión es mantener la integridad del Sistema Eléctrico Nacional para satisfacer el suministro de electricidad, optimizando el uso de la Infraestructura Eléctrica y los recursos energéticos, soportado en personal competente y en tecnología de vanguardia. Su visión es consolidar una organización inteligente, imparcial y transparente, que contribuya a satisfacer la demanda de energía nacional y las transacciones transfronterizas, en forma confiable y competitiva. El CENACE opera las 24 horas los 365 días del año bajo un esquema de turnos (mañana, tarde y noche).

A lo largo de la república se encuentran ubicados distintos Centros de Operación: las Áreas y Subáreas de Control y el CENAL<sup>8</sup>, que se encuentra en el Distrito Federal (Figura 4.1). Para el despacho y control del Sistema Eléctrico Nacional, cada Centro de Operación tiene asignada su responsabilidad y sus funciones (Figura 4.2).

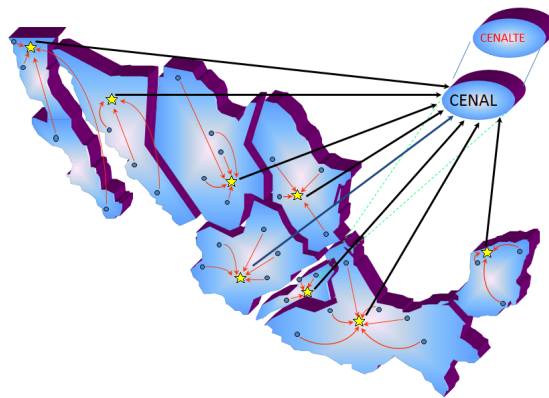


Figura 4.1. Áreas y Subáreas de Control del CENACE.

Nivel	Centro de Operación	Autoridad y Responsabilidad	Función Principal	
Primero	CENAL (1)	Sistema Eléctrico Nacional	Seguridad del SEN Economía	CENACE
Segundo	Áreas de Control (8)	Instalaciones en las Áreas de Control	Seguridad Regional	
Tercero	Subáreas de Control (33)	Instalaciones en las Subáreas de Control	Continuidad y Calidad	
Cuarto	Módulos de Operación	Instalaciones de: •Centros de Distribución •Módulos de Control	Distribución y Comercialización de la Energía	Distribución

Figura 4.2. Estructura Orgánica para el Despacho y Control del Sistema Eléctrico Nacional.

<sup>8</sup> CENAL. Centro Nacional (Nivel Superior de todas las Áreas de Control, que reside en el Distrito Federal).

#### 4.1 Objetivos básicos de la Operación del Sistema Eléctrico.

**Seguridad.** Operar con márgenes de reserva que eviten o minimicen la ocurrencia de disturbios.

**Calidad.** Mantener el suministro dentro de estándares internacionales en los valores de voltaje y frecuencia.

**Continuidad.** Suministrar ininterrumpidamente el servicio de energía eléctrica.

**Economía.** Satisfacer en todo momento la demanda de energía eléctrica al más bajo costo de producción global.

En la Figura 4.3 se muestra el Sistema Eléctrico Nacional, que lo conforman las líneas de transmisión de 400 (azul), 230 (naranja), 161/138 (verde), 115/69 (rosa) y 34.5 (rojo) KV. El Sistema Interconectado Nacional corresponde a toda la conexión entre las líneas desde la península de Yucatán hasta Sonora. Baja California Norte y Sur no tienen conexión eléctrica con el resto del país, por lo que no forman parte del Sistema Interconectado Nacional.

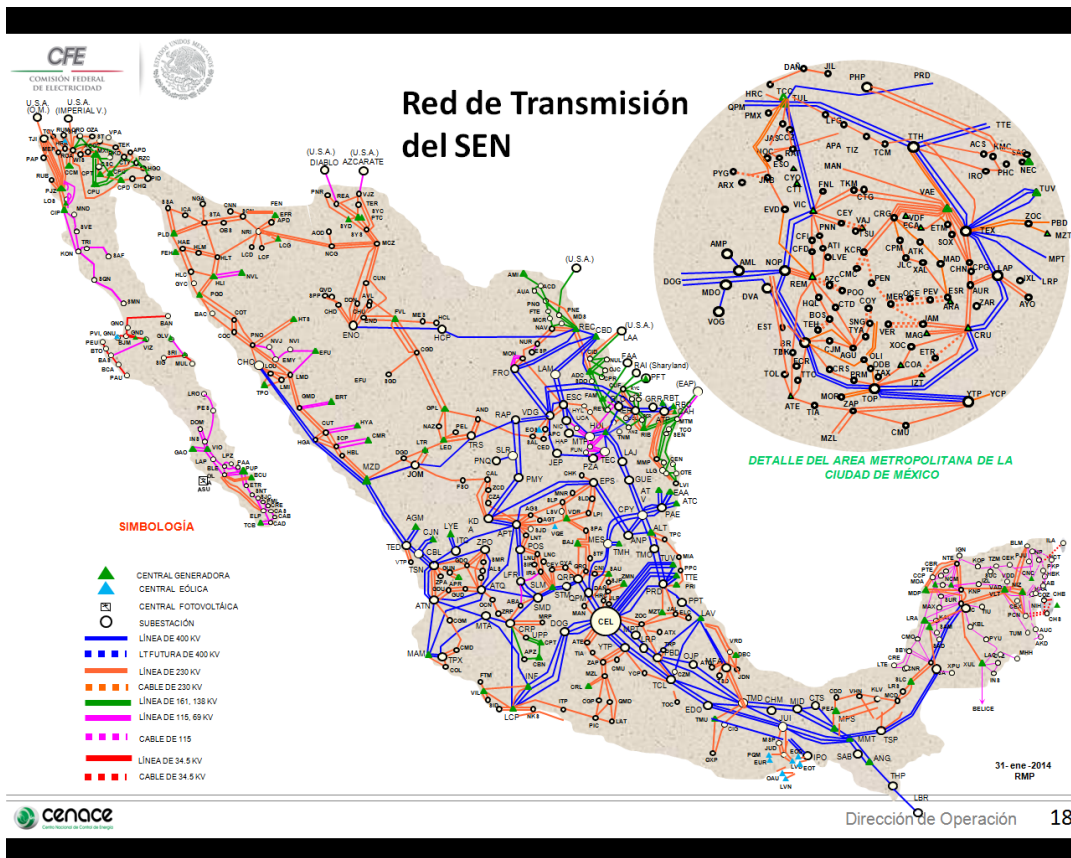


Figura 4.3. Sistema Eléctrico Nacional

Una de las tareas del CENACE es monitorear los flujos de potencia activa en las líneas de transmisión del Sistema Interconectado Nacional. Para realizar esto, utilizan la aplicación *WS500*<sup>9</sup> la cual es una interfaz gráfica de usuario en línea para manejar información en tiempo real. Uno de los desplegados de esta aplicación muestra el Sistema Interconectado Nacional pero en un formato que permite la sencilla visualización de los Límites Máximos Operativos de Transferencia de Potencia Activa, así como de los flujos de esta en tiempo real. Sin embargo, no se monitorean los flujos de potencia activa de cada línea de transmisión, sino que se establecieron *cortes* (enlaces) que representan el total de flujo de potencia activa en una o más líneas de transmisión (Figura 4.4).

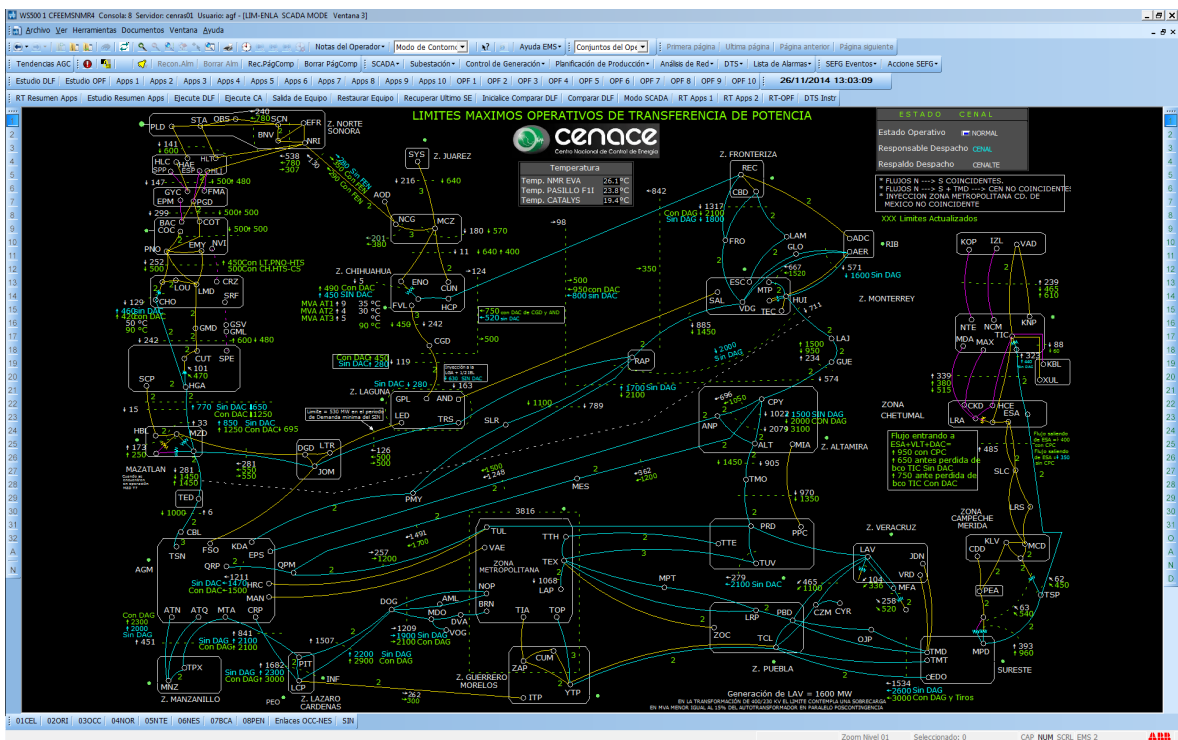


Figura 4.4. Desplegado del flujo de Potencia Activa en los cortes (línea punteada verde) del SIN, así como sus límites máximos operativos.

### Definiciones.

**Sistema Eléctrico Nacional (SEN).** Es el conjunto de instalaciones destinadas a la Generación Transmisión, Distribución y venta de energía eléctrica de servicio público en toda la República, estén o no interconectadas.

**Sistema Interconectado Nacional (SIN).** Es la porción del Sistema Eléctrico Nacional que permanece unida eléctricamente.

<sup>9</sup> WS500. Aplicación de la empresa ABB utilizada para el monitoreo y control en tiempo real de varios procesos.

## CAPÍTULO 5. Resultados.

### 5.1 Capacitación.

Comencé mis actividades en el Centro Nacional de Control de Energía el 2 de Diciembre de 2013. A mi llegada fui capacitado para desempeñar las actividades que estaría realizando durante mi Servicio Social.

Debido a que todos los datos de las estadísticas que obtendría se obtienen del servidor del CENACE, primero me enseñaron cómo funciona este. Por medio de medidores digitales se obtiene la lectura deseada (frecuencia, voltaje, potencia, etc.) y esta se obtiene en una computadora, formando una pila informática la cual pasa a través de un filtro para eliminar lecturas erróneas y después se almacena en el servidor PI<sup>10</sup>. Una vez almacenada la información en el servidor se puede acceder a ella en línea, por medio de software como Microsoft Office Excel. Todos los datos se almacenan por intervalos de 2 segundos, es decir, para determinado tipo de dato se tienen 30 lecturas almacenadas en el servidor por cada minuto. En caso de requerir un dato dentro de este intervalo se recurre a una regresión lineal para calcular este valor intermedio; de esta manera se optimiza el espacio en el servidor. Por cuestiones de seguridad, CENACE maneja dos servidores: el principal (cenhis1) y el de respaldo (cenhis2); en teoría, la información es la misma en ambos. La información del servidor es accesible por medio de la herramienta PI DataLink de Microsoft Excel, de esta manera se pueden escribir datos del servidor PI directamente a una hoja de trabajo dentro de esta aplicación.

Después de conocer a grandes rasgos el funcionamiento del servidor, comencé a familiarizarme con la nomenclatura que utilizan para referirse a las diferentes áreas de control del país, así como de definiciones como autotransformador (ATS), disparo automático de carga (DAC), disparo automático de generación (DAG) entre otros. Memorizar parte de la nomenclatura resultó crucial, ya que diariamente estaría obteniendo datos referidos a esta.

Para obtener la estadística de flujos de potencia activa en el SIN, se utiliza la aplicación Estado de Enlaces de Potencia (Figura 5.1). Esta muestra en su primer desplegado los enlaces que están siendo violados en una interfaz alusiva a un semáforo; los datos los obtiene en tiempo real desde el servidor PI. Si la luz verde parpadea, ningún enlace se está violando en el momento. Si enciende el amarillo, en un listado del lado derecho aparecerá qué enlace(s) se encuentran en estado de alerta (sobrepasan el límite de alerta). Y si se enciende la luz roja, del lado izquierdo aparecerán los enlaces que se encuentran en estado de emergencia (sobrepasan su límite máximo).

---

<sup>10</sup> El sistema PI es una industria dedicada al manejo de información y eventos en tiempo real.

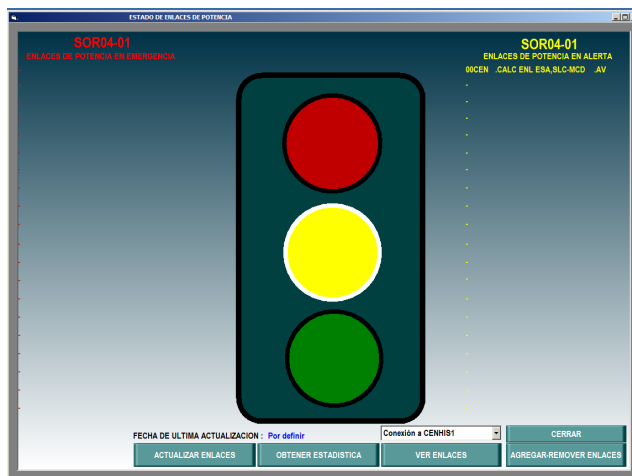


Figura 5.1. Aplicación de Estado de Enlaces de Potencia.

Al hacer clic en el botón *OBTENER ESTADÍSTICA*, se abre la ventana desde la cual se puede obtener la estadística de flujos de potencia activa en el o los enlaces deseados para cualquier día (Figura 5.2).

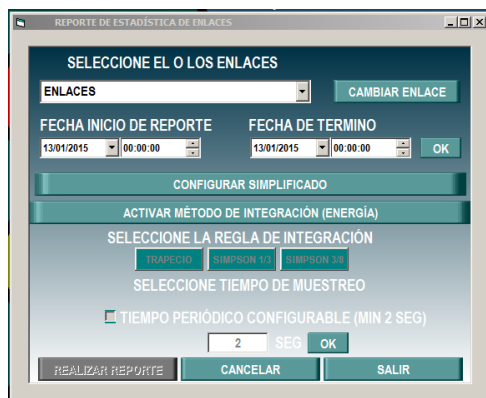


Figura 5.2. Interfaz para obtener la estadística de enlaces.

Esta aplicación obtiene los datos de un archivo de Microsoft Office Access, en el cual se encuentran todos los enlaces críticos del SIN y los plasma en un archivo de Excel. En el archivo de Access se almacena el nombre del *tag* (referencia) asignado a cada enlace, así como sus límites en alerta y en emergencia. Estos límites se actualizan cada mes, ya que las condiciones del sistema son variables; esa fue una de mis tareas, actualizar el archivo de Access cada mes. El archivo almacena todos los límites desde el 2004, de manera que cuando se desea obtener la estadística mediante la aplicación de Estado de Enlaces de un día determinado, esta busca en el archivo de Access los límites correspondientes, para reflejar el total de tiempo que los enlaces fueron violados en ese día específico en su límite normal, en alerta y/o en emergencia, así como el porcentaje de qué tanto tiempo se violó cada enlace en cada día.

De esta manera comencé a obtener la estadística de enlaces desde el primero de Diciembre de 2013, puesto que ya estaba completa la estadística de los meses previos. Se obtiene un archivo de estadística de enlaces por día (Figura 5.3), y otro correspondiente al resumen de los enlaces violados en el transcurso del mes correspondiente (Figura 5.5). Debido a las necesidades de monitorear qué enlaces se violaron en cada día, se creó un nuevo archivo en el que muestra todos los enlaces que se violaron por día así como sus características (Figura 5.4); en este archivo contribuí en el diseño del formato. Para obtener el Resumen Mensual y por día, se recurrió a la programación en Visual Basic de una macros en Excel, desarrollada por el personal de turnos del CENACE.

SOR04-01										
PERIODO	11/12/2014-12/12/2014									
NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN DE LÍMITE	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA	No. ENLACES VIOLADOS	
00CEN_CALC NRI-NGG .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC PGD-EPM .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC PNC-IVJ .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC LMD-GSV .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC SCP-HGA .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC SVC-MCZ .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC FVL-CGD .AV	23.57	0.00	0.00	24.00	99.85	0.15	0.363423542	3.423273366	1	
00CEN_CALC CGD-GPL-AND .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC CGD-GPL-HCP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL NTE-NES .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL RES-NTE1 .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL FRONTERIZA .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL PMY-RAP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL RAP-PMY+GUE-CPY .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL AER .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL ALT .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL CPY-ALT-ANP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL ANP-EPS .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MAH .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL LCP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL PIT-MTA-LCP-CRP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL PRD-TMO-ALT .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL TUV-TEK-TUV-PRD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL VAD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL ESA-SLC-MCD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL SURE-PBD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL TED-TSN .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL LED+TRS .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL GPM-TUL .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MCZ-CUN-NGG .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL TUV-TEK-TUV-PRD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL RAP-LAJ .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL TUA .AV	23.49	0.80	0.00	24.00	99.29	0.71	1.144942695	0.013346977	1	
00CEN_CALC MCZ-ENQ-CUN .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC CGD-GPL .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL ALT-TMO .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_ENL CPY-ANP .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MZD-NEL .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL LAV-TCL-LAV-PBD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MZD-JOM .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MZD-TED .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ATS MZD .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL MZC-MCZ .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL P-D-STA-NRI .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL SCH-NRI .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC PGD-PMA-GYC .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC ENL CPY-MES .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	
00CEN_CALC CATS .AV	24.00	0.00	0.00	24.00	100	0	0	0	0	

Figura 5.3. Resumen de Estadística de Enlaces Mensual.

GERENCIA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL										
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y ECONOMIA EN TIEMPO REAL										
RESUMEN DE ENLACES VIOLADOS JUNIO 2014										
SOR04-01										
PERIODO 01/06/2014-02/06/2014										
NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN DE LÍMITE	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA	No. ENLACES VIOLADOS	
00CEN_CALC PGD-EPM .AV	23:41:04	0:09:22	0:09:34	24:00:00	98.69	1.31	1.053729778	0.863189189	1	
00CEN_CALC ENL NRI-NGG+SCP-HGA .AV	22:02:28	1:10:08	0:47:24	24:00:00	91.84	8.16	13.70723707	10.47681906	1	
00CEN_CALC ENL MZD-JOM .AV	23:02:50	0:55:48	0:01:22	24:00:00	96.03	3.97	9.101778865	0.069056981	1	
00CEN_CALC ATS OHGA .AV	22:19:36	0:19:48	1:20:36	24:00:00	93.03	6.97	14.68982126	29.78989696	1	
00CEN_CALC ATS MFA .AV	21:12:10	0:58:42	1:49:08	24:00:00	88.34	11.66	21.62075954	28.18215528	1	
<b>TOTAL</b>	<b>1528:18:08</b>	<b>3:33:48</b>	<b>4:08:04</b>	<b>1536:00:00</b>	<b>0.99</b>	<b>0.01</b>	<b>60.17332651</b>	<b>69.38111747</b>	<b>5</b>	

Figura 5.4. Enlaces Violados por día.

