

**Sistemas de
monitoreo y control para
cumplimiento de Factor
de Potencia de acuerdo al
Código de Red**



NRGY
SOLUTIONS

CONTENIDO

01 RESUMEN.	4
02 SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA CUMPLIMIENTO DE FACTOR DE POTENCIA DE ACUERDO AL CÓDIGO DE RED.	5
» Factor de Potencia y Código de Red.	5
» Corrección del Factor de Potencia, casos de estudio.	6
» FP Global.	11
» Equipos y conexiones para el FPGlobal.	12
» Cálculo de degradación.	14
» Medición de datos Globales.	17
» Ejecución del FPGlobal.	18
» Caso de éxito de la aplicación FPGlobal.	25
» Sistema de Monitoreo.	26
03 CONCLUSIONES.	30
04 NRGY SOLUTIONS.	32
» Innovación y desarrollo de sistemas energéticos.	33
» Administración y uso eficiente de la energía.	33
» Calidad de la energía eléctrica.	33
» Ingeniería eléctrica.	34
» Educación en energía.	34
Certificaciones internacionales.	35
Referencias.	35
Anexo A. Ficha técnica del Concentrador de Datos.	36
Contacto.	40

TABLA DE FIGURAS

Tabla 1. Requerimientos específicos por nivel de tensión en el Punto de Conexión.	6
Figura 1. Perfil de demandas antes de la instalación de equipos de corrección de FP.	7
Figura 2. Factor de Potencia promedio cincominutal antes de la instalación de equipos de corrección de FP.	7
Figura 3. Perfil de demandas después de la instalación de equipos de corrección de FP	8
Figura 4. Factor de Potencia promedio cincominutal después de la instalación de equipos de corrección de FP.	8
Figura 5. Perfil de demandas del Centro de Carga con períodos de baja carga.	9
Figura 7. Porcentaje del tiempo del estado del FP.	10
Figura 6. Factor de Potencia promedio cincominutal del Centro de Carga con períodos de baja carga.	10
Tabla 2. Potencias por transformador en escenario de baja carga.	11
Figura 8. Esquema de conexión de equipos de corrección de Factor de Potencia a un Sistema de Monitoreo.	13
Figura 9. Concentrador de datos.	14
Figura 10. Medidor de degradación.	15
Figura 11. Diagrama de flujo de la rutina de degradación.	16
Figura 12. Diagrama de flujo para la adquisición de datos globales del lado de los Concentradores de Datos.	17
Figura 13. Diagrama de flujo para la adquisición de datos globales del lado del Servidor.	18
Figura 14. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado de los Concentradores de Datos.	21
Figura 15. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 1.	22
Figura 16. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 2.	23
Figura 17. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 3.	24
Figura 18. Perfil de demandas del Centro de Carga con períodos de baja carga bajo la aplicación FPGlobal.	25
Figura 19. Factor de Potencia promedio cincominutal de empresa con períodos de baja carga bajo la aplicación FPGlobal.	25
Figura 20. Porcentaje del tiempo del estado del FP bajo la aplicación FPGlobal.	26
Figura 21. Interfaz del sistema de monitoreo.	26
Figura 22. Interfaz de monitoreo de equipos de corrección de FP.	27
Figura 23. Servicios de NRGY Solutions.	32

01

RESUMEN

Se presenta una solución para lograr el cumplimiento del Factor de Potencia en cuanto a Código de Red, en Centros de Carga que presentan períodos de baja carga, con un Sistema de monitoreo y control con la aplicación FPGlobal, la cual consiste en coordinar todos los equipos de corrección de Factor de Potencia para compensar potencia reactiva de acuerdo a la medición en el punto de la acometida y no individualmente en el punto de conexión de los equipos.