RESUMEN ENLACES JUNIO 2014 [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista PDF Acrobat Pí

Arial 10 Fuente Alineación Combinar y centrar Formato Dar formato condicional como tabla Neutral

N24

GERENCIA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y ECONOMÍA EN TIEMPO REAL **SOR04-01**

**RESUMEN DE ENLACES JUNIO 2014**

RESUMEN POR DÍA	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LIMITE	% VIOLACION LIMITE	ENERGIA EN ALERTA (MWh)	ENERGIA EN EMERGENCIA (MWh)	No. ENLACES VIOLADOS
1 de junio de 2014	1528.18.08	3.33.48	4.98.04	1536.00.00	99.50%	0.50%	69.172	69.591	5
2 de junio de 2014	1514.43.17	9.09.02	12.07.41	1536.00.00	98.61%	1.39%	373.094	208.046	8
3 de junio de 2014	1523.45.56	2.46.28	9.27.36	1536.00.00	99.20%	0.80%	110.835	203.738	6
4 de junio de 2014	1516.26.23	5.31.26	14.02.11	1536.00.00	98.73%	1.27%	165.989	384.719	5
5 de junio de 2014	1503.15.45	4.44.20	27.59.55	1536.00.00	97.87%	2.13%	336.913	1289.519	10
6 de junio de 2014	1498.01.35	11.19.34	26.38.51	1536.00.00	97.53%	2.47%	363.526	891.234	9
7 de junio de 2014	1526.45.08	5.45.06	3.29.46	1536.00.00	99.40%	0.60%	295.230	81.760	7
8 de junio de 2014	1518.24.06	3.48.16	13.47.38	1536.00.00	98.85%	1.15%	266.318	602.749	7
9 de junio de 2014	1489.32.24	7.29.18	38.58.18	1536.00.00	96.98%	3.02%	507.566	2318.597	8
10 de junio de 2014	1484.04.46	7.26.18	44.28.56	1536.00.00	96.62%	3.38%	527.824	2553.633	10
11 de junio de 2014	1481.55.19	7.02.41	47.02.00	1536.00.00	96.48%	3.52%	577.730	2425.007	10
12 de junio de 2014	1492.07.00	8.08.16	35.44.44	1536.00.00	97.14%	2.86%	432.508	1488.808	10
13 de junio de 2014	1506.36.51	9.37.00	19.46.09	1536.00.00	98.09%	1.91%	831.126	709.693	10
14 de junio de 2014	1505.33.51	10.14.22	20.11.47	1536.00.00	98.02%	1.98%	617.235	613.753	8
15 de junio de 2014	1519.28.36	2.36.32	13.54.52	1536.00.00	98.92%	1.08%	166.851	533.721	9
16 de junio de 2014	1491.02.23	9.31.00	35.26.37	1536.00.00	97.07%	2.93%	673.646	1889.798	10
17 de junio de 2014	1488.25.64	12.24.29	37.09.37	1536.00.00	96.77%	3.23%	852.259	1561.718	12
18 de junio de 2014	1472.10.45	13.56.24	49.52.51	1536.00.00	95.84%	4.16%	761.207	2224.981	11
19 de junio de 2014	1481.30.46	11.55.22	42.33.52	1536.00.00	96.45%	3.55%	616.608	1762.672	10
20 de junio de 2014	1487.36.21	10.33.42	37.49.57	1536.00.00	96.85%	3.15%	473.064	1374.588	13
21 de junio de 2014	1499.53.34	8.57.55	27.08.31	1536.00.00	97.65%	2.35%	316.018	548.459	11
22 de junio de 2014	1510.51.33	9.15.04	15.53.23	1536.00.00	98.36%	1.64%	268.406	450.254	12
23 de junio de 2014	1490.22.29	8.21.33	37.15.58	1536.00.00	97.03%	2.97%	439.746	1995.684	11
24 de junio de 2014	1474.32.33	9.26.49	52.00.38	1536.00.00	96.00%	4.00%	589.927	2579.492	10
25 de junio de 2014	1469.40.53	13.38.00	52.41.07	1536.00.00	95.68%	4.32%	1231.769	2834.592	11
26 de junio de 2014	1485.51.28	9.44.24	40.24.08	1536.00.00	96.74%	3.26%	491.748	2029.885	8
27 de junio de 2014	1489.08.46	7.45.48	39.05.26	1536.00.00	96.95%	3.05%	454.234	1864.172	10
28 de junio de 2014	1491.29.06	4.04.40	40.26.14	1536.00.00	97.10%	2.90%	448.142	1930.295	7
29 de junio de 2014	1504.50.55	4.04.14	27.04.51	1536.00.00	97.97%	2.03%	299.395	970.768	5
30 de junio de 2014	1496.19.12	6.36.24	33.04.24	1536.00.00	97.42%	2.58%	382.761	1736.666	7
<b>TOTAL</b>	<b>44940.45.43</b>	<b>759.28.16</b>	<b>899.96.00</b>	<b>46080.00.00</b>	<b>97.53%</b>	<b>3.21%</b>	<b>10840.00</b>	<b>10802.20</b>	<b>210</b>

Reporte

Figura 5.5. Reporte de Estadística de Enlaces.

Así, obtuve la estadística de enlaces del mes de Diciembre. Al comparar el total de Enlaces Violados en el mes de Diciembre con el total de cada uno de los demás meses del año de 2013 (Figura 5.6), se observa que hubo una disminución en cuanto al número de enlaces violados, lo que representa una mejoría en el sistema.

GERENCIA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y ECONOMÍA EN TIEMPO REAL **SOR04-01**

**RESUMEN ANUAL 2013**

RESUMEN POR MES	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LIMITE	% VIOLACION LIMITE	EN ALERTA (MWh)	EN EMERGENCIA (MWh)	No. ENLACES VIOLADOS
ENERO	45530.32.19	271.13.51	326.13.50	46128.00.00	98.70%	1.30%	12682.395	12584.337	161
FEBRERO	40186.08.26	585.46.19	892.05.15	41664.00.00	96.45%	3.55%	28065.255	48898.237	263
MARZO	45172.53.19	311.00.41	644.06.00	46128.00.00	97.93%	2.07%	12148.754	38138.147	191
ABRIL	43514.31.01	478.19.30	585.09.29	44578.00.00	97.61%	2.39%	17001.930	23335.630	243
MAYO	44626.34.44	750.30.38	750.54.38	46128.00.00	96.75%	3.25%	26596.498	42244.314	330
JUNIO	41338.25.01	1188.49.47	2112.45.12	44640.00.00	92.60%	7.40%	158706.417	235381.772	437
JULIO	44144.16.30	697.22.56	1286.20.34	46128.00.00	95.70%	4.30%	77280.717	106993.519	335
AGOSTO	43788.34.50	870.31.08	1468.54.02	46128.00.00	94.93%	5.07%	95807.315	135968.346	343
SEPTIEMBRE	43330.35.10	557.23.24	752.01.26	46460.00.00	97.07%	2.93%	53333.508	64103.119	259
OCTUBRE	45672.26.26	276.59.38	302.33.56	46252.00.00	98.75%	1.25%	13211.168	11143.420	190
NOVIEMBRE	44986.25.12	48.20.29	157.14.19	45192.00.00	99.55%	0.45%	1533.230	3809.185	94
DICIEMBRE	46709.06.52	43.26.03	119.27.05	46872.00.00	99.65%	0.35%	890.75	2642.54	110
<b>TOTAL</b>	<b>529000.29.50</b>	<b>6079.44.24</b>	<b>9397.45.46</b>	<b>544478.00.00</b>	<b>97.16%</b>	<b>2.84%</b>	<b>497257.93</b>	<b>725245.56</b>	<b>2956</b>

Figura 5.6. Resumen de Enlaces del 2013.



Simultáneamente, obtuve estadística de la frecuencia cada día, comenzando con el primero de Diciembre de 2013. El archivo de Excel en el que se lleva esta estadística de frecuencia contiene varias hojas. En la Hoja 1 se encuentra una serie de fórmulas que hacen referencia al servidor PI; con escribir la fecha deseada en una celda, las demás celdas mostrarán el valor de frecuencia en Hz cada 2 segundos (lo que por día, suma un total de 43201 valores de frecuencia). Estos valores se insertan en la Hoja 2, por día, con lo que se forma el histórico de frecuencia del mes correspondiente. La siguiente hoja corresponde a la desviación estándar de cada día del mes, calculada a partir de los valores de la Hoja 2; se utiliza la fórmula de Excel **DESVEST** la cual calcula la desviación estándar de un conjunto de celdas. Posteriormente se grafica la Desviación Estándar Diaria, con los valores ya obtenidos. En la última hoja, se muestra la Desviación Estándar calculada para cada turno (mañana, tarde y noche) (Figura 5.7) y esta se asocia a cada trabajador del personal de turnos. De igual manera se calcula el promedio, el valor máximo y el valor mínimo de desviación estándar para cada operador, así como el total de turnos que le corresponden; estos valores se obtienen mediante las fórmulas de Excel **PROMEDIO**, **MAX**, **MIN** y **CONTARA** respectivamente, y se asocian al rango de celdas correspondientes a cada operador.

	Noche	Mañana	Tarde
01/11/2013	0.037976	0.030234	0.024826
02/11/2013	0.035232	0.032570	0.030212
03/11/2013	0.037317	0.030695	0.024356
04/11/2013	0.034391	0.027603	0.024436
05/11/2013	0.031503	0.026846	0.022225
06/11/2013	0.030575	0.026782	0.021887
07/11/2013	0.034193	0.027489	0.022702
08/11/2013	0.028147	0.026911	0.024206
09/11/2013	0.034996	0.029982	0.028487
10/11/2013	0.036287	0.029912	0.024339
11/11/2013	0.035375	0.028577	0.025095
12/11/2013	0.041967	0.028996	0.021655
13/11/2013	0.033534	0.031308	0.022555
14/11/2013	0.034652	0.027358	0.028916
15/11/2013	0.039172	0.027864	0.030830
16/11/2013	0.031952	0.036246	0.034140
17/11/2013	0.027917	0.028736	0.029536
18/11/2013	0.032441	0.028115	0.024176
19/11/2013	0.033060	0.029113	0.023815
20/11/2013	0.026695	0.024690	0.023170
21/11/2013	0.036214	0.029518	0.026710
22/11/2013	0.029681	0.028986	0.026098
23/11/2013	0.031875	0.029385	0.030177
24/11/2013	0.032453	0.027036	0.021480
25/11/2013	0.027045	0.031277	0.025336
26/11/2013	0.031328	0.028574	0.024206
27/11/2013	0.031938	0.031361	0.028702
28/11/2013	0.030835	0.032707	0.027046
29/11/2013	0.031572	0.029865	0.030773
30/11/2013	0.031732	0.032324	0.035240

Figura 5.7. Desviación Estándar por turno.

Sin embargo, debido a que existen cambios en los turnos constantemente, modificar las fórmulas para seleccionar las celdas que corresponden a los turnos de cada operador se vuelve una tarea muy difícil. Es por ello que se asoció un determinado color a cada operador y se aplicó el formato al archivo de Excel (Figura 5.8). De esta manera resulta más sencillo identificar los turnos de cada operador y así modificar más fácil las fórmulas.

Los operadores están señalados por sus iniciales, en los tres cuadros en el centro de la Figura 5.8. Los 3 cuadros corresponden al puesto (Jefe de Turno, Supervisor y Auxiliar).

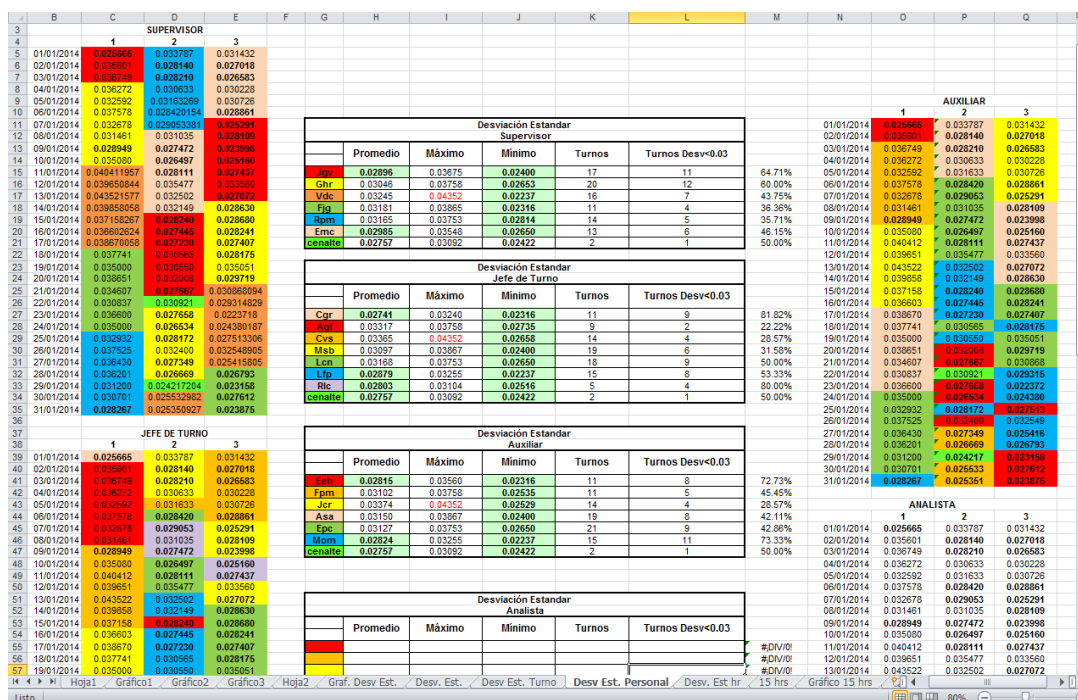
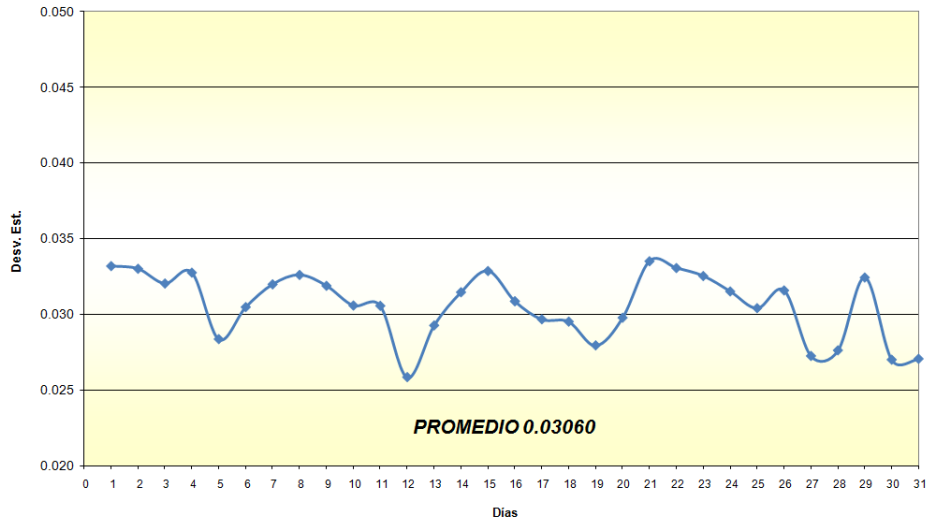


Figura 5.8. Desviación Estándar por Puesto y Turno.

A la derecha de los cuadros de Desviación Estándar para cada operador (Figura 5.8) aparece un porcentaje, el cual es la calificación asignada a cada operador en cuanto a su desviación estándar. Se utiliza la fórmula **CONTAR.SI** para obtener el número de turnos que el operador obtuvo una desviación estándar menor a 0.03 Hz y se divide entre el número total de turnos que ha ejercido, para obtener la calificación del operador. Al obtener una desviación estándar por debajo de 0.03 significa que se está mejorando el control de frecuencia en comparación con las desviaciones estándar de los años previos. Y por medio de esta evaluación se busca que, al ocurrir el fenómeno de facilitación social, el control de frecuencia mejore y así aumente la seguridad y calidad del suministro de energía eléctrica.

El promedio de Desviación Estándar del mes de Diciembre de 2013 fue de 0.0306 Hz y su comportamiento se muestra en la Figura 5.9. Con este dato, el promedio de Desviación Estándar de Frecuencia en el 2013 resultó de 0.032 Hz.



**Figura 5.9. Desviación Estándar de Frecuencia, Diciembre 2013.**

Durante el mes de Diciembre de 2013, la mejor desviación estándar se obtuvo en los turnos de las tardes, a diferencia de las noches, donde se tuvieron desviaciones altas (Figura 5.10).

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DICIEMBRE 2013			
01/12/2013	0.036215	0.030688	0.030689
02/12/2013	0.037000	0.034123	0.027622
03/12/2013	0.039416	0.028999	0.023172
04/12/2013	0.037282	0.032092	0.025043
05/12/2013	0.033738	0.028883	0.022208
06/12/2013	0.033270	0.029092	0.026200
07/12/2013	0.034261	0.030113	0.029394
08/12/2013	0.034187	0.031394	0.030486
09/12/2013	0.037101	0.031612	0.025198
10/12/2013	0.034515	0.030080	0.027595
11/12/2013	0.033380	0.029556	0.026684
12/12/2013	0.029589	0.024678	0.022691
13/12/2013	0.030267	0.030052	0.027046
14/12/2013	0.033040	0.028711	0.028723
15/12/2013	0.034312	0.030439	0.032102
16/12/2013	0.036174	0.029041	0.027219
17/12/2013	0.033211	0.028529	0.026725
18/12/2013	0.033968	0.028760	0.024847
19/12/2013	0.029559	0.025138	0.026338
20/12/2013	0.036021	0.028017	0.021819
21/12/2013	0.040029	0.031084	0.024746
22/12/2013	0.036187	0.030451	0.030068
23/12/2013	0.037674	0.029974	0.026229
24/12/2013	0.037352	0.029946	0.028598
25/12/2013	0.029322	0.030794	0.028990
26/12/2013	0.035639	0.030545	0.026234
27/12/2013	0.029035	0.026825	0.025564
28/12/2013	0.028673	0.027911	0.025123
29/12/2013	0.030765	0.033145	0.032915
30/12/2013	0.030973	0.024874	0.023749
31/12/2013	0.026712	0.027045	0.025343

**Figura 5.10. Desviación Estándar por Turno, Diciembre de 2013.**

El puesto cuya responsabilidad es mantener la frecuencia en 60 Hz es el Supervisor. En la Figura 5.11 se puede observar que el operador con la evaluación más baja fue RPM (35.71 %), obteniendo 5 turnos con desviación estándar menor a 0.03 Hz de un total de 14 turnos. La desviación estándar más alta la obtuvo EMC (0.04003 Hz). Cabe resaltar que de los 7 supervisores de Diciembre de 2013, 5 obtuvieron una evaluación menor al 60%. Sin embargo, la evaluación de este mes no fue mostrada al personal de turnos; esta se mostró a partir del mes de Enero de 2014.

Desviación Estandar						
Supervisor						
	Promedio	Máximo	Minimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
VDC	0.03062	0.03942	0.02269	20	11	55.00%
FJG	0.02930	0.03710	0.02182	21	11	52.38%
RPM	0.03125	0.03617	0.02375	14	5	35.71%
EMC	0.03382	0.04003	0.02534	8	3	37.50%
JGV	0.02990	0.03209	0.02671	13	5	38.46%
GHR	0.02734	0.03049	0.02221	14	11	78.57%
RLC	0.02794	0.02899	0.02623	3	3	100.00%

Desviación Estandar						
Jefe de Turno						
	Promedio	Máximo	Minimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
CVS	0.03203	0.03942	0.02534	12	1	8.33%
MSB	0.03188	0.03710	0.02487	11	3	27.27%
LFP	0.02953	0.03617	0.02221	15	7	46.67%
LCN	0.03109	0.04003	0.02269	21	11	52.38%
CGR	0.02803	0.03564	0.02182	17	11	64.71%
AGF	0.02844	0.03291	0.02375	17	11	64.71%

Desviación Estandar						
Auxiliar						
	Promedio	Máximo	Minimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
JCR	0.03273	0.03942	0.02682	12	4	33.33%
ASA	0.02892	0.03710	0.02182	20	12	60.00%
EPC	0.03227	0.03617	0.02759	8	2	25.00%
MOM	0.03159	0.04003	0.02269	15	7	46.67%
EEH	0.02957	0.03412	0.02468	21	11	52.38%
FPM	0.02745	0.03291	0.02221	17	13	76.47%

Figura 5.11. Desviación Estándar por Puesto, Diciembre 2013.

## 5.2 Enero de 2014.

Comencé a realizar una presentación de Microsoft PowerPoint de Control de Frecuencia y Enlaces en el Sistema Interconectado Nacional diariamente, a partir del 24 de Enero de 2014, la cual incluía:

- Gráficas de los tiempos fuera de las bandas de frecuencia 59.80-60.20 Hz, 59.85-60.15 Hz, 59.90-60.10 Hz y 59.95-60.05 Hz.
- Tablas de los tiempos continuos dentro de las 4 bandas.
- Tablas del Resumen de comportamiento de la frecuencia para cada una de las 4 bandas.
- Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia.

- Resumen de la Desviación Estándar de frecuencia mensual.
- Desviación Estándar Personal por Puesto.
- Enlaces Violados durante el mes.
- Resumen de Enlaces Violados durante el mes.
- Error de Tiempo.

Esta presentación se enviaba directamente al correo personal de cada uno de los operadores diariamente, de tal forma que podían observar tanto el comportamiento de la frecuencia en los días pasados así como su desempeño en cuanto a Control de Frecuencia reflejado en una evaluación de Desviación de Estándar. De igual manera, el jefe del Departamento de Operación y Despacho en Tiempo Real, el Ingeniero Gabriel García Rojas (a quien yo enviaba las presentaciones), imprimió las tablas de promedios, máximos, mínimos y evaluación de desviación estándar y colocó las hojas en un muro, a la vista de todos los operadores.

La desviación estándar de frecuencia para el mes de Enero de 2014 fue de 0.03145 Hz y su comportamiento se muestra en la Figura 5.12. Al ver las desviaciones estándar por turno del mes de Enero de 2014 (Figura 5.13), se sigue observando que durante las noches la desviación es mayor que en las mañanas y las tardes. También se aprecia que, aún para los turnos de noches, al final de Enero mejora un poco la desviación estándar (desde el 29 del mismo mes).

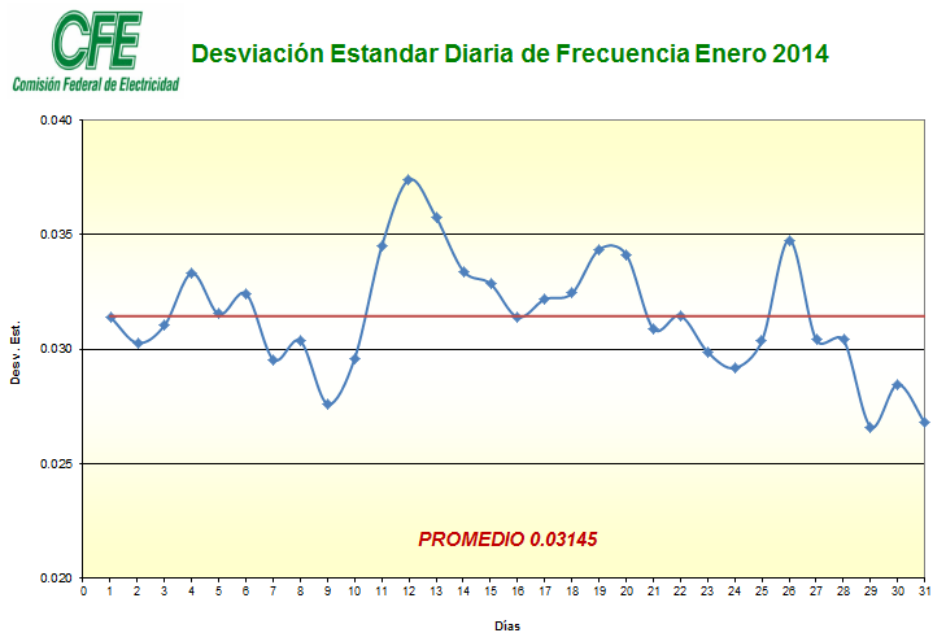


Figura 5.12. Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia, Enero 2014.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR ENERO 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/01/2014	0.025665	0.033787	0.031432
02/01/2014	0.035601	0.028140	0.027018
03/01/2014	0.036749	0.028210	0.026583
04/01/2014	0.036272	0.030633	0.030228
05/01/2014	0.032592	0.031633	0.030726
06/01/2014	0.037578	0.028420	0.028861
07/01/2014	0.032678	0.029053	0.025291
08/01/2014	0.031461	0.031035	0.028109
09/01/2014	0.028949	0.027472	0.023998
10/01/2014	0.035080	0.026497	0.025160
11/01/2014	0.040412	0.028111	0.027437
12/01/2014	0.039651	0.035477	0.033560
13/01/2014	0.043522	0.032502	0.027072
14/01/2014	0.039858	0.032149	0.028630
15/01/2014	0.037158	0.028240	0.028680
16/01/2014	0.036603	0.027445	0.028241
17/01/2014	0.038670	0.027230	0.027407
18/01/2014	0.037741	0.030565	0.028175
19/01/2014	0.035000	0.030550	0.035051
20/01/2014	0.038651	0.032008	0.029719
21/01/2014	0.034607	0.027667	0.030868
22/01/2014	0.030837	0.030921	0.029315
23/01/2014	0.036600	0.027658	0.022372
24/01/2014	0.035000	0.026534	0.024380
25/01/2014	0.032932	0.028172	0.027513
26/01/2014	0.037525	0.032400	0.032549
27/01/2014	0.036430	0.027349	0.025416
28/01/2014	0.036201	0.026669	0.026793
29/01/2014	0.031200	0.024217	0.023158
30/01/2014	0.030701	0.025533	0.027612
31/01/2014	0.028267	0.025351	0.023875

Figura 5.13. Desviación Estándar por Turno, Enero 2014.

La evaluación más baja fue de nuevo del operador RPM (35.71%), obteniendo 5 turnos de desviación menor a 0.03 Hz de un total de 14 turnos ejercidos, al igual que el mes de Diciembre de 2013. El CENALTE<sup>11</sup> ejerció el control de dos turnos del mes. La evaluación resultó similar a la del mes de Diciembre de 2013, al ser 5 operadores de 7 (contando al CENALTE) los que obtuvieron una evaluación menor al 60% (Figura 5.14).

Otra característica de la frecuencia que se considera para el Control de Frecuencia además de su desviación estándar, es el tiempo que permanece fuera de cada una de las cuatro bandas que se monitorean en el CENACE. Para obtener esta característica, en el Centro Nacional de Control de Energía

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
JGV	0.02896	0.03675	0.02400	17	11	64.71%
GHR	0.03046	0.03758	0.02653	20	12	60.00%
VDC	0.03245	0.04352	0.02237	16	7	43.75%
FJG	0.03181	0.03865	0.02316	11	4	36.36%
RPM	0.03165	0.03753	0.02814	14	5	35.71%
EMC	0.02985	0.03548	0.02650	13	6	46.15%
cenalte	0.02757	0.03092	0.02422	2	1	50.00%

Desviación Estándar Jefe de Turno						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
CGR	0.02741	0.03240	0.02316	11	9	81.82%
AGF	0.03317	0.03758	0.02735	9	2	22.22%
CVS	0.03365	0.04352	0.02658	14	4	28.57%
MSB	0.03097	0.03867	0.02400	19	6	31.58%
LCN	0.03168	0.03753	0.02650	18	9	50.00%
LFP	0.02879	0.03255	0.02237	15	8	53.33%
RLC	0.02803	0.03104	0.02516	5	4	80.00%
cenalte	0.02757	0.03092	0.02422	2	1	50.00%

Desviación Estándar Auxiliar						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
EEH	0.02815	0.03560	0.02316	11	8	72.73%
FPM	0.03102	0.03758	0.02535	11	5	45.45%
JCR	0.03374	0.04352	0.02529	14	4	28.57%
ASA	0.03150	0.03867	0.02400	19	8	42.11%
EPC	0.03127	0.03753	0.02650	21	9	42.86%
MOM	0.02824	0.03255	0.02237	15	11	73.33%
cenalte	0.02757	0.03092	0.02422	2	1	50.00%

Figura 5.14. Desviación Estándar por Puesto, Enero 2014.

<sup>11</sup> CENALTE. Centro de control alterno (ubicado en Puebla)

desarrollaron un programa en macros de Excel para que al ejecutarlo, leyera los 43201 datos de frecuencia por día del archivo antes mencionado y los comparara con cada una de las bandas o límites. Al detectar una violación, escribe sobre otro archivo de Excel (un archivo por cada banda) las características de esta violación: la fecha, hora, el tiempo que estuvo fuera, y el valor de frecuencia mínimo o máximo que alcanzó; además de un texto que indica si estuvo por encima de la banda o por debajo de esta (Figura 5.15).

Inicio	Penalización	Máx. Valor	Estado	Tiempo dentro
30/dic/13 08:02:08	0:00:02	60.1042	MAYOR 60.10	
01/ene/14 09:29:28	0:00:08	60.1122	MAYOR 60.10	49:27:20
01/ene/14 10:25:34	0:00:32	60.1225	MAYOR 60.10	0:56:06
01/ene/14 10:26:08	0:00:28	60.1195	MAYOR 60.10	0:00:34
01/ene/14 13:39:44	0:00:04	60.1036	MAYOR 60.10	3:13:36
01/ene/14 14:53:08	0:00:52	60.1211	MAYOR 60.10	1:13:24
01/ene/14 14:54:06	0:00:10	60.1421	MAYOR 60.10	0:00:58
01/ene/14 18:11:18	0:00:04	60.1016	MAYOR 60.10	3:17:12
01/ene/14 22:04:16	0:00:08	59.8874	MENOR 59.90	3:52:58
01/ene/14 22:05:48	0:00:36	59.8748	MENOR 59.90	0:01:32
01/ene/14 22:16:18	0:00:10	60.1085	MAYOR 60.10	0:10:30

Figura 5.15. Datos obtenidos en los archivos de Tiempo Fuera de las Bandas.

En el archivo se encuentra también una tabla con el resumen de los tiempos fuera de las bandas (Figura 5.17) la cual obtiene sus datos de los mostrados en la Figura 35. En esta se calcula, por día, las veces que estuvo fuera, la mínima o máxima frecuencia alcanzada así como su hora, el tiempo máximo que se encontró fuera y el Tiempo Fuera acumulado durante el mes. Este último se grafica en una hoja de Excel adicional, y se compara con otros valores acumulados correspondientes a la meta. La meta corresponde al promedio de los tiempos fuera de cada una de las cuatro bandas de cada día de la semana del año inmediato anterior. Es decir, se obtiene el promedio del tiempo fuera para cada banda de todos los Lunes del 2013, de los Martes, de los Miércoles, etc. Este promedio que calculé se muestra en la Figura 5.16.

Banda 59.80 - 60.20		Banda 59.85 - 60.15		Banda 59.90 - 60.10		Banda 59.95 - 60.05	
	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio
Lunes	00:00:02	Lunes	00:00:18	Lunes	00:06:59	Lunes	02:54:50
Martes	00:00:00	Martes	00:00:13	Martes	00:04:46	Martes	02:41:44
Miércoles	00:00:03	Miércoles	00:00:13	Miércoles	00:05:05	Miércoles	02:39:38
Jueves	00:00:00	Jueves	00:00:03	Jueves	00:02:50	Jueves	02:28:25
Viernes	00:00:10	Viernes	00:00:27	Viernes	00:04:23	Viernes	02:41:28
Sábado	00:00:01	Sábado	00:00:08	Sábado	00:06:09	Sábado	03:09:52
Domingo	00:00:07	Domingo	00:00:31	Domingo	00:09:22	Domingo	03:41:44

Figura 5.16. Promedio de tiempos fuera de banda semanal del 2013.

RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO FUERA DE LA FRECUENCIA EN LA BANDA 59.90 A 60.10 HZ												SOR03-01	31
MES DE ENERO 2014												Ejecutar	
Día	# veces fuera			tiempo fuera			mínima frecuencia		máxima frecuencia		maximo tiempo		Acumulado
	baja	alta	total	baja	alta	total	hora	valor	hora	valor	baja	alta	
1	2	9	11	00:00:44	0:02:34	00:03:18	22:05:48	59.8748	14:54:06	60.1421	00:00:36	00:00:52	0:03:18
2	1	3	4	00:00:02	0:01:12	00:01:14	22:32:02	59.8969	02:22:16	60.1271	00:00:02	00:00:38	0:04:32
3	4	3	7	00:01:14	0:00:56	00:02:10	05:48:38	59.8138	05:58:04	60.1427	00:00:52	00:00:36	0:06:42
4	0	15	15	00:00:00	00:02:04	00:02:04			02:56:34	60.1335		00:00:26	0:08:46
5	2	10	12	00:00:06	00:00:46	00:00:52	15:33:12	59.8966	03:29:00	60.1101	00:00:04	00:00:08	0:09:38
6	8	18	26	00:00:50	00:03:12	00:04:02	06:30:18	59.8852	05:58:38	60.1439	00:00:14	00:00:58	0:13:40
7	1	0	1	00:00:04	0:00:00	00:00:04	09:18:18	59.8959			00:00:04		0:13:44
8	3	19	22	0:00:36	00:02:40	00:03:16	07:00:30	59.8787	13:00:44	60.1225	0:00:22	00:00:34	0:17:00
9	0	1	1	00:00:00	00:00:08	00:00:08			06:37:56	60.1130		00:00:08	0:17:08
10	5	14	19	00:01:22	00:02:00	00:03:22	09:17:44	59.8831	06:22:32	60.1228	00:00:40	00:00:22	0:20:30
11	23	34	57	00:05:16	0:05:50	00:11:06	05:03:10	59.7991	05:58:20	60.1480	00:01:34	00:00:38	0:31:36
12	22	39	61	00:03:50	00:04:44	00:08:34	08:14:20	59.8720	08:20:54	60.1267	00:01:08	00:00:38	0:40:10
13	5	46	51	00:03:06	0:14:42	00:17:48	11:15:24	59.8713	08:02:10	60.1448	00:01:40	00:03:32	0:57:58
14	4	18	22	00:00:56	00:05:14	00:06:10	11:27:10	59.8365	08:20:24	60.1379	00:00:26	00:01:32	1:04:08
15	3	13	16	00:00:54	00:08:10	00:09:04	23:28:52	59.8582	05:55:46	60.1399	00:00:50	00:04:12	1:13:12
16	4	10	14	00:00:46	00:01:38	00:02:24	23:16:40	59.8711	15:15:22	60.1266	00:00:40	00:00:48	1:15:36
17	8	19	27	00:00:40	00:02:08	00:02:48	00:18:12	59.8900	23:49:40	60.1299	00:00:10	00:00:20	1:18:24
18	6	23	29	00:00:38	00:03:48	00:04:26	06:06:08	59.8830	00:39:34	60.1199	00:00:14	00:00:56	1:22:50
19	5	28	33	00:01:36	00:05:30	00:07:06	00:34:40	59.8801	17:33:30	60.1718	00:01:00	00:01:58	1:29:56
20	2	14	16	00:01:44	00:02:04	00:03:48	03:57:58	59.8536	23:21:32	60.1369	00:01:36	00:00:28	1:33:44
21	1	14	15	00:00:08	00:07:02	00:07:10	04:53:16	59.8871	18:20:06	60.1560	00:00:08	00:02:30	1:40:54
22	1	22	23	00:00:04	00:01:54	00:01:58	12:31:12	59.8951	14:08:28	60.1189	00:00:04	00:00:14	1:42:52
23	6	7	13	00:01:24	00:00:48	00:02:12	05:47:28	59.8740	00:26:56	60.1269	00:00:48	00:00:22	1:45:04
24	5	2	7	00:00:48	00:00:22	00:01:10	05:37:14	59.8671	06:30:30	60.1217	00:00:20	00:00:20	1:46:14
25	2	9	11	00:00:36	00:01:14	00:01:50	06:22:52	59.8735	03:05:52	60.1235	00:00:28	00:00:16	1:48:04
26	8	7	15	00:03:34	00:00:32	00:04:06	06:31:40	59.8652	19:45:06	60.1131	00:01:42	00:00:08	1:52:10
27	4	4	8	00:00:22	00:00:32	00:00:54	00:26:10	59.8814	23:11:16	60.1124	00:00:12	00:00:14	1:53:04
28	9	3	12	00:02:40	00:00:14	00:02:54	05:45:22	59.8715	08:20:58	60.1115	00:01:04	00:00:08	1:55:58
29	1	7	8	00:00:04	00:01:42	00:01:46	23:35:36	59.8980	05:56:24	60.1230	00:00:04	00:00:36	1:57:44
30	3	1	4	00:00:40	00:00:08	00:00:48	18:43:22	59.8781	08:16:00	60.1100	00:00:20	00:00:08	1:58:32
31	1	2	0	00:01:30	00:00:28	00:01:58	06:11:34	59.8361	23:57:00	60.1328	00:01:30	00:00:24	2:00:30
PROMEDIOS	5	13	18	00:01:10	00:02:43	00:03:53	01:39:49	59.8706	05:47:38	60.1297	00:00:39	00:00:50	
TOTALES	149	414	563	0:36:14	1:24:16	2:00:30							

Figura 5.17. Resumen de tiempos fuera de la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz, Enero 2014.

El 11 de Enero de 2014 a las 5:03 am se violó la banda 59.80-60.20 durante 2 segundos, al llegar a un valor de 59.799 Hz. En este turno de la mañana se encontraba el operador VDC como supervisor. Él ejerció un total de 16 turnos, que corresponden al 17.2% del total de turnos del mes (Figura 5.18), y fue el único que violó la banda en Enero de 2014. Al observar esto, el Ingeniero Gabriel García Rojas Vasallo habló con el operador VDC, con el objetivo de averiguar qué sucedió en ese momento y procurar que no se vuelva a salir la frecuencia de esta última banda.