02

Sistemas de monitoreo y control para cumplimiento de Factor de Potencia de acuerdo al Código de Red

Factor de Potencia y Código de Red

El Factor de Potencia es un parámetro que mide la relación de potencia eléctrica útil con respecto a la potencia total, al cual están sujetos todos los elementos de un sistema eléctrico en corriente alterna. Es deseable tener un buen Factor de Potencia en los centros de carga, ya que, un bajo Factor de Potencia, en términos eléctricos, hace que fluya una corriente de mayor magnitud en las líneas de transmisión y distribución de energía para entregar una cantidad determinada de potencia útil a una carga eléctrica. Mejorar el Factor de Potencia puede maximizar la capacidad de transporte y transformación de potencia, mejorar la regulación del voltaje al que los equipos eléctricos están sometidos, reducir las pérdidas de energía y reducir el recibo eléctrico.

En México, los Centros de Carga deben mantener bajo observación distintos parámetros específicos en su operación en el Sistema Eléctrico Nacional, los cuales se resumen en la [Tabla 1](#). Los Centros de Carga conectados en alta tensión (≥ 35 kV) deben cumplir el requerimiento específico del Factor de Potencia, el cual consiste en mantener el FP entre 95%-100% inductivo, el 95% del tiempo, midiendo el promedio en intervalos cincominutales. Considerando un mes de 30 días, lo que equivale a 8640 períodos cincominutales; un Centro de Carga debe cumplir con el FP mencionado anteriormente al menos en 8208 períodos cincominutales, es decir 28.5 días, dejando una ventana para incumplir de tan solo un día y medio. Es obligación de los Centros de Carga tomar acciones para asegurar el cumplimiento de dichos parámetros de acuerdo al Código de Red (emitido el 08 de abril de 2016), con el objetivo de mejorar la confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

Requerimientos específicos por nivel de tensión en el Punto de Conexión ⁶	
Media Tensión (>1 kV, ≤ 35 kV)	Alta Tensión (≥ 35 kV)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tensión (numeral 3.1): <ol style="list-style-type: none"> a. Variaciones de tensión de manera permanente (Tabla 3.1.1.A), b. Variaciones de tensión de manera temporal (Tabla 3.1.1.B), c. Condiciones transitorias de variación de tensión (Figura 3.1.1.A). 2. Frecuencia (numeral 3.2): <ol style="list-style-type: none"> a. Variaciones de frecuencia de manera permanente y temporal (Tabla 3.2.1.A), b. Variaciones de frecuencia ante la conexión o desconexión de carga. 3. Corto circuito 4. Protecciones 5. Control 6. Intercambio de información 7. Calidad de la energía: <ol style="list-style-type: none"> a. Desbalance de corriente (Tabla 3.8.E). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tensión (numeral 3.1): <ol style="list-style-type: none"> a. Variaciones de tensión de manera permanente (Tabla 3.1.1.A), b. Variaciones de tensión de manera temporal (Tabla 3.1.1.B), c. Condiciones transitorias de variación de tensión (Figura 3.1.1.A). 2. Frecuencia (numeral 3.2): <ol style="list-style-type: none"> a. Variaciones de frecuencia de manera permanente y temporal (Tabla 3.2.1.A), b. Variaciones de frecuencia ante la conexión o desconexión de carga. 3. Corto circuito 4. Factor de potencia 5. Protecciones 6. Control 7. Intercambio de información 8. Calidad de la energía: <ol style="list-style-type: none"> a. Distorsión armónica en corriente (Tabla 3.8.A, Tabla 3.8.B y Tabla 3.8.C), b. Fluctuación de tensión (flicker) (Tabla 3.8.D), c. Desbalance de corriente (Tabla 3.8.E).

Tabla 1. Requerimientos específicos por nivel de tensión en el Punto de Conexión.

Corrección del Factor de Potencia, casos de estudio

Mantener el $95\% L < FP < 100\%$ parece tarea fácil, ya que, con la instalación de equipos de corrección de Factor de Potencia, como lo son los bancos de capacitores o los filtros de armónicas se puede solucionar el problema. Un ejemplo de esto es el siguiente Centro de Carga que realizó instalación de filtros de armónicas en todos sus transformadores equivalentes a 2 MVar. En la **Figura 1** se muestra el perfil de potencias antes de que se realizara la instalación, mientras que en la **Figura 2** se puede observar el FP promedio cincominutal con su respectivo límite inferior en 95 % L.

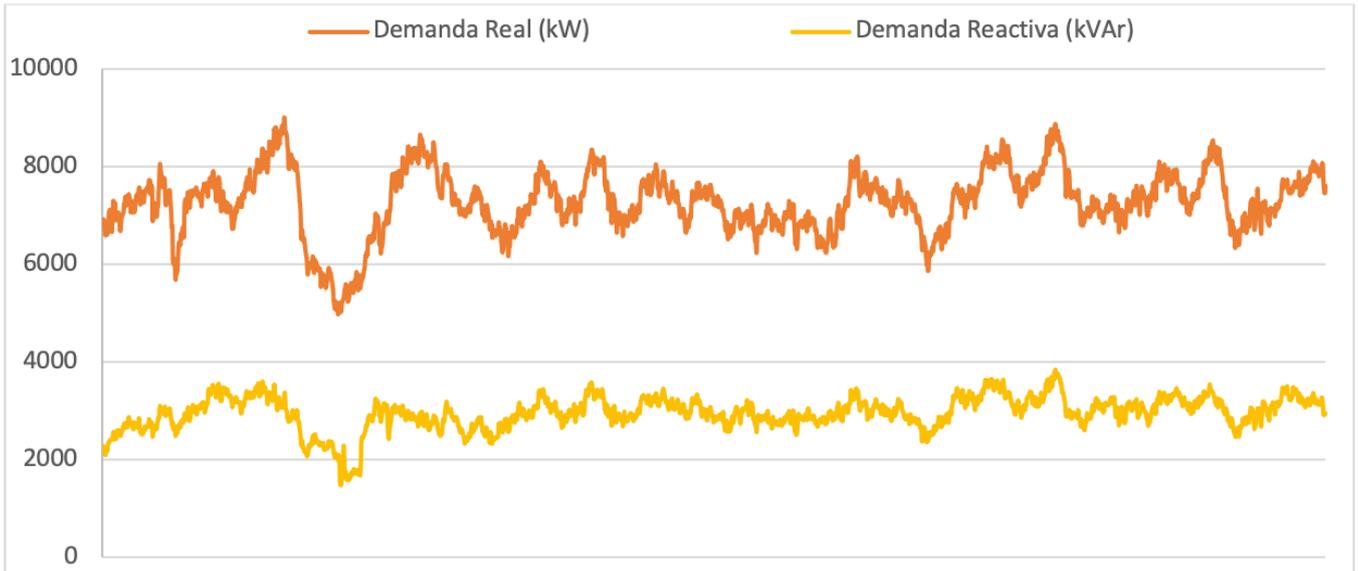


Figura 1. Perfil de demandas antes de la instalación de equipos de corrección de FP.