SUPERVISOR 59.80 - 60.20					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	17	0:00:00	0.00%	18.28%
GHR	0:00:00	20	0:00:00	0.00%	21.51%
VDC	0:00:02	16	0:00:00	100.00%	17.20%
FJG	0:00:00	11	0:00:00	0.00%	11.83%
RPM	0:00:00	14	0:00:00	0.00%	15.05%
EMC	0:00:00	13	0:00:00	0.00%	13.98%
cenalte	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.15%
TOTAL	0:00:02	93	0:00:00	100.00%	100.00%
META	00:01:58	93	00:00:01	100.00%	100.00%

Figura 5.18. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda de frecuencia 59.80-60.20 Hz del Supervisor, Enero 2014.

En la banda de frecuencia 59.85-60.15, de una meta esperada de 8 minutos con 37 segundos fuera de la banda, sólo se salió 1 minuto con 46 segundos (Figura 5.19). Por medio de la tabla de la Figura 5.20 se puede observar que los dos operadores en cuyos turnos se tuvo un mayor tiempo fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 fueron VDC y GHR, con 56 y 28 segundos respectivamente.



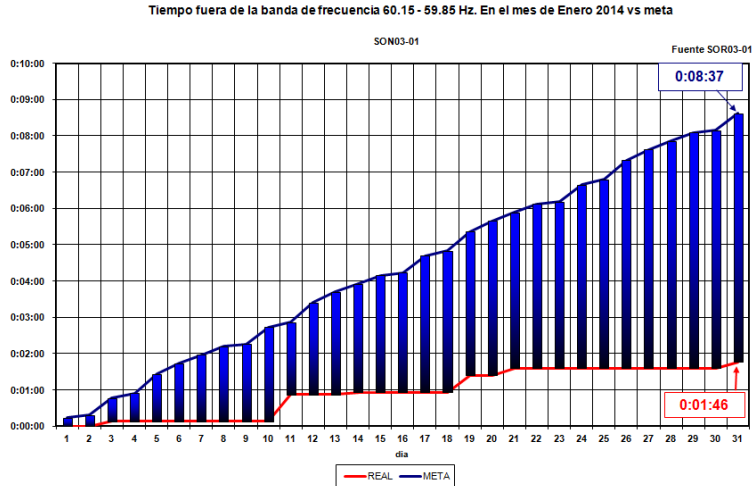


Figura 5.19. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Enero de 2014.

Para la banda de frecuencia 59.90-60.10, de una meta de 2 horas 50 minutos y 52 segundos, la frecuencia sólo se mantuvo fuera 2 horas y 30 segundos (Figura 5.21). El operador responsable del 43.32% de este tiempo total fuera de banda fue VDC, quien durante sus turnos la frecuencia permaneció 51 minutos fuera de la banda (Figura 5.22).

SUPERVISOR 59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Jgv	0:00:08	17	0:00:00	7.55%	18.28%
Ghr	0:00:28	20	0:00:01	26.42%	21.51%
Vdc	0:00:56	16	0:00:04	52.83%	17.20%
Fjg	0:00:00	11	0:00:00	0.00%	11.83%
Rpm	0:00:10	14	0:00:01	9.43%	15.05%
Emc	0:00:04	13	0:00:00	3.77%	13.98%
cenalte	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.15%
	0:01:46	93	0:00:01	100.00%	100.00%
<b>META</b>	<b>00:08:37</b>	<b>93</b>	<b>00:00:06</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>

Figura 5.20. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Enero 2014.

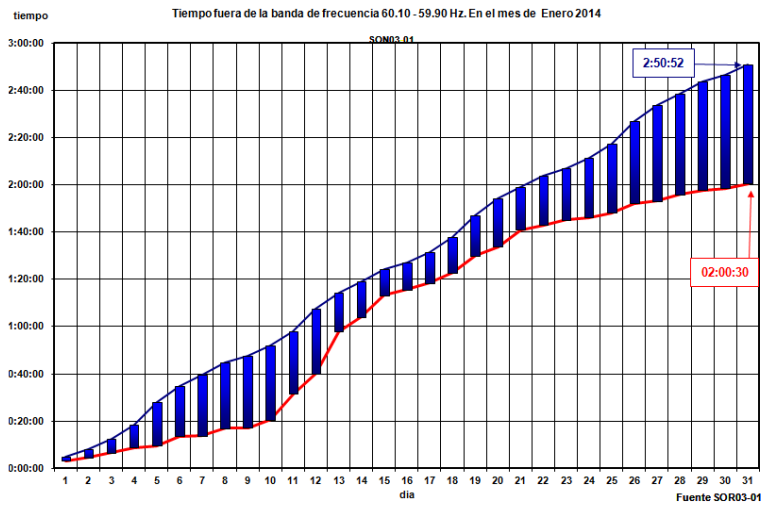


Figura 5.21. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.10-59.90 Hz en el mes de Enero de 2014. (Línea roja corresponde al tiempo real y la línea azul al tiempo meta).

SUPERVISOR 59.90 - 60.10					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Jgv	0:11:20	17	0:00:40	9.63%	18.28%
Ghr	0:16:34	20	0:00:50	14.07%	21.51%
Vdc	0:51:00	16	0:03:11	43.32%	17.20%
Fjg	0:14:00	11	0:01:16	11.89%	11.83%
Rpm	0:13:56	14	0:01:00	11.83%	15.05%
Emc	0:10:18	13	0:00:48	8.75%	13.98%
cenaite	0:00:36	2	0:00:18	0.51%	2.15%
	<b>1:57:44</b>	<b>93</b>	<b>0:01:16</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>02:50:52</b>	<b>93</b>	<b>00:01:50</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>

Figura 5.22. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.90-60.10 Hz del Supervisor, Enero 2014.

Para la última banda de frecuencia (59.95-60.05 Hz) el tiempo fuera real fue de 84 horas 30 minutos y 50 segundos, con una meta de 89 horas y 11 segundos. En la gráfica de la Figura 5.23 se puede observar que el tiempo real permaneció muy cerca del tiempo meta a lo largo del mes e incluso, del 20 al 26 de Enero, estuvo por encima de esta. Esto se traduce en que es necesario, para lograr una mejora continua en calidad y seguridad, disminuir el tiempo fuera de la banda de frecuencia 59.95-60.05 Hz. En la tabla de la Figura 5.24 se aprecia que el tiempo fuera de esta banda durante el mes de Enero de 2014 resulta más uniforme para todos los operadores en comparación con las otras tres bandas. Sin embargo los dos operadores cuyo porcentaje de tiempo fuera de esta banda fue superior al 20% son GHR y VDC, con 18 horas para GHR y 17 horas 26 minutos y 18 segundos para VDC.

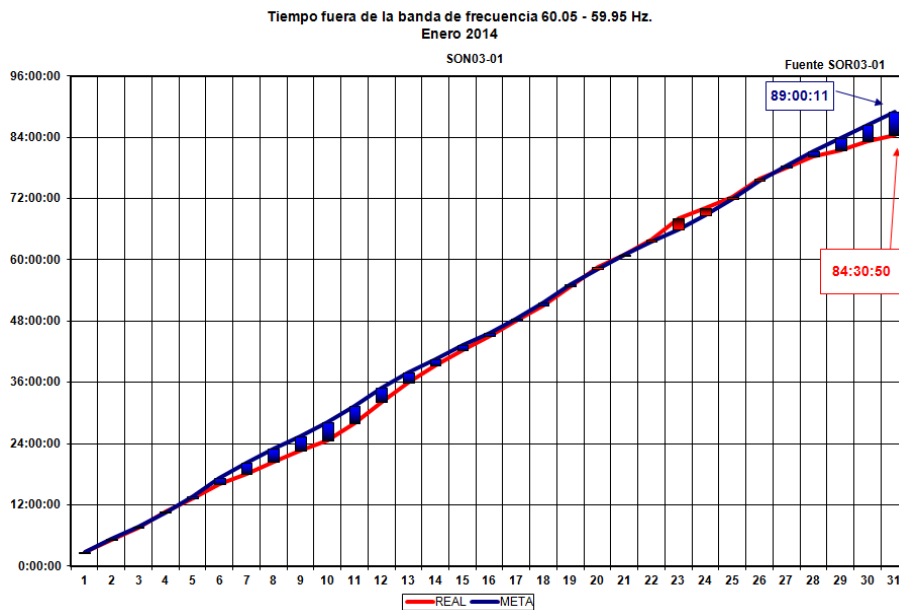


Figura 5.23. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.05-59.95 Hz en el mes de Enero de 2014.

SUPERVISOR 59.95 - 60.05					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Jgv	12:00:40	17	0:42:24	14.48%	18.28%
Ghr	18:00:00	20	0:54:00	21.70%	21.51%
Vdc	17:26:18	16	1:05:24	21.03%	17.20%
Fjg	13:08:50	11	1:11:43	15.85%	11.83%
Rpm	11:50:30	14	0:50:45	14.28%	15.05%
Emc	9:26:28	13	0:43:34	11.38%	13.98%
cenaite	1:03:36	2	0:31:48	1.28%	2.15%
	82:56:22	93	0:53:31	100.00%	100.00%
META	89:00:11	93	00:57:25		

Figura 5.24. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.95-60.05 Hz del Supervisor, Enero 2014.

Respecto a la estadística de enlaces, en el mes de Enero se violaron un total de 109 enlaces. El porcentaje total de energía que se encontró dentro del límite fue de 99.2%.

### 5.3 Febrero de 2014.

En el mes de Febrero de 2014 la desviación estándar de frecuencia fue muy alta a principios de este mes (el 1, 2 y 3 de Febrero fue superior a 0.035 Hz). Sin embargo, a lo largo de este mes la desviación estándar disminuyó; el promedio de esta fue de 0.03147 Hz (Figura 5.25). Este comportamiento se refleja también en la tabla de la Figura 5.26, en donde se resalta además que la desviación estándar de frecuencia incrementó del turno de la noche al de la tarde, y de principios de mes a finales.

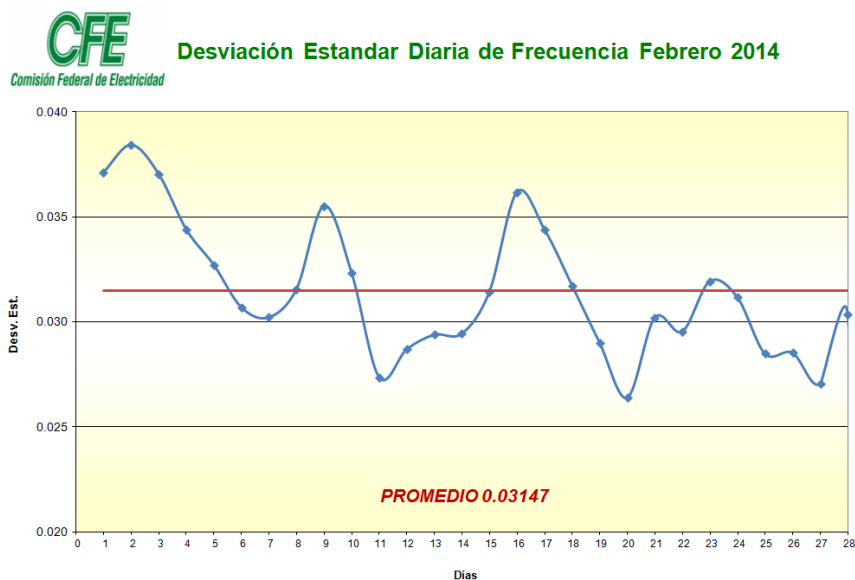


Figura 5.25. Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia, Febrero 2014.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR FEBRERO 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/02/2014	0.041397	0.035515	0.030591
02/02/2014	0.045836	0.032512	0.030389
03/02/2014	0.044457	0.029978	0.031708
04/02/2014	0.041334	0.032116	0.029589
05/02/2014	0.040797	0.030893	0.026922
06/02/2014	0.034064	0.029113	0.026263
07/02/2014	0.035008	0.027847	0.025606
08/02/2014	0.031287	0.029192	0.033902
09/02/2014	0.032617	0.034582	0.039034
10/02/2014	0.035104	0.029493	0.031029
11/02/2014	0.029211	0.024897	0.028697
12/02/2014	0.029002	0.026466	0.029285
13/02/2014	0.029975	0.028132	0.028974
14/02/2014	0.032956	0.029505	0.024701
15/02/2014	0.030065	0.030776	0.033087
16/02/2014	0.034726	0.036145	0.035973
17/02/2014	0.042215	0.028603	0.029977
18/02/2014	0.038338	0.029058	0.025590
19/02/2014	0.031295	0.028409	0.025599
20/02/2014	0.028600	0.025822	0.022834
21/02/2014	0.034927	0.029848	0.023768
22/02/2014	0.029633	0.028413	0.030096
23/02/2014	0.030727	0.034007	0.029009
24/02/2014	0.036061	0.030077	0.025427
25/02/2014	0.032197	0.026788	0.024136
26/02/2014	0.031670	0.025497	0.027048
27/02/2014	0.029897	0.028753	0.022240
28/02/2014	0.035570	0.026958	0.022989

Figura 5.26. Desviación Estándar de frecuencia por turno, Febrero 2014.

Sin contar los dos turnos en los que el CENALTE tomó el control del sistema, dos de los seis operadores que ejercieron sus turnos en el mes de Febrero de 2014 obtuvieron una evaluación superior al 60% (Figura 5.27). El operador RPM obtuvo una evaluación del 100%, al tener 3 turnos con desviación estándar menor a 0.03 Hz de un total de 3 turnos. El segundo, JGV, de un total de 15 turnos, 10 turnos obtuvo una desviación estándar menor a 0.03 Hz, con lo que obtuvo una evaluación del 66.67%. El operador VDC obtuvo una evaluación de 37.5%, la más baja del mes de Febrero, al obtener sólo 6 turnos de desviación estándar menor a 0.03 Hz de un total de 16 turnos. GHR obtuvo una evaluación de 47.06%, la segunda más baja del mes.

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Rlc	0.03356	0.04584	0.02470	20	9	45.00%
Jgv	0.02884	0.03510	0.02283	15	10	66.67%
Ghr	0.03087	0.04221	0.02224	17	8	47.06%
Vdc	0.03168	0.03614	0.02647	16	6	37.50%
Fjg	0.02950	0.03458	0.02490	11	6	54.55%
Rpm	0.02772	0.02906	0.02550	3	3	100.00%
cenalte	0.02486	0.02559	0.02414	2	2	100.00%

Desviación Estándar Jefe de Turno						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Lfp	0.04276	0.04584	0.04080	5	0	0.00%
Cgr	0.03190	0.03510	0.02900	10	2	20.00%
Agf	0.03133	0.04221	0.02550	21	9	42.86%
Msb	0.03102	0.03606	0.02470	20	10	50.00%
Cvs	0.02851	0.03614	0.02283	15	11	73.33%
Lcn	0.02766	0.03401	0.02224	11	10	90.91%
cenalte	0.02486	0.02414	0.02559	2	2	100.00%

Desviación Estándar Auxiliar						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Mom	0.03455	0.04584	0.02550	12	5	41.67%
Eeh	0.03132	0.03510	0.02900	11	4	36.36%
Fpm	0.03235	0.04221	0.02561	16	5	31.25%
Jcr	0.03104	0.03606	0.02470	20	10	50.00%
Asa	0.02841	0.03614	0.02283	14	10	71.43%
Epc	0.02754	0.03401	0.02224	9	3	33.33%
cenalte	0.02486	0.02559	0.02414	2	2	100.00%

Figura 5.27. Desviación Estándar por Puesto, Febrero 2014.

En todo el mes de Febrero de 2014 no se violó la banda de frecuencia 59.80-60.20 Hz.

El tiempo en el que la frecuencia se mantuvo por fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Febrero de 2014 fue de 5 minutos con 10 segundos, siendo la meta 7 minutos con 51 segundos. En la gráfica de la Figura 5.28 se observa que del 1 al 15 de febrero, el tiempo fuera de esta banda estuvo por encima del tiempo meta, y del 16 hasta finalizar Febrero, se invirtió, lo que se refleja en un mejor Control de Frecuencia, referido a esta banda. El operador en cuyos turnos la frecuencia estuvo más tiempo fuera de la banda 60.15-59.85 Hz fue RLC, con un porcentaje del 42.58% del tiempo fuera total y 2 minutos con 12 segundos fuera de la banda. Le sigue VDC con un 38.71% del total de tiempo fuera y se mantuvo 2 minutos fuera de la banda. GHR es responsable del 18.71% restante, con 58 segundos fuera de la banda (Figura 5.29).

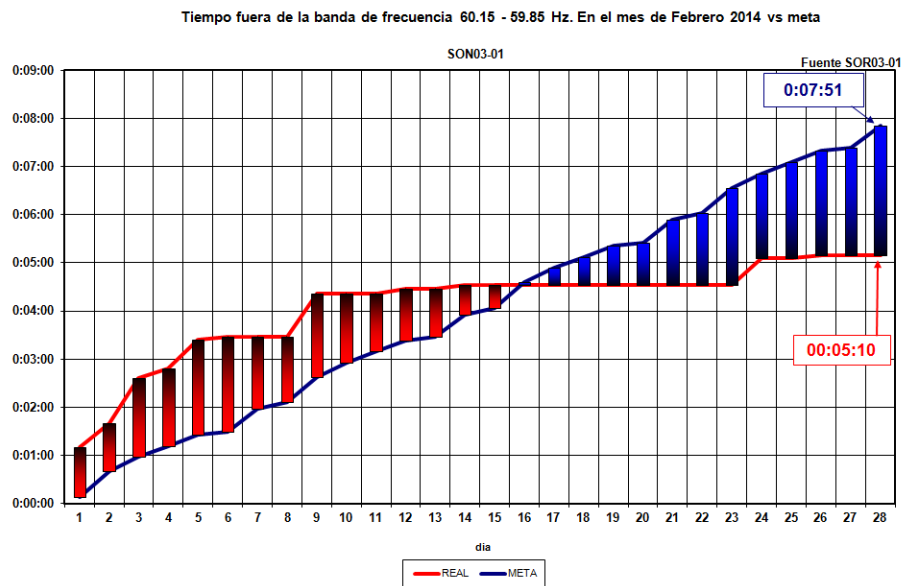


Figura 5.28. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Febrero de 2014.

SUPERVISOR					
59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
RLC	0:02:12	20	0:00:07	42.58%	23.81%
JGV	0:00:00	13	0:00:00	0.00%	15.48%
GHR	0:00:58	17	0:00:03	18.71%	20.24%
VDC	0:02:00	16	0:00:08	38.71%	19.05%
FJG	0:00:00	11	0:00:00	0.00%	13.10%
RPM	0:00:00	3	0:00:00	0.00%	3.57%
JGV	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.38%
cenalte	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.38%
<b>TOTAL</b>	<b>0:05:10</b>	<b>84</b>	<b>0:00:04</b>	<b>298.49%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>00:01:44</b>	<b>84</b>	<b>00:00:01</b>		<b>100.00%</b>

Figura 5.29. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Febrero 2014.

Para la banda 59.90-60.10 Hz en el mes de Febrero ocurrió el mismo comportamiento que en la banda 59.85-60.15 Hz; el tiempo fuera de banda disminuyó a lo largo del mes y

terminó por debajo de la meta a finales de este. El tiempo total fuera de la banda fue de 2 horas con 13 minutos y 18 segundos, mientras que la meta fue de 2 horas con 38 minutos y 32 segundos (Figura 5.30). El operador que más tiempo se mantuvo fuera de la banda fue RLC, con 1 hora 8 minutos y 50 segundos. El siguiente operador con mayor tiempo fuera fue VDC, con 30 minutos 58 segundos. Y en tercer lugar se encontró a GHR con 25 minutos y 34 segundos (Figura 5.31).