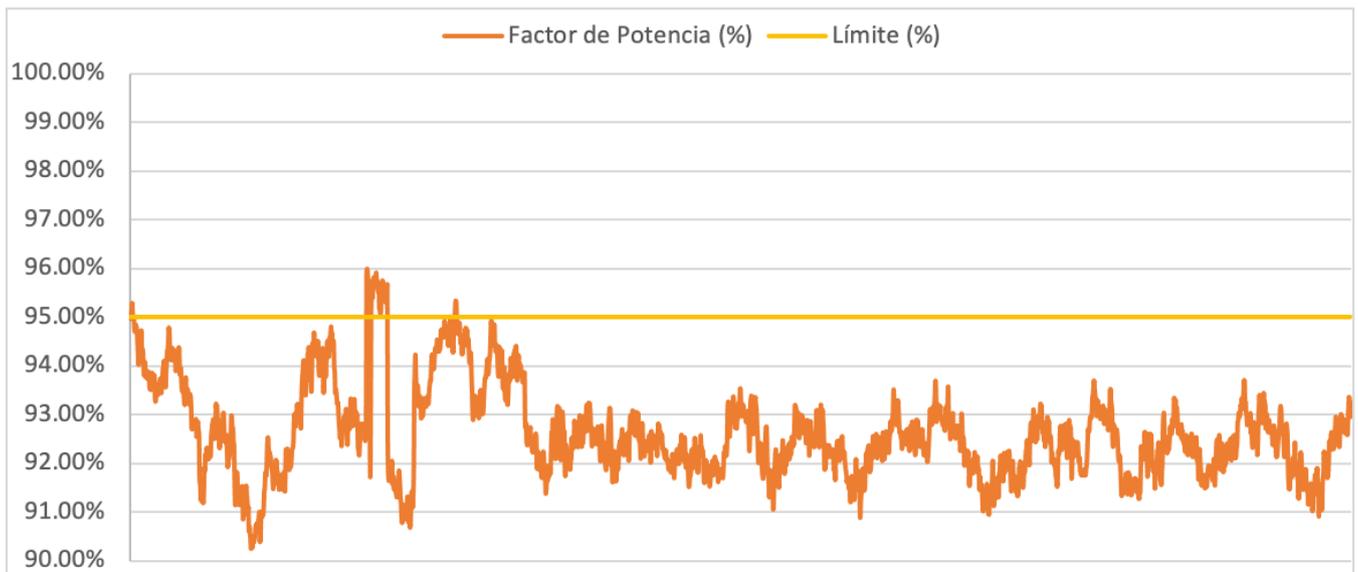


Figura 2. Factor de Potencia promedio cincominutal antes de la instalación de equipos de corrección de FP.

Bajo este escenario el $95\% L < FP < 100\%$ solo se cumple el 2.1% del tiempo, dando lugar a incumplimiento de FP de acuerdo al Código de Red. Sin embargo, después de la instalación de los filtros de armónicas el FP mejora considerablemente, tal como se muestra en la Figura 3 y en la Figura 4, donde el cumplimiento del $95\% L < FP < 100\%$ es del 100% del tiempo.

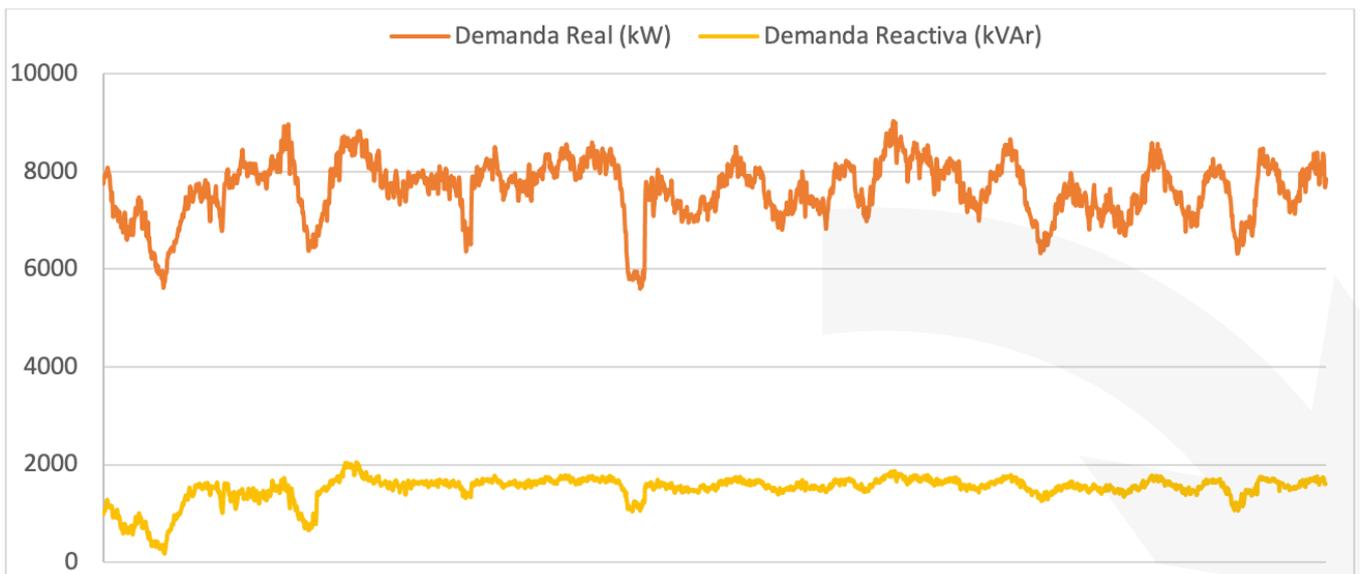


Figura 3. Perfil de demandas después de la instalación de equipos de corrección de FP