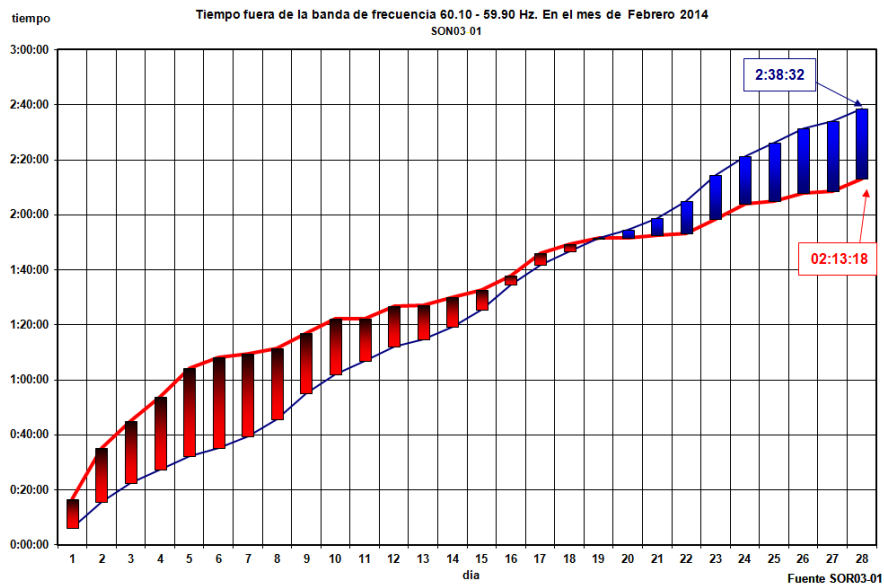


Figura 5.30. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.10-59.90 Hz en el mes de Febrero de 2014.

SUPERVISOR					
59.90 - 60.10					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
RLC	1:08:50	20	0:03:26	51.66%	23.81%
JGV	0:03:18	13	0:00:15	2.48%	15.48%
GHR	0:25:34	17	0:01:30	19.19%	20.24%
VDC	0:30:58	16	0:01:56	23.24%	19.05%
FJG	0:03:06	11	0:00:17	2.33%	13.10%
RPM	0:01:28	3	0:00:29	1.10%	3.57%
JGV	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.38%
cenalte	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.38%
TOTAL	2:13:14	84	0:01:35	7697.30%	100.00%
META	00:01:44	84	00:00:01		100.00%

Figura 5.31. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.90-60.10 Hz del Supervisor, Febrero 2014.

En la banda 59.95-60.05 Hz ocurrió el mismo comportamiento de tiempo fuera que en las dos bandas anteriores; a principios de mes se encontró por encima del tiempo meta pero a mediados de mes mejoró el tiempo y se colocó por debajo de esta. El tiempo total fuera de la banda de frecuencia 59.95-60.05 Hz en el mes de Febrero de 2014 fue de 72 horas 8 minutos y 8 segundos, mientras que el tiempo meta fue de 81 horas 10 minutos y 41 segundos. Los operadores que más tiempo estuvieron por fuera de la banda 59.95-60.05 Hz

en el mes de Febrero fueron RLC, VDC y GHR (22:18:46, 15:34:40, 14:53:48, respectivamente).

Respecto a la estadística de enlaces del SIN, fueron un total de 95 enlaces los que se violaron en el mes de Febrero de 2014 con un porcentaje total de 98.99% de tiempo dentro de los límites individuales de flujo de potencia.

A partir del mes de Febrero de 2014 realicé un archivo el cual muestra los enlaces que se violaron por encima del 60% de su límite de flujo de potencia (Figura 5.32). El enlace que se violó más veces en el mes (6 veces) fue el enlace de Chetumal (CALC ENL TUA) y el segundo fue el enlace de Camargo Dos-Gómez Palacio (CALC CGD-GPL).

DÍA	NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN DE LÍMITE	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA
1 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC CGD-GPL .AV	6:46:51	2:50:38	14:22:31	24:00:00	28.25	71.75	239.0158494	188.7713887
2 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	4:02:57	1:07:14	18:49:49	24:00:00	16.87	83.13	195.3907987	1309.374487
2 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC CGD-GPL .AV	7:17:06	6:04:18	10:38:36	24:00:00	30.35	69.65	210.3864122	90.17521372
4 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	6:44:43	0:24:28	16:50:49	24:00:00	28.11	71.89	170.2835188	1654.908372
5 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	6:16:03	0:20:54	17:23:03	24:00:00	26.11	73.89	175.4938268	1445.284318
7 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	9:23:23	0:26:34	14:10:03	24:00:00	39.12	60.88	143.3397365	857.1078117
12 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	6:21:27	0:29:14	17:09:19	24:00:00	26.49	73.51	173.6311037	1377.639375
14 de Febrero del 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	3:26:17	1:22:54	19:10:49	24:00:00	14.33	85.67	198.279425	1813.132168

Figura 5.32. Enlaces Violados por encima del 60% de su límite, Febrero 2014.

#### 5.4 Marzo de 2014.

En el mes de Marzo de 2014 el promedio de desviación estándar de frecuencia, que fue de 0.02933 Hz, disminuyó en comparación a Enero y Febrero del mismo año. Su comportamiento se puede observar en la Figura 5.33. En la Figura 5.34 se muestra cómo la desviación estándar disminuye a lo largo de Marzo, con excepción de la mitad del mes.



Figura 5.33. Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia, Marzo 2014.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR MARZO 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/03/2014	0.031097	0.025196	0.032336
02/03/2014	0.032404	0.032155	0.028503
03/03/2014	0.030768	0.027536	0.023116
04/03/2014	0.028201	0.024414	0.024216
05/03/2014	0.029619	0.025364	0.024645
06/03/2014	0.027828	0.024665	0.025779
07/03/2014	0.040187	0.026878	0.024376
08/03/2014	0.032490	0.029423	0.035655
09/03/2014	0.034640	0.028962	0.030341
10/03/2014	0.034065	0.027336	0.026362
11/03/2014	0.031358	0.028791	0.021956
12/03/2014	0.032655	0.029546	0.024020
13/03/2014	0.031165	0.029227	0.023621
14/03/2014	0.036210	0.025841	0.025152
15/03/2014	0.039481	0.028158	0.026248
16/03/2014	0.039830	0.040687	0.034880
17/03/2014	0.035619	0.031982	0.025679
18/03/2014	0.044158	0.028313	0.023057
19/03/2014	0.037816	0.027470	0.023927
20/03/2014	0.032986	0.031160	0.024608
21/03/2014	0.031130	0.028268	0.022727
22/03/2014	0.029481	0.027418	0.024859
23/03/2014	0.027973	0.027326	0.024652
24/03/2014	0.032122	0.027703	0.025776
25/03/2014	0.028535	0.028756	0.025945
26/03/2014	0.028755	0.027979	0.026133
27/03/2014	0.026785	0.022487	0.022558
28/03/2014	0.026040	0.023654	0.024003
29/03/2014	0.024101	0.025439	0.030907
30/03/2014	0.026953	0.027059	0.024749
31/03/2014	0.029938	0.027227	0.026110

Figura 5.34. Desviación Estándar de frecuencia por turno, Marzo 2014.

Hubo una notable mejoría en el mes de Marzo de 2014 respecto a la desviación estándar de frecuencia. Esta vez, 5 operadores de 7 (contando al CENALTE) obtuvieron una evaluación superior al 60% (Figura 5.35). El operador que obtuvo la evaluación más alta fue GHR (93.33%), quien en los meses de Enero y Febrero obtuvo una de las evaluaciones más bajas. El operador con la evaluación más baja en el mes de Marzo de 2014 (sin contar al CENALTE) fue RLC, con 42.86%. Esto debido a que sólo obtuvo 6 turnos con desviación estándar menor a 0.03 Hz de un total de 14 turnos.

En todo el mes de Marzo de 2014 no se violó la banda de frecuencia 59.80-60.20 Hz.

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Fjg	0.02795	0.03488	0.02196	18	13	72.22%
Rpm	0.02736	0.03464	0.02249	19	13	68.42%
Rlc	0.03153	0.04416	0.02256	14	6	42.86%
Jgv	0.02809	0.03215	0.02441	11	9	81.82%
Ghr	0.02752	0.03234	0.02312	15	14	93.33%
Vdc	0.02894	0.04069	0.02422	14	10	71.43%
cenalte	0.03820	0.04019	0.03621	2	0	0.00%

Desviación Estándar Jefe de Turno						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Cvs	0.02867	0.04069	0.02249	17	13	76.47%
Lcn	0.03042	0.03464	0.02312	10	4	40.00%
Lfp	0.03629	0.04416	0.02595	7	1	14.29%
Cgr	0.02761	0.03488	0.02196	21	17	80.95%
Agf	0.02577	0.03215	0.02273	14	13	92.86%
Rlc	0.02747	0.02955	0.02422	4	4	100.00%
Msb	0.02751	0.03566	0.02256	18	13	72.22%
cenalte	0.03820	0.04019	0.03621	2	0	0.00%

Desviación Estándar Auxiliar						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Asa	0.02792	0.03240	0.02249	13	10	76.92%
Epc	0.03016	0.03464	0.02312	11	4	36.36%
Mom	0.03118	0.04416	0.02196	15	7	46.67%
Eeh	0.02778	0.03983	0.02306	21	17	80.95%
Fpm	0.02717	0.04069	0.02273	18	17	94.44%
Jcr	0.02742	0.03198	0.02256	13	10	76.92%
cenalte	0.03820	0.04019	0.03621	2	0	0.00%

Figura 5.35. Desviación Estándar por Puesto, Marzo 2014.



Se violó la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz por 28 segundos en el mes de Marzo de 2014 (Figura 5.37); siendo el tiempo meta de 8 minutos y 49 segundos, es posible afirmar que se logró una mejora continua en este mes respecto a tiempos fuera de las bandas de frecuencia, ya que la 59.85-60.15 Hz es la que tienen como reglamento interno del Departamento de Operación y Despacho en Tiempo Real, además de que no se violó en lo absoluto la banda 59.80-60.20 Hz durante el mes de Marzo de 2014. El operador que se encontró por más tiempo fuera de la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz que los demás fue VDC, con 26 de los 28 segundos totales del mes. El operador RLC fue responsable de los 2 segundos restantes (Figura 5.36).

SUPERVISOR 59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Fjg	0:00:00	18	0:00:00	0.00%	19.35%
Rpm	0:00:00	19	0:00:00	0.00%	20.43%
Rlc	0:00:02	14	0:00:00	7.14%	15.05%
Jgv	0:00:00	11	0:00:00	0.00%	11.83%
Ghr	0:00:00	15	0:00:00	0.00%	16.13%
Vdc	0:00:26	14	0:00:02	92.86%	15.05%
cenalte	0:00:00	2	0:00:00	0.00%	2.15%
<b>TOTAL</b>	<b>0:00:28</b>	<b>93</b>	<b>0:00:00</b>	<b>5.29%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>0:08:49</b>	<b>93</b>	<b>0:00:06</b>		<b>100.00%</b>

Figura 5.36. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Marzo 2014.

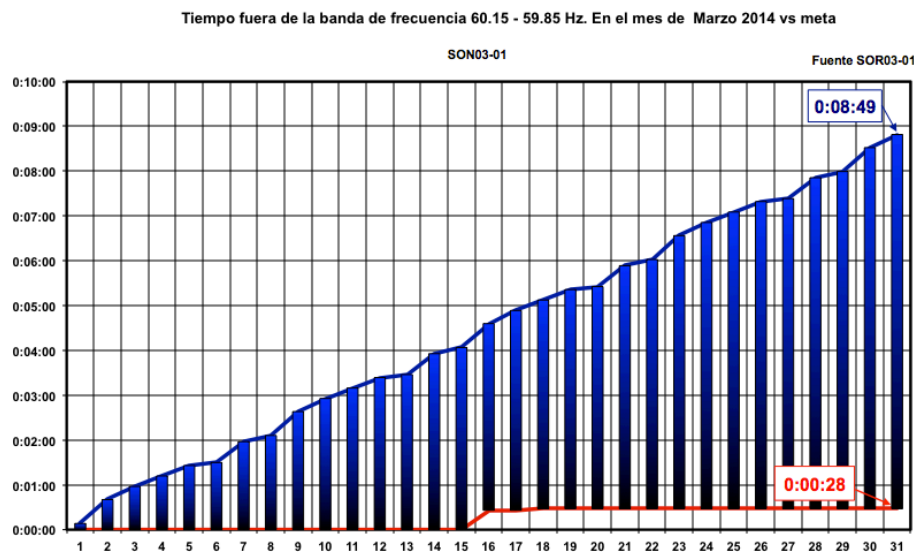


Figura 5.37. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Marzo de 2014.

Para la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz el tiempo fuera de ella terminó muy por debajo de la meta, lo que muestra la mejora reflejada en las dos bandas anteriores. El tiempo fuera de esta banda en el mes de Marzo de 2014 resultó de 1 hora 17 minutos y 40 segundos, mientras la meta fue de 3 horas 1 minuto y 4 segundos (Figura 5.38). El operador que más

tiempo se encontró fuera de esta banda para el mes de Marzo fue RLC, responsable del 41.8% del tiempo total, es decir, 32 minutos y 28 segundos fuera (Figura 5.39).

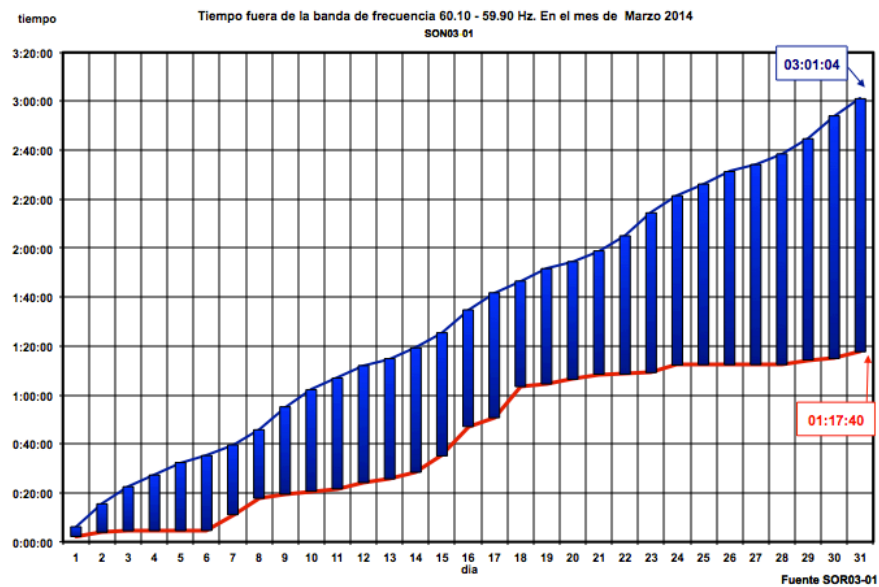


Figura 5.38. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.90-59.10 Hz en el mes de Marzo de 2014.

SUPERVISOR 59.90 - 60.10					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Fjg	0:05:16	18	0:00:18	6.78%	19.35%
Rpm	0:07:34	19	0:00:24	9.74%	20.43%
Rlc	0:32:28	14	0:02:19	41.80%	15.05%
Jgv	0:03:24	11	0:00:19	4.38%	11.83%
Ghr	0:07:34	15	0:00:30	9.74%	16.13%
Vdc	0:13:12	14	0:00:57	17.00%	15.05%
cenalte	0:08:12	2	0:04:06	10.56%	2.15%
<b>TOTAL</b>	<b>1:17:40</b>	<b>93</b>	<b>0:00:50</b>	<b>42.89%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>3:01:04</b>	<b>93</b>	<b>0:01:57</b>		<b>100.00%</b>

Figura 5.39. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.90-60.10 Hz del Supervisor, Marzo 2014.

En la banda de frecuencia 59.95-60.05 Hz ocurrió un comportamiento similar que en la banda 59.90-60.10 Hz. El tiempo total que la frecuencia estuvo por fuera de la banda 59.95-60.05 Hz fue de 63 horas 35 minutos y 18 segundos, mientras que el tiempo meta fue de 90 horas 57 minutos y 12 segundos. El responsable de la mayor parte de este tiempo total fuera fue RLC, con 14 horas 32 minutos y 2 segundos durante sus turnos del mes de Marzo de 2014.

Durante el mes de Marzo de 2014 se violaron un total de 123 enlaces, con un 98.87% de porcentaje total dentro del límite. El enlace de Chetumal fue el único cuyo porcentaje de violación del límite superó el 60%; este se violó 8 días del mes de Marzo (Figura 5.40).

DÍA	NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA	No. ENLACES VIOLADOS
11 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:24:31	0:10:54	14:24:35	24:00:00	39.2	60.8	72.33692595	973.3093195	1
14 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:33:43	0:04:08	14:22:09	24:00:00	39.84	60.16	71.99391551	1140.352049	1
24 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:08:05	0:10:46	14:41:09	24:00:00	38.06	61.94	73.79872872	985.7272193	1
25 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:28:07	0:04:10	14:27:43	24:00:00	39.45	60.55	72.42656463	1258.304232	1
27 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:23:45	0:09:52	14:26:23	24:00:00	39.15	60.85	72.51928503	1142.077554	1
28 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	8:46:17	0:02:20	15:11:23	24:00:00	36.55	63.45	76.02886169	904.742868	1
29 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	8:52:39	0:15:52	14:51:29	24:00:00	36.99	63.01	74.81002636	708.9081987	1
31 de Marzo del 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:25:57	0:09:52	14:24:11	24:00:00	39.3	60.7	72.34648748	1135.506416	1
<b>TOTALES</b>		<b>74:03:04</b>	<b>1:07:54</b>	<b>116:49:02</b>	<b>192:00:00</b>	<b>38.54</b>	<b>61.46</b>	<b>586.2607954</b>	<b>8248.927856</b>	<b>8</b>
<b>PROMEDIOS</b>		<b>9:15:23</b>	<b>0:08:29</b>	<b>14:36:08</b>	<b>24:00:00</b>	<b>38.5675</b>	<b>61.4325</b>	<b>73.28259942</b>	<b>1031.115982</b>	

Figura 5.40. Enlaces Violados por encima del 60% de su límite, Marzo 2014.

## 5.5 Abril de 2014.

En el mes de Abril de 2014 la desviación estándar de frecuencia mejoró en gran medida respecto a los meses anteriores del mismo año, obteniendo un promedio de 0.02894 Hz de todo el mes (Figura 5.41). De Enero a Abril de 2014 se logró una disminución de promedio de desviación estándar de 0.0021 Hz.

El día 18 de Abril de 2014 se presentó un sismo de 7.2 grados en escala de Richter a las 09:27:23, con epicentro 40 km al sur de Petatlán, Guerrero. Cuando ocurre un sismo, el movimiento de la tierra puede provocar que los cables de las líneas de transmisión se entrecrucen y por lo tanto provoque un cortocircuito, e incluso que alguna torre o poste colapse, entre otras posibles consecuencias. Este sismo del 18 de Abril afectó la integridad del sistema eléctrico, y se ve reflejado en el pico de la Figura 5.41, el cual supera la desviación estándar de 0.035 Hz. En la Figura 5.42 podemos ver que, debido a este sismo, la desviación estándar más alta del mes de Abril de 2014 fue de 0.041978 Hz, precisamente en el turno de la mañana del día 18.



Figura 5.41. Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia, Abril 2014.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
ABRIL 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/04/2014	0.025175	0.024146	0.022696
02/04/2014	0.026126	0.024656	0.025484
03/04/2014	0.030967	0.025212	0.023747
04/04/2014	0.031254	0.029389	0.023832
05/04/2014	0.031005	0.029977	0.026698
06/04/2014	0.032811	0.032477	0.029582
07/04/2014	0.033253	0.028947	0.024980
08/04/2014	0.035577	0.031023	0.024663
09/04/2014	0.033888	0.026252	0.023597
10/04/2014	0.034926	0.028723	0.025003
11/04/2014	0.032416	0.025413	0.024814
12/04/2014	0.030391	0.027847	0.024247
13/04/2014	0.034112	0.031066	0.028262
14/04/2014	0.030956	0.027149	0.024494
15/04/2014	0.029108	0.026917	0.021695
16/04/2014	0.031375	0.026670	0.026701
17/04/2014	0.032215	0.029420	0.025868
18/04/2014	0.030135	0.041978	0.031418
19/04/2014	0.032997	0.029629	0.032089
20/04/2014	0.033231	0.031921	0.030158
21/04/2014	0.031781	0.027068	0.025515
22/04/2014	0.027659	0.027276	0.022571
23/04/2014	0.026257	0.028294	0.023675
24/04/2014	0.027753	0.027790	0.026034
25/04/2014	0.028116	0.026202	0.022908
26/04/2014	0.030483	0.033085	0.029091
27/04/2014	0.031488	0.029803	0.028628
28/04/2014	0.033235	0.028370	0.028045
29/04/2014	0.028949	0.028220	0.025689
30/04/2014	0.028265	0.026709	0.028506

Figura 5.42. Desviación Estándar de frecuencia por turno, Abril 2014.

Cuando ocurrió el sismo mencionado, el operador GHR se encontraba como supervisor, sin embargo, obtuvo una evaluación de 77.78%, logrando 14 turnos con desviación estándar menor a 0.03 Hz de un total de 18 turnos (Figura 5.43). El CENALTE fue quien obtuvo la menor evaluación (40%), y después VDC (50%), quien ejerció 20 turnos del mes de Abril y la mitad de ellos estuvieron por debajo de 0.03 Hz. Cabe resaltar que todos los operadores (sin contar al CENALTE) obtuvieron un promedio de desviación estándar de frecuencia menor a 0.03 Hz.

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
Ghr	0.02795	0.04198	0.02360	18	14	77.78%
Vdc	0.02995	0.03558	0.02169	20	10	50.00%
Fjg	0.02857	0.03411	0.02257	14	8	57.14%
Rpm	0.02861	0.03323	0.02415	10	7	70.00%
Rlc	0.02920	0.03248	0.02466	8	5	62.50%
Jgv	0.02628	0.03107	0.022696	15	14	93.33%
cenalte	0.03048	0.03324	0.028265	5	2	40.00%

Figura 5.43. Desviación Estándar de frecuencia del Supervisor, Abril 2014.

El día 10 de Abril de 2014, el operador VDC fue responsable de que la frecuencia se saliera de la banda 59.80-60.20 Hz por 6 segundos (Figura 5.45). Debido al sismo, el día 18 de Abril de 2014 la frecuencia se salió de esta banda durante 2 minutos y 18 segundos, con lo que se superó la meta establecida para ese mes. El tiempo total fuera para la banda de

frecuencia 59.80-60.20 Hz fue de 2 minutos con 24 segundos, y la meta fue de 1 minuto con 48 segundos (Figura 5.44).

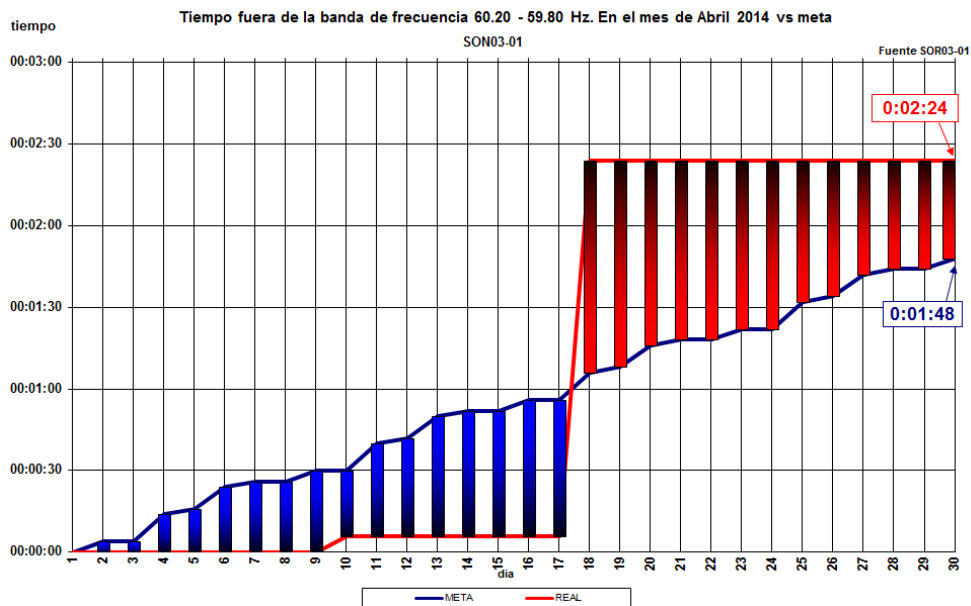


Figura 5.44. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.20-59.80 Hz en el mes de Abril de 2014.

SUPERVISOR					
59.80 - 60.20					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Ghr	0:02:18	18	0:00:08	95.83%	19.35%
Vdc	0:00:06	20	0:00:00	4.17%	21.51%
Fjg	0:00:00	14	0:00:00	0.00%	15.05%
Rpm	0:00:00	10	0:00:00	0.00%	10.75%
Rlc	0:00:00	8	0:00:00	0.00%	8.60%
Jgv	0:00:00	15	0:00:00	0.00%	16.13%
cenalte	0:00:00	5	0:00:00	0.00%	5.38%
<b>TOTAL</b>	<b>0:02:24</b>	<b>90</b>	<b>0:00:02</b>	<b>133.33%</b>	<b>96.77%</b>
<b>META</b>	<b>00:01:48</b>	<b>93</b>	<b>00:00:01</b>		

Figura 5.45. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.80-60.20 Hz del Supervisor, Abril 2014.

En la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz, fue 3 minutos con 32 segundos el tiempo que se estuvo fuera de esta; la meta del mes fue de 8 minutos y 19 segundos (Figura 5.46). Al igual que para la banda 59.80-60.20 Hz, el operador VDC fue el responsable del tiempo fuera de la banda 59.85-60.15 Hz el día 10 de Abril (30 segundos), y GHR se mantuvo fuera los otros 3 minutos con 2 segundos (Figura 5.47), debido al sismo.

Tiempo fuera de la banda de frecuencia 60.15 - 59.85 Hz. En el mes de Abril 2014 vs meta

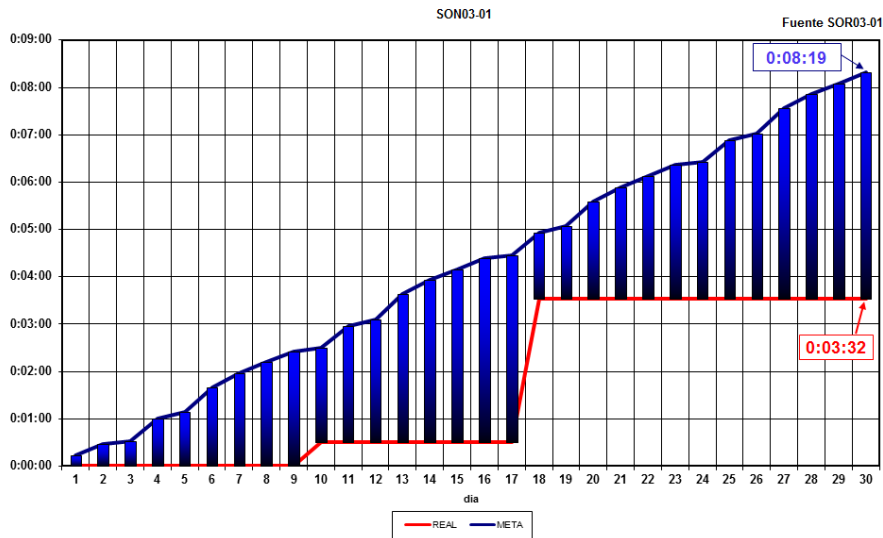


Figura 5.46. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Abril de 2014.

SUPERVISOR					
59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Ghr	0:03:02	18	0:00:10	85.85%	20.00%
Vdc	0:00:30	20	0:00:02	14.15%	22.22%
Fjg	0:00:00	14	0:00:00	0.00%	15.56%
Rpm	0:00:00	10	0:00:00	0.00%	11.11%
Ric	0:00:00	8	0:00:00	0.00%	8.89%
Jgv	0:00:00	15	0:00:00	0.00%	16.67%
cenalte	0:00:00	5	0:00:00	0.00%	5.56%
<b>TOTAL</b>	<b>0:03:32</b>	<b>90</b>	<b>0:00:02</b>	<b>42.46%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>00:08:19</b>	<b>90</b>	<b>00:00:06</b>		

Figura 5.47. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Abril 2014.

No hubo repercusión del sismo en la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz, salvo la pendiente un poco pronunciada en la Figura 5.48, del día 18 de Abril. El tiempo total fuera para esta banda en el mes fue de 52 minutos con 10 segundos, mientras que el tiempo meta fue de 2 horas 48 minutos y 24 segundos. El operador que más tiempo estuvo fuera de la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz en el mes de Abril de 2014, fue VDC, siendo responsable de 20 minutos y 40 segundos; el segundo operador con más tiempo fuera fue GHR, con 10 minutos y 52 segundos (Figura 5.49). Cabe resaltar que a pesar del sismo, el operador VDC estuvo por encima del tiempo fuera de GHR, quien operó durante este evento natural.

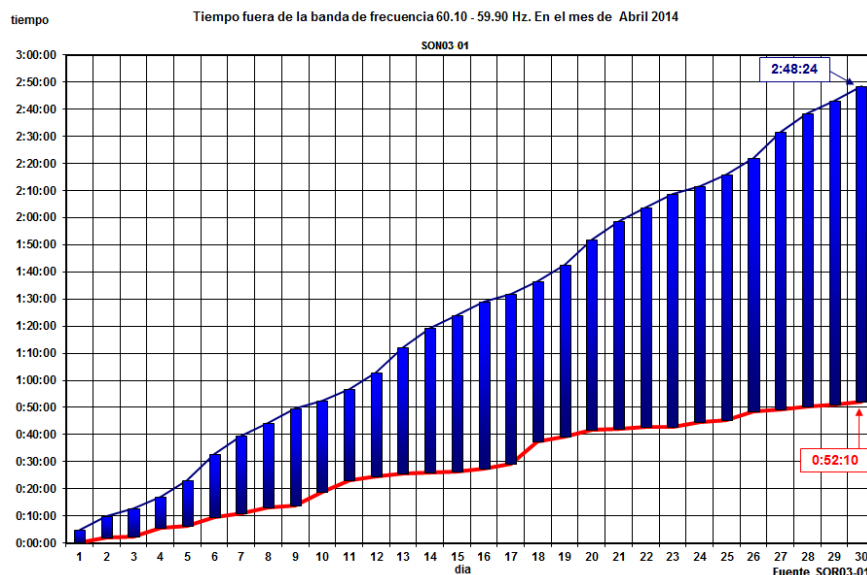


Figura 5.48. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.10-59.90 Hz en el mes de Abril de 2014.

SUPERVISOR					
59.90 - 60.10					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
Ghr	0:10:54	18	0:00:36	20.89%	20.00%
Vdc	0:20:40	20	0:01:02	39.62%	22.22%
Fjg	0:04:24	14	0:00:19	8.43%	15.56%
Rpm	0:05:52	10	0:00:35	11.25%	11.11%
Rlc	0:05:00	8	0:00:38	9.58%	8.89%
Jgv	0:02:24	15	0:00:10	4.60%	16.67%
cenalte	0:02:56	5	0:00:35	5.62%	5.56%
<b>TOTAL</b>	<b>0:52:10</b>	<b>90</b>	<b>0:00:35</b>	<b>1.00%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>14:32:08</b>	<b>90</b>	<b>00:57:41</b>		

Figura 5.49. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.90-60.10 Hz del Supervisor, Abril 2014.

Este mismo comportamiento de tiempo fuera de la banda 59.90-60.10 Hz para los operadores, se repitió en la banda 59.95-60.05 Hz, siendo VDC quien estuvo 15 horas con 3 minutos y 32 segundos fuera de esta última banda, y GHR se mantuvo 9 horas con 33 minutos y 2 segundos fuera. El tiempo total fuera de la banda de frecuencia 59.95-60.05 Hz en el mes de Abril de 2014 fue de 56 horas con 50 minutos y 8 segundos, con un tiempo meta de 86 horas con 32 minutos y 8 segundos.

En el mes de Abril de 2014 se violaron un total de 200 enlaces del Sistema Interconectado Nacional y se tuvo un porcentaje de 98.39% del total de tiempo dentro del límite. Se violaron 2 enlaces en este mes por encima del 60% de su límite: el enlace de Chetumal se violó 3 días por encima del 60% de su límite y un día el enlace del autotransformador de Ticul 2 (Figura 5.50).

DÍA	NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN DE LÍMITE	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA	No. ENLACES VIOLADOS
1 de Abril de 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	9:00:09	0:01:24	14:58:27	24:00:00	37.51	62.49	74.92077229	1075.69493	1
5 de Abril de 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	8:31:25	0:12:34	15:16:01	24:00:00	35.52	64.48	76.74573073	796.1777148	1
7 de Abril de 2014	OOCEN .CALC ENL TUA .AV	6:46:31	0:14:10	16:59:19	24:00:00	28.23	71.77	85.36853696	1252.287009	1
29 de Abril de 2014	OOCEN .CALC ATS TIC .AV	5:07:31	2:04:16	16:48:13	24:00:00	21.36	78.64	176.9836458	371.9948919	1

Figura 5.50. Enlaces Violados por encima del 60% de su límite, Abril 2014.

## 5.6 Mayo de 2014.

En el mes de Mayo de 2014 el promedio de desviación estándar de frecuencia volvió a disminuir con respecto al mes inmediato anterior; el promedio total fue de 0.02845 Hz (Figura 5.51). La desviación estándar de frecuencia disminuyó a lo largo del mes de Mayo, llegando a obtener una desviación de 0.0181 Hz el día 29 en el turno de la tarde (Figura 5.52).

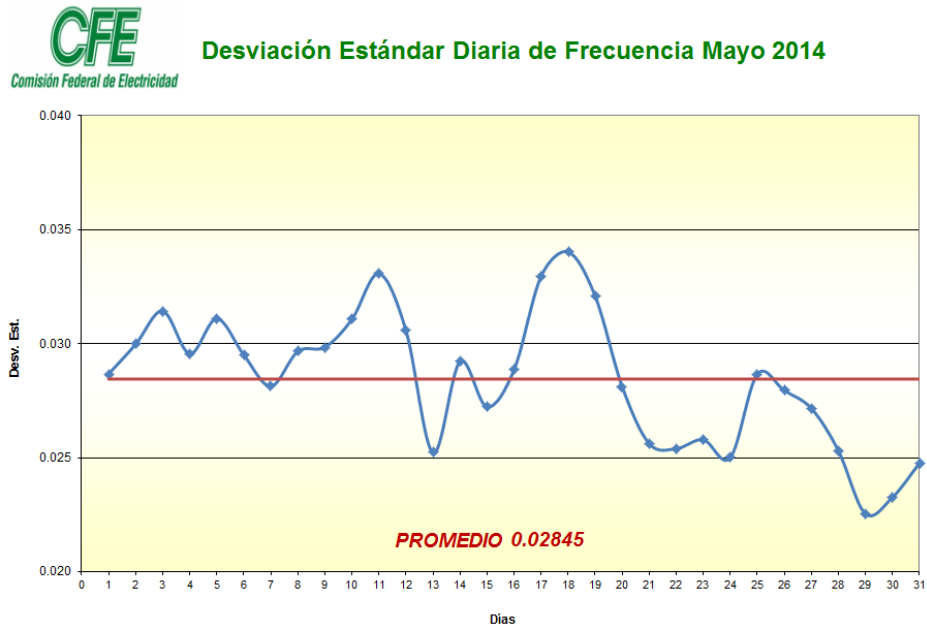


Figura 5.51. Gráfica de Desviación Estándar de Frecuencia, Mayo 2014.



DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
MAYO 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/05/2014	0.028936	0.028029	0.025842
02/05/2014	0.031830	0.030189	0.029722
03/05/2014	0.032694	0.031548	0.029218
04/05/2014	0.027892	0.031102	0.030156
05/05/2014	0.032042	0.033367	0.027082
06/05/2014	0.028889	0.029941	0.028273
07/05/2014	0.030329	0.029250	0.024105
08/05/2014	0.028336	0.033633	0.025340
09/05/2014	0.029521	0.029057	0.029889
10/05/2014	0.030395	0.030080	0.029141
11/05/2014	0.034331	0.031117	0.034826
12/05/2014	0.031943	0.028341	0.031037
13/05/2014	0.027331	0.026301	0.021765
14/05/2014	0.032953	0.025715	0.025332
15/05/2014	0.027585	0.027356	0.025905
16/05/2014	0.030510	0.026647	0.027125
17/05/2014	0.031826	0.034748	0.030961
18/05/2014	0.035455	0.036328	0.028960
19/05/2014	0.032724	0.033089	0.031166
20/05/2014	0.029705	0.028583	0.022975
21/05/2014	0.031064	0.023422	0.020453
22/05/2014	0.024933	0.023925	0.025799
23/05/2014	0.028348	0.024003	0.022217
24/05/2014	0.027635	0.023532	0.023594
25/05/2014	0.027510	0.030558	0.027350
26/05/2014	0.033158	0.025343	0.024722
27/05/2014	0.028436	0.026766	0.023411
28/05/2014	0.029288	0.020938	0.024312
29/05/2014	0.026098	0.020739	0.018123
30/05/2014	0.024276	0.021239	0.022627
31/05/2014	0.023296	0.026537	0.022746

Figura 5.52. Desviación Estándar de frecuencia por turno, Mayo 2014.

Todos los operadores, incluyendo al CENALTE, obtuvieron una evaluación superior al 60% en el mes de Mayo de 2014. En la Figura 5.53 aparecen 2 renglones con el nombre de ‘cenalte’, uno con fondo verde que corresponde a los turnos en lo que el CENALTE tomó el control del sistema y uno con fondo lila, que corresponde a los turnos en los que un supervisor del CENALTE vino y estuvo operando en el CENAL. Las evaluaciones de los supervisores para este mes de Mayo de 2014 fueron bastante uniformes.

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
JGV	0.02778	0.03269	0.02342	19	13	68.42%
GHR	0.02620	0.03433	0.02045	18	13	72.22%
VDC	0.02711	0.03546	0.01812	12	8	66.67%
FJG	0.02928	0.03337	0.02428	13	8	61.54%
RPM	0.02870	0.03363	0.02330	13	9	69.23%
cenalte	0.02533	0.02889	0.02177	2	2	100.00%
cenalte	0.02974	0.03633	0.02410	16	10	62.50%

Figura 5.53. Desviación Estándar de frecuencia del Supervisor, Mayo 2014.

El día 8 de Mayo de 2014 hubo un sismo a las 12:00:16 de magnitud 6.4 grados en escala de Richter con epicentro 28 km al suroeste de Tecpan, Guerrero. Este evento afectó visiblemente a la frecuencia, ya que se salió 1 minuto con 8 segundos de la banda 59.80-60.20 Hz (Figura 5.54). El tiempo total fuera de esta banda en el mes de Mayo de 2014 fue de 2 minutos con 44 segundos, siendo el tiempo meta de 1 minuto con 56 segundos. El operador que más tiempo se encontró por fuera de esta banda fue GHR con 1 minuto 32 segundos y el segundo fue RPM con 1 minuto y 8 segundos (Figura 5.55), sin embargo el tiempo de este último se debió al sismo del día 8 de Mayo.

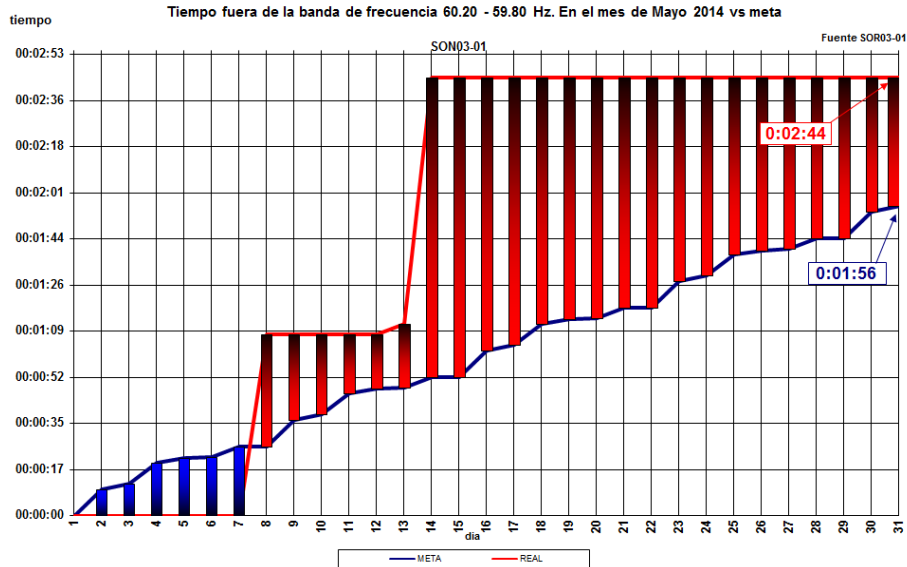


Figura 5.54. Gráfica de Tiempo Fuera de la Banda de frecuencia 60.20-59.80 Hz en el mes de Mayo de 2014.

SUPERVISOR 59.80 - 60.20					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	19	0:00:00	0.00%	20.43%
FJG	0:00:00	13	0:00:00	0.00%	13.98%
GHR	0:01:32	18	0:00:05	56.10%	19.35%
RPM	0:01:08	13	0:00:05	41.46%	13.98%
VDC	0:00:00	12	0:00:00	0.00%	12.90%
cenalte	0:00:04	2	0:00:02	2.44%	2.15%
cenalte	0:00:00	16	0:00:00	0.00%	17.20%
<b>TOTAL</b>	<b>0:02:44</b>	<b>93</b>	<b>0:00:02</b>	<b>141.57%</b>	<b>100.00%</b>
<b>META</b>	<b>0:01:56</b>	<b>93</b>	<b>00:00:01</b>		

Figura 5.55. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.80-60.20 Hz del Supervisor, Mayo 2014.

Las consecuencias del sismo del 8 de Mayo también son visibles en la gráfica del tiempo fuera de la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz (Figura 5.56), día en el que se viola esta banda durante 2 minutos y 16 segundos. Sin embargo el tiempo total fuera para esta banda en el mes de Mayo de 2014 fue de 5 minutos con 4 segundos, mientras el tiempo meta fue de 8 minutos con 31 segundos. El operador que más tiempo estuvo por fuera de la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz fue GHR, con 2 minutos y 34 segundos (Figura 5.57). RPM estuvo fuera 2 minutos y 16 segundos, sin embargo él estuvo como supervisor durante el evento del sismo.

Tiempo fuera de la banda de frecuencia 60.15 - 59.85 Hz. En el mes de Mayo 2014 vs meta

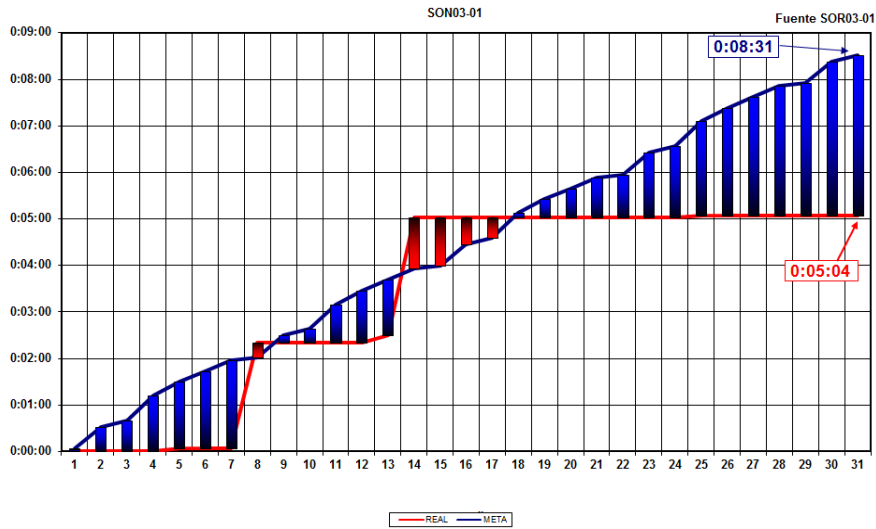


Figura 5.56. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.15-59.85 Hz en el mes de Mayo de 2014.

SUPERVISOR					
59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	19	0:00:00	0.00%	20.43%
FJG	0:00:04	13	0:00:00	1.32%	13.98%
GHR	0:02:34	18	0:00:09	50.66%	19.35%
RPM	0:02:16	13	0:00:10	44.74%	13.98%
VDC	0:00:00	12	0:00:00	0.00%	12.90%
cenalte	0:00:10	2	0:00:05	3.29%	2.15%
cenalte	0:00:00	16	0:00:00	0.00%	17.20%
TOTAL	0:05:04	93	0:00:03	59.43%	100.00%
META	0:08:31	93	00:00:05		

Figura 5.57. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Mayo 2014.

En el mes de Mayo de 2014, de la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz sólo se estuvo por fuera 50 minutos con 46 segundos de un tiempo meta de 2 horas 51 minutos y 56 segundos. El evento del sismo del 8 de Mayo de 2014 no afectó de manera relevante en esta banda de frecuencia. El porcentaje de tiempo fuera asignado a cada operador fue uniforme; sólo es resaltable que GHR es el mayor responsable en proporción de tiempo fuera en este mes de Mayo, con 13 minutos y 6 segundos fuera.

En la banda de frecuencia 59.95-60.05 Hz fue 60 horas 33 minutos y 20 segundos el tiempo que se estuvo fuera de esta, de un tiempo meta de 89 horas 30 minutos y 32 segundos. La proporción del tiempo total fuera para todos los operadores fue uniforme. No hubo mayor novedad para esta banda de frecuencia, más que la conclusión positiva de que se obtuvo un tiempo total fuera por debajo de la meta en el mes de Mayo de 2014.

Se violaron un total de 236 enlaces y un 97.74% del tiempo total se estuvo por dentro del límite, en el mes de Mayo de 2014. En comparación con meses previos, esto se traduce en un aumento de enlaces violados del Sistema Interconectado Nacional. Esto es visible también en la estadística de enlaces violados por encima del 60% en el mes de Mayo (Figura 5.58), en donde aparecen muchos más que en las estadísticas de meses anteriores, en el año de 2014. El enlace que más veces se viola por encima del 60% de su límite es el de Chetumal (CALC ENL TUA). También se violan el enlace del autotransformador de Mazatlán 2 (CALC ATS MZD), el autotransformador de Ticul 2 (CALC ATS TIC) y el enlace de Culiacán Potencia-la Higuera (CALC SCP-HGA).

DÍA	NOMBRE	NORMAL	ALERTA	EMERGENCIA	TOTAL	% DENTRO DE LÍMITE	% VIOLACIÓN DE LÍMITE	ENERGÍA EN ALERTA	ENERGÍA EN EMERGENCIA	No. ENLACES VIOLADOS
2 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	9:06:29	0:20:26	14:33:05	24:00:00	37.95	62.05	146.942097	731.0744964	1
8 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	7:55:31	0:43:44	15:20:45	24:00:00	33.02	66.98	156.014272	848.6592859	1
8 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ATS MZD .AV	3:38:39	1:14:34	19:06:47	24:00:00	15.18	84.82	194.473955	1716.255179	1
9 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	6:12:23	1:05:28	16:42:09	24:00:00	25.86	74.14	171.112579	935.446711	1
12 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	7:35:43	1:02:02	15:22:15	24:00:00	31.65	68.35	158.515883	880.5193849	1
26 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	0:31:53	0:30:24	22:57:43	24:00:00	2.21	97.79	231.691259	1388.972998	1
26 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ATS TIC .AV	4:39:59	3:03:18	16:16:43	24:00:00	19.44	80.56	180.731751	463.1164112	1
27 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	3:52:59	0:44:14	19:22:47	24:00:00	16.18	83.82	196.835749	1042.507371	1
28 de Mayo de 2014	00CEN .CALC SCP-HGA .AV	8:08:57	0:10:21	15:40:42	24:00:00	33.95	66.05	157.612086	2023.074858	1
28 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	8:39:35	0:23:52	14:56:33	24:00:00	36.08	63.92	150.701298	1058.217201	1
29 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	6:40:03	0:10:14	17:09:43	24:00:00	27.78	72.22	172.300527	1590.472117	1
29 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ATS TIC .AV	8:30:09	0:26:30	15:03:21	24:00:00	35.43	64.57	152.408924	490.4036112	1
30 de Mayo de 2014	00CEN .CALC SCP-HGA .AV	6:50:41	0:28:08	16:41:11	24:00:00	28.52	71.48	168.728675	2048.103059	1
30 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ENL TUA .AV	3:54:43	0:24:06	19:41:11	24:00:00	16.3	83.7	198.870435	1486.926612	1
30 de Mayo de 2014	00CEN .CALC ATS TIC .AV	6:14:07	0:42:12	17:03:41	24:00:00	25.98	74.02	173.221885	642.4197718	1
31 de Mayo de 2014	00CEN .CALC SCP-HGA .AV	7:50:13	0:12:44	15:57:03	24:00:00	32.65	67.35	160.32877	2110.559072	1

Figura 5.58. Enlaces Violados por encima del 60% de su límite, Mayo 2014.

## 5.7 Junio de 2014.

Concluí mis actividades de Servicio Social en el Centro Nacional de Control de Energía el 13 de Junio de 2014, por lo que no completé en ese momento la estadística del mes de Junio. Sin embargo obtuve los datos completos hasta el día 12 de Junio.

El promedio de desviación estándar de frecuencia del 1° al 12 de Junio fue de 0.02735 Hz, lo que refleja una disminución importante en comparación con meses anteriores del año. También es resaltante, observando la Figura 5.59, que todos los promedios de desviación estándar diarios del mes de Junio hasta el día 12 se encontraron por debajo de 0.03 Hz. Por medio de la Figura 5.60 se puede observar que la desviación estándar de frecuencia por cada turno fue muy baja con respecto a meses anteriores, y sólo hubieron 4 turnos de 37 superiores a 0.03 Hz (pero menores a 0.031 Hz).

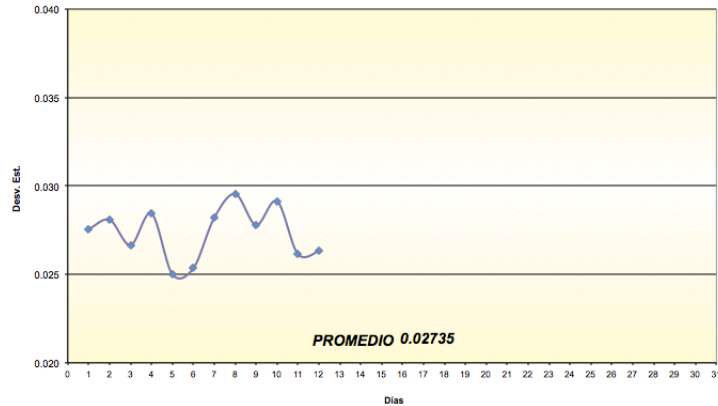


Figura 5.59. Gráfica de desviación estándar de Frecuencia, Junio 2014.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR JUNIO 2014			
	Noche	Mañana	Tarde
01/06/2014	0.025799	0.029210	0.027416
02/06/2014	0.030561	0.026679	0.026162
03/06/2014	0.025995	0.028671	0.024816
04/06/2014	0.029513	0.030108	0.025214
05/06/2014	0.026701	0.023309	0.023468
06/06/2014	0.026136	0.025204	0.023465
07/06/2014	0.029126	0.028828	0.024985
08/06/2014	0.029960	0.029529	0.027431
09/06/2014	0.028931	0.030086	0.025481
10/06/2014	0.029715	0.028986	0.028104
11/06/2014	0.026023	0.026457	0.025607
12/06/2014	0.021537	0.026873	0.030066
13/06/2014	0.026955		
14/06/2014			

Figura 5.60. Desviación estándar de frecuencia por turno, Junio 2014.

Las evaluaciones del mes de Junio (hasta el día 12 del mismo) resultaron muy altas. Incluyendo al CENALTE, 4 operadores de los 6 que ejercieron turno en Junio de 2014, obtuvieron una evaluación del 100% (Figura 5.61). RPM obtuvo una evaluación de 77.78%, con un promedio de desviación estándar de 0.02761 y VDC resultó con un 75% de turnos por debajo de 0.03 Hz, con un promedio de 0.02829. A pesar de que los últimos dos operadores obtuvieron evaluaciones menores al 80%, el promedio de desviación estándar de frecuencia que obtuvieron hasta el 12 de Junio fue baja.

Desviación Estándar Supervisor						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Turnos	Turnos Desv<0.03	
JGV	0.02331	0.02331	0.02331	1	1	100.00%
FJG	0.02535	0.02743	0.02346	9	9	100.00%
GHR	0.02819	0.02921	0.02668	3	3	100.00%
RPM	0.02761	0.03056	0.02561	9	7	77.78%
VDC	0.02829	0.03011	0.02520	8	6	75.00%
cenalte	0.02746	0.02996	0.02154	7	7	100.00%

Figura 5.61. Desviación estándar de frecuencia del Supervisor, Junio 2014.

RPM fue el único operador quien estuvo por fuera de la banda de frecuencia 59.80-60.20 Hz del 1 al 12 de Junio (Figura 5.62) y esta violación se dio el día 12.

SUPERVISOR 59.80 - 60.20					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	1	0	0.00%	1.11%
FJG	0:00:00	9	0:00:00	0.00%	10.00%
GHR	0:00:00	3	0:00:00	0.00%	3.33%
RPM	0:00:06	9	0:00:01	100.00%	10.00%
VDC	0:00:00	8	0:00:00	0.00%	8.89%
cenalte	0:00:00	7	0:00:00	0.00%	7.78%
<b>TOTAL</b>	<b>0:00:06</b>	<b>37</b>	<b>0:00:00</b>	<b>100.00%</b>	<b>41.11%</b>

Figura 5.62. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.80-60.20 Hz del Supervisor, Junio 2014.

Para la banda de frecuencia 59.85-60.15 Hz, RPM y GHR fueron los operadores que se salieron de esta, con 34 y 2 segundos, respectivamente. Ambas violaciones se presentaron el día 12 de Junio de 2014.

SUPERVISOR 59.85 - 60.15					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	1	0:00:00	0.00%	1.11%
FJG	0:00:00	9	0:00:00	0.00%	10.00%
GHR	0:00:02	3	0:00:01	5.56%	3.33%
RPM	0:00:34	9	0:00:04	94.44%	10.00%
VDC	0:00:00	8	0:00:00	0.00%	8.89%
cenalte	0:00:00	7	0:00:00	0.00%	7.78%
<b>TOTAL</b>	<b>0:00:36</b>	<b>37</b>	<b>0:00:01</b>	<b>100.00%</b>	<b>41.11%</b>

Figura 5.63. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.85-60.15 Hz del Supervisor, Junio 2014.

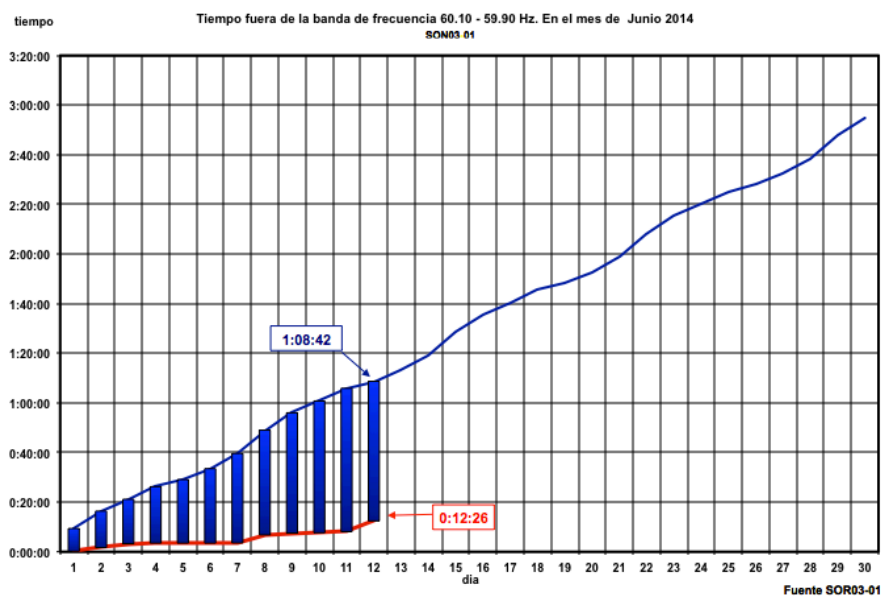


Figura 5.64. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.10-59.90 Hz en el mes de Junio de 2014.

En la banda de frecuencia 59.90-60.10 Hz el tiempo fuera de la banda hasta el día 12 de Junio fue de 12 minutos con 25 segundos, siendo el tiempo meta de ese día de 1 hora 8 minutos y 42 segundos (Figura 5.64). El operador que más estuvo por fuera de esta banda fue RPM, con 5 minutos y 58 segundos (Figura 5.65).

SUPERVISOR 59.90 - 60.10					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:00:00	1	0:00:00	0.00%	1.11%
FJG	0:00:04	9	0:00:00	0.48%	10.00%
GHR	0:01:52	3	0:00:37	13.56%	3.33%
RPM	0:05:58	9	0:00:40	43.34%	10.00%
VDC	0:02:18	8	0:00:17	16.71%	8.89%
penalte	0:03:34	7	0:00:31	25.91%	7.78%
<b>TOTAL</b>	<b>0:13:46</b>	<b>37</b>	<b>0:00:22</b>	<b>100.00%</b>	<b>41.11%</b>
<b>META</b>	<b>2:54:54</b>	<b>90</b>	<b>0:01:57</b>		

Figura 5.65. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.90-60.10 Hz del Supervisor, Junio 2014.

Y en la última banda de frecuencia, la 59.95-60.05 Hz, fue 18 horas 33 minutos y 4 segundos el tiempo que se estuvo fuera de ella, siendo el tiempo meta de 34 horas 44 minutos y 3 segundos (Figura 5.66). El hecho de seguir por debajo de la meta demuestra que se sigue logrando una mejora continua en la calidad y seguridad del servicio. RPM y VDC fueron los operadores que más tiempo estuvieron por fuera de esta banda, con 9 horas 45 minutos y 28 segundos entre ambos.

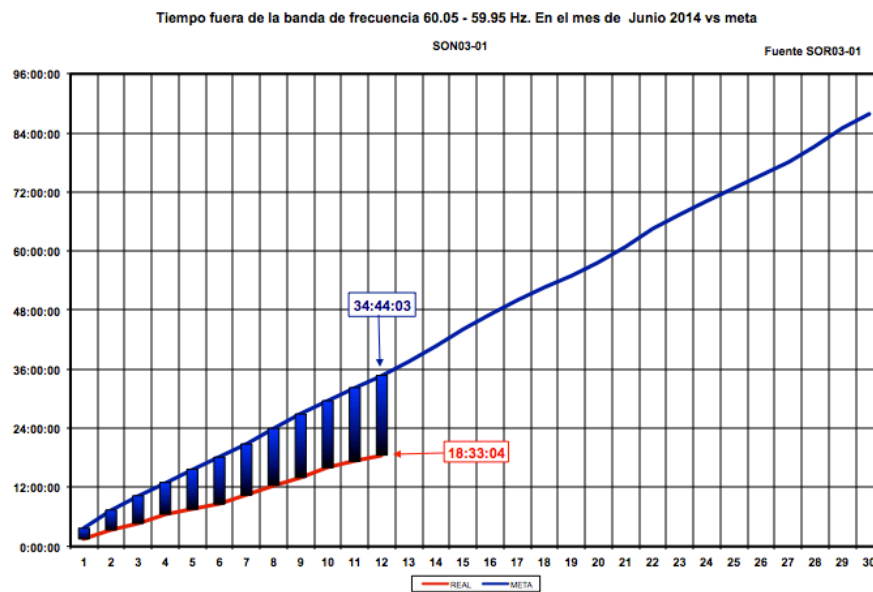


Figura 5.66. Gráfica de Tiempo Fuera de la banda de frecuencia 60.05-59.95 Hz en el mes de Junio de 2014.

SUPERVISOR					
59.95 - 60.05					
	Tiempo	No. Turnos	Promedio	% Tiempo	% Turnos
JGV	0:13:32	1	0:13:32	1.19%	1.11%
FJG	3:01:10	9	0:20:08	15.90%	10.00%
GHR	1:45:32	3	0:35:11	9.26%	3.33%
RPM	5:00:06	9	0:33:21	26.34%	10.00%
VDC	4:45:22	8	0:35:40	25.04%	8.89%
cenalte	4:13:46	7	0:36:15	22.27%	7.78%
<b>TOTAL</b>	<b>18:59:28</b>	<b>37</b>	<b>0:30:48</b>	<b>100.00%</b>	<b>41.11%</b>

Figura 5.67. Tabla de Tiempo Fuera de la Banda 59.95-60.05 Hz del Supervisor, Junio 2014.

## 5.8 Análisis de Resultados.

Realizando una tabla con el resumen de las desviaciones estándar de cada Supervisor en el año de 2014 (hasta el mes de Junio) es posible observar claramente un aumento en el desempeño de los supervisores. Por medio de la Figura 5.68, podemos ver que la evaluación de los supervisores en general era baja a principios del 2014. Los operadores RLC y EMC al tener otros cargos, no sólo como supervisores, no participaron en este puesto todos los meses del 2014 (en las Figuras 5.68 y 5.69, los meses que no operaron aparecen como NA). Sin embargo, aunque RLC sólo operó Febrero Marzo y Abril, se puede observar que su evaluación superó el 60% para el mes de Abril de 2014.

FJG, de tener una evaluación de 36.36% en Enero, logró un 100% para Junio (hasta 12 de Junio) de 2014. VDC a pesar de tener evaluaciones menores en comparación con los demás operadores, también logró una mejora de evaluación a lo largo del año hasta el mes de Junio. GHR y JGV también reflejaron una mejora de sus evaluaciones. Reitero que la evaluación corresponde al porcentaje de turnos que el operador obtiene con desviación estándar de frecuencia menor a 0.03 Hz del total de turnos que ejerce en el mes. Así, se está fijando un valor meta de desviación estándar de frecuencia y por medio de la retroalimentación al operador de su rendimiento, este mejora.

Evaluación Desviación Estándar de Frecuencia de Supervisores 2014							
	RPM	FJG	VDC	RLC	GHR	EMC	JGV
<b>Enero</b>	35.71%	36.36%	43.75%	NA	60.00%	46.15%	64.71%
<b>Febrero</b>	100.00%	54.55%	37.50%	45.00%	47.06%	NA	66.67%
<b>Marzo</b>	68.42%	72.22%	71.43%	42.86%	93.33%	NA	81.82%
<b>Abril</b>	70.00%	57.14%	50.00%	62.50%	77.78%	NA	93.33%
<b>Mayo</b>	69.23%	61.54%	66.67%	NA	72.22%	NA	68.42%
<b>Junio</b>	77.78%	100.00%	75.00%	NA	100.00%	NA	100.00%

Figura 5.68. Evaluaciones de la Desviación estándar de frecuencia de los Supervisores en el año 2014.



En la Figura 5.69 aparece una tabla con los valores promedio de desviación estándar de frecuencia en el año de 2014, hasta el mes de Junio. Aquí observamos un comportamiento similar al de la evaluación (Figura 5.68); los promedios de desviación estándar de 4 operadores (RPM, FJG, VDC y GHR) estaban por encima de 0.03 Hz en el mes de Enero de 2014 y en Junio terminaron por debajo de 0.029 Hz. JGV, quien parece el mejor Supervisor en cuanto a evaluaciones y promedios de desviación estándar, de tener un promedio de desviación estándar bajo, lo disminuyó aún más para el mes de Junio. La mejora del desempeño de RLC es más apreciable en los promedios de desviación estándar de frecuencia que en las evaluaciones, ya que mejoró su promedio continuamente en los meses de Febrero, Marzo y Abril.

Desviación Estándar 2014							
	RPM	FJG	VDC	RLC	GHR	EMC	JGV
<b>Enero</b>	0.03165	0.03181	0.03245	NA	0.03046	0.02985	0.02896
<b>Febrero</b>	0.02772	0.02950	0.03168	0.03356	0.03087	NA	0.02884
<b>Marzo</b>	0.02736	0.02795	0.02894	0.03153	0.02752	NA	0.02809
<b>Abril</b>	0.02861	0.02857	0.02995	0.02920	0.02795	NA	0.02628
<b>Mayo</b>	0.02870	0.02928	0.02711	NA	0.02620	NA	0.02778
<b>Junio</b>	0.02761	0.02535	0.02829	NA	0.02819	NA	0.02331

Figura 5.69. Promedio mensual de desviación estándar del puesto de Supervisor en el año 2014.

Los tiempos fuera de las bandas de frecuencia que cuidan en el CENACE son un parámetro adicional para el correcto Control de Frecuencia, el cual no tiene una relación proporcional con la desviación estándar de frecuencia. Esto debido a que se puede tener una desviación estándar alta y a la vez no estar violando todas las bandas de frecuencia.

Por medio de la Figura 5.70 se puede observar que no hubo una mejora continua general en cuanto a tiempo fuera de las bandas de Enero a Junio de 2014, e incluso se aprecia un aumento de este. El operador VDC sí mejoró sus tiempos fuera de las bandas de Enero a Mayo de 2014, obteniendo en este último mes los mejores tiempos para las cuatro bandas. No se toma en cuenta el tiempo de Junio, ya que este sólo comprende hasta el día 12, por tanto no es un dato completo del mes. RLC también mostró una mejora de tiempos fuera en los meses de Febrero, Marzo y Abril, obteniendo en este último los mejores tiempos de todos los supervisores en el mes. JGV es el operador que mejores tiempos fuera de las cuatro bandas obtuvo en el 2014, de Enero a Junio. RPM y GHR incrementaron los tiempos fuera de las bandas de frecuencia 59.80-60.20 y 59.85-60.15 Hz en los meses de Mayo y Junio. Sin embargo, este aumento no se debió al rendimiento de cada uno de ellos, sino a los sismos de magnitud considerable registrados en ambos meses, los cuales provocaron un fuerte desbalance en el sistema y desviaron la frecuencia lo suficiente como para salir de las dos bandas de frecuencia más amplias.

Tiempos Fuera de las Bandas de Frecuencia en 2014							
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
RPM	59.80-60.20	00:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:01:08	0:00:06
	59.85-60.15	00:00:10	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:02:16	0:00:34
	59.90-60.10	00:13:56	0:01:28	0:07:34	0:05:52	0:06:44	0:05:58
	59.95-60.05	11:50:30	1:29:20	10:49:48	6:40:34	7:17:30	5:00:06
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
FJG	59.80-60.20	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
	59.85-60.15	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:04	0:00:00
	59.90-60.10	0:14:00	0:03:06	0:05:16	0:04:24	0:08:54	0:00:04
	59.95-60.05	13:08:50	6:48:50	10:18:10	9:16:02	9:48:00	3:01:10
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
VDC	59.80-60.20	0:00:02	0:00:00	0:00:00	0:00:06	0:00:00	0:00:00
	59.85-60.15	0:00:56	0:02:00	0:00:26	0:00:30	0:00:00	0:00:00
	59.90-60.10	0:51:00	0:30:58	0:13:12	0:20:40	0:06:30	0:02:18
	59.95-60.05	17:26:18	15:34:40	9:31:32	15:03:32	8:40:22	4:45:22
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
GHR	59.80-60.20	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:02:18	0:01:32	0:00:00
	59.85-60.15	0:00:28	0:00:58	0:00:00	0:03:02	0:02:34	0:00:02
	59.90-60.10	0:16:34	0:25:34	0:07:34	0:10:54	0:13:06	0:01:52
	59.95-60.05	18:00:00	14:53:48	8:05:56	9:33:02	10:36:28	1:45:32
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
JGV	59.80-60.20	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
	59.85-60.15	0:00:08	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
	59.90-60.10	0:11:20	0:03:18	0:03:24	0:02:24	0:03:06	0:00:36
	59.95-60.05	12:00:40	10:19:00	6:41:14	6:14:16	11:45:46	0:13:32
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
RLC	59.80-60.20	NA	0:00:00	0:00:00	0:00:00	NA	NA
	59.85-60.15	NA	0:02:12	0:00:02	0:00:00	NA	NA
	59.90-60.10	NA	1:08:50	0:32:28	0:05:00	NA	NA
	59.95-60.05	NA	22:18:46	14:32:02	5:24:00	NA	NA
	Banda de frecuencia [Hz]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
EMC	59.80-60.20	0:00:00	NA	NA	NA	NA	NA
	59.85-60.15	0:00:04	NA	NA	NA	NA	NA
	59.90-60.10	0:10:18	NA	NA	NA	NA	NA
	59.95-60.05	9:26:28	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 5.70. Tiempos fuera de las bandas de frecuencia en el 2014.

La disminución de la desviación estándar de frecuencia la presentaron la mayoría de los supervisores, como acabo de mostrar. Y esta también se ve reflejada en el promedio de desviación estándar de frecuencia mensual en el 2014 (Tabla 1). La desviación disminuyó consecutivamente a partir del mes de Febrero de 2014, cuando empezó a observarse los efectos de la evaluación del personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía. Esta disminución continuó hasta los 12 días de Junio de 2014, lo que demuestra que la estrategia de realimentación por medio de la evaluación surtió un efecto positivo.

<b>Mes (2014)</b>	<b>Desviación Estándar de Frecuencia [Hz]</b>
Enero	0.03145
Febrero	0.03147
Marzo	0.02933
Abril	0.02894
Mayo	0.02845
Junio	0.02735

Tabla 1. Promedio de desviación estándar de frecuencia mensual, 2014.

### 5.8.1 Análisis económico.

Mejorar la calidad y seguridad del sistema no sólo beneficia a ofrecer un mejor servicio de suministro de energía eléctrica para con el cliente, sino que disminuye las pérdidas de electricidad en el Sistema Eléctrico Nacional y genera un ahorro para la Comisión Federal de Electricidad. Con datos suministrados por el Centro Nacional de Control de Energía, procedo a realizar el análisis económico de la energía durante el periodo de mi Servicio Social.

La estrategia de evaluación, la cual consistió en retroalimentar al operador sobre su desempeño personal en cuanto a desviación estándar de frecuencia y tiempos fuera de las bandas, comenzó a aplicarse a finales de Enero de 2014, mes en el que se obtuvo un promedio de desviación estándar de frecuencia de 0.03145 Hz. Debido a que mi periodo de Servicio Social terminó, no logré completar la estadística del mes de Junio, sin embargo, obtuve el promedio de desviación estándar del 1 al 12 de Junio como representación del mes completo. Este promedio resultó de 0.02735 Hz.

Puesto que la tendencia de la curva de Error de Tiempo de frecuencia en el sistema es a incrementar, significa que la mayor parte del tiempo la frecuencia del sistema se encuentra por encima de la nominal (60 Hz.) y por consecuente, se está generando más energía de la que se consume. Esto representa pérdidas de energía en el sistema y por tanto económicas. Disminuir la desviación estándar de frecuencia se traduce entonces en minimizar las pérdidas de energía originadas por generar más energía de la que se está consumiendo.

Si en Enero de 2014 el promedio de desviación estándar fue 0.03145 Hz y el promedio del mes de Junio 0.02735 Hz, significa que hubo una reducción total de:

$$0.03145 [Hz] - 0.02735 [Hz] = 0.0041 [Hz]$$

Para obtener el promedio de energía que se ahorra en consecuencia a esta disminución de desviación estándar de frecuencia, usamos el BIAS, que es la magnitud de variación promedio de la frecuencia respecto a cambios en la potencia del sistema. El BIAS actual del sistema es de 350 MW/dHz<sup>12</sup>. Realizando la conversión de dHz a Hz y multiplicando por la reducción de desviación estándar de frecuencia se obtiene:

$$(0.0041[Hz]) \left\{ \left( 350 \left[ \frac{MW}{dHz} \right] \right) \left( \frac{10 [dHz]}{1 [Hz]} \right) \right\} = 14.35 [MW]$$

Este valor de 14.35 [MW] se multiplica por la cantidad de tiempo que se quiera analizar, en este caso, el periodo de la evaluación, el cuál fue de 181 días. Las operaciones correspondientes son las siguientes:

$$(14.35[MW])(24 \text{ horas})(181 \text{ días}) = 62336.4 [MW \cdot 6 \text{ meses}]$$

El costo de la energía es variable. Por lo tanto, se realizó un cálculo en base a los costos marginales representativos del sistema y se obtuvo un promedio de \$877 por MW<sup>13</sup>. Finalmente:

$$(62336.4[MW \cdot 6 \text{ meses}]) \left( 877 \left[ \frac{\$}{MW} \right] \right) = 54,669,022.80 [\$ \cdot 6 \text{ meses}]$$

Por lo tanto, se ahorró la cantidad de \$54,669,022.80 aproximadamente en el periodo de 6 meses de mi Servicio Social por medio de la disminución de desviación estándar de frecuencia, producto del proyecto de evaluación del personal de turnos del Centro Nacional de Control de la Energía.

---

<sup>12</sup> Valor de BIAS proporcionado por el Centro Nacional de Control de Energía.

<sup>13</sup> Promedio obtenido en base a datos del Centro Nacional de Control de Energía.

## Conclusiones.

Con base en los resultados obtenidos, es posible afirmar que la estrategia de evaluación del personal de turnos fue exitosa. Se confirmó que existían debilidades en el personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía, las cuales engloban posiblemente a la pereza social. Estas debilidades se identificaron en el momento en que se presentó una evaluación al personal de turnos. El fenómeno de Facilitación Social quedó también demostrado ya que, cuando los operadores estuvieron conscientes de que se estaba realizando una evaluación individual, supieron que su desempeño se reflejaría en números y por tanto incrementaron su eficiencia laboral. El aspecto psicológico es determinante para nuestro desempeño y, con este proyecto, quedó demostrado que cuando una persona es consciente de que está siendo evaluada, incrementa su eficiencia en la tarea que está realizando. En este caso, la tarea que realiza el personal de turnos del Centro Nacional de Control de Energía, a pesar de contar con un nivel de dificultad elevado, es una tarea bien aprendida, puesto que la experiencia de todo el personal es vasta. Con esto queda demostrada la Ley de Yerkes Dodson sobre la Facilitación Social, la cual dice que en tareas bien aprendidas, aunque sean de alta dificultad, una atmósfera de evaluación incrementará el desempeño del trabajador.

Durante las primeras veces que realicé la estadística de frecuencia y enlaces de potencia tardaba aproximadamente 4 horas en realizarla. Conforme pasó el tiempo adquirí mayor experiencia, y el tiempo que me requería terminarla disminuyó aproximadamente a 2 horas. Por ello es posible afirmar que realizar estadística diariamente de frecuencia y enlaces de potencia es factible.

El incremento en el desempeño del personal de turnos beneficia al operador ya que mejora su perfil profesional y su alta eficiencia lo identifica como un buen operador del Sistema Eléctrico Nacional. Al jefe del Departamento de Operación y Despacho en Tiempo Real también le beneficia el incremento en el desempeño del personal a su cargo, puesto que entrega mejores resultados y su perfil profesional aumenta. En el análisis económico de este trabajo de investigación se refleja que los beneficios que obtiene la Comisión Federal de Electricidad del aumento en la eficiencia laboral del personal de turnos del CENACE se resumen en un ahorro de más de 54 millones de pesos en 6 meses.

Finalmente, mi trabajo no sólo contribuyó a mantener la integridad del Sistema Eléctrico Nacional, sino que se logró y demostró una mejora en cuanto a la calidad y seguridad del suministro de energía eléctrica en México, reflejada en la desviación estándar de frecuencia.

## Referencias

- [1] “REGLAMENTO DE LA LEY DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA,” Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México, 2012.
- [2] A. Davies, *Handbook of Condition Monitoring: Techniques and Methodology.*, New York: Springer, 1997.
- [3] N. J. Salkind, *Métodos de Investigación*, México: Prentice Hall, 1999.
- [4] M. Triola, *Estadística*, México: Pearson, 2004.
- [5] S. Wolf, *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio.*, México: Pearson, 1992.
- [6] K. A. Seeler, *System Dynamics. An Introduction for Mechanical Engineers*, Easton, Pennsylvania: Springer, 2014.
- [7] I. d. I. Eléctricas, *Manual de Operación: Conceptos Fundamentales y Operacionales de Sistemas de Energía Eléctrica*, México, 1992.
- [8] D. G. Colomé, *Regulación de Frecuencia*, Universidad Nacional de San Juan: Instituto de Ingeniería Eléctrica .
- [9] C. Fernández Fiol and J. Fernández Correa, *Modernización de Sistemas de Control en Centrales Termoeléctricas*, México, D.F.: Subgerencia de Instrumentación y Control, CFE, 2010.
- [10] J. R. Smith, *Social Psychology: Revisiting The Classic Studies*, SAGE, 2012.
- [11] S. J. Karau and K. D. Williams, *Social Loafing: A Meta-Analytic Review and Theoretical Integration*, 1993.
- [12] R. C. Liden, “Social Loafing: A Field of Investigation,” *Journal of Management*, pp. 285-304, 2004.
- [13] B. Strauss, “Social facilitation in motor tasks: a review of research and theory,” *Psychology of Sport and Exercise*, vol. 3, pp. 237-256, 2001.
- [14] L. Kirby, “Group Processes,” Vanderbilt University, Nashville, TN., 2011.