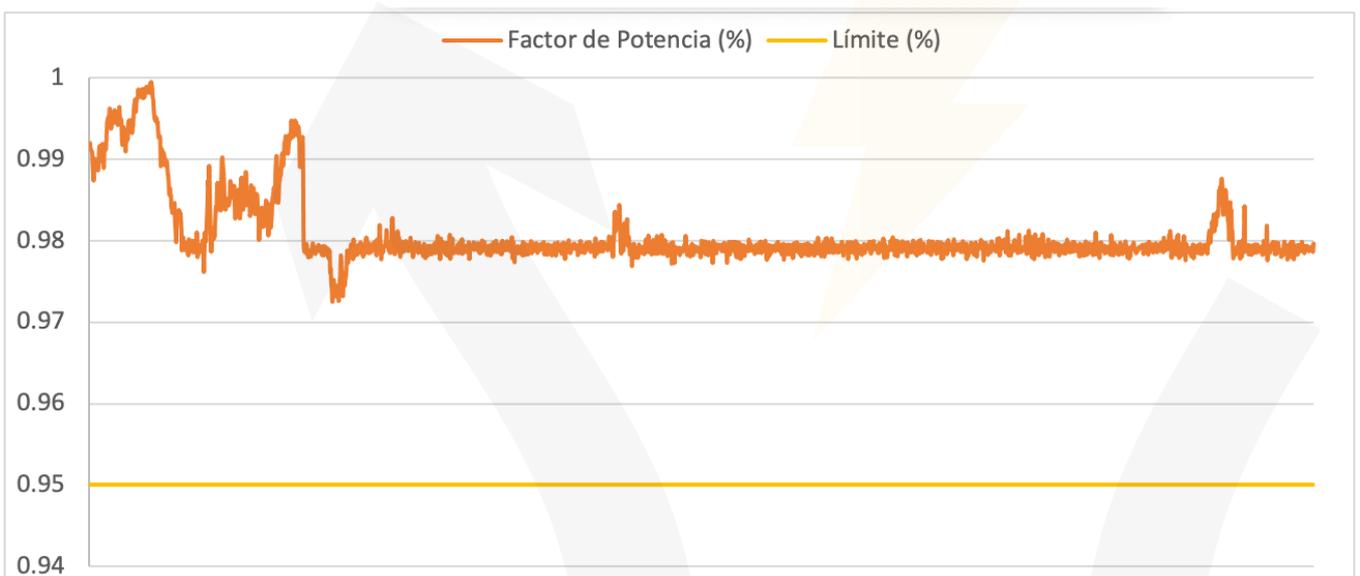


Figura 4. Factor de Potencia promedio cincominutal después de la instalación de equipos de corrección de FP.

Para que este Centro de Carga lograra cumplir con FP de acuerdo al Código de Red solo fue necesario instalar capacidad en reactivos, sin embargo, no en todos los Centros de Carga es tan sencillo, puesto que algunos bajan su carga con regularidad, comúnmente durante las noches y/o fines de semana.

A continuación, se muestra otro Centro de Carga donde la demanda eléctrica baja ligeramente por las noches, y drásticamente los fines de semana. En este caso el Centro de Carga cuenta con equipos de corrección de Factor de Potencia en cada uno de los seis transformadores en el lado de baja tensión. Estos equipos fueron dimensionados a la medida para compensar la mayor parte de su demanda máxima de reactivos.

En la siguiente figura se puede observar el perfil de potencias en el centro de carga, resultando en un FP promedio de 99.67% inductivo. Hay que recordar que, para cumplir con el Código de Red, el FP tiene que estar entre el 95% y 100% inductivo el 95% del tiempo.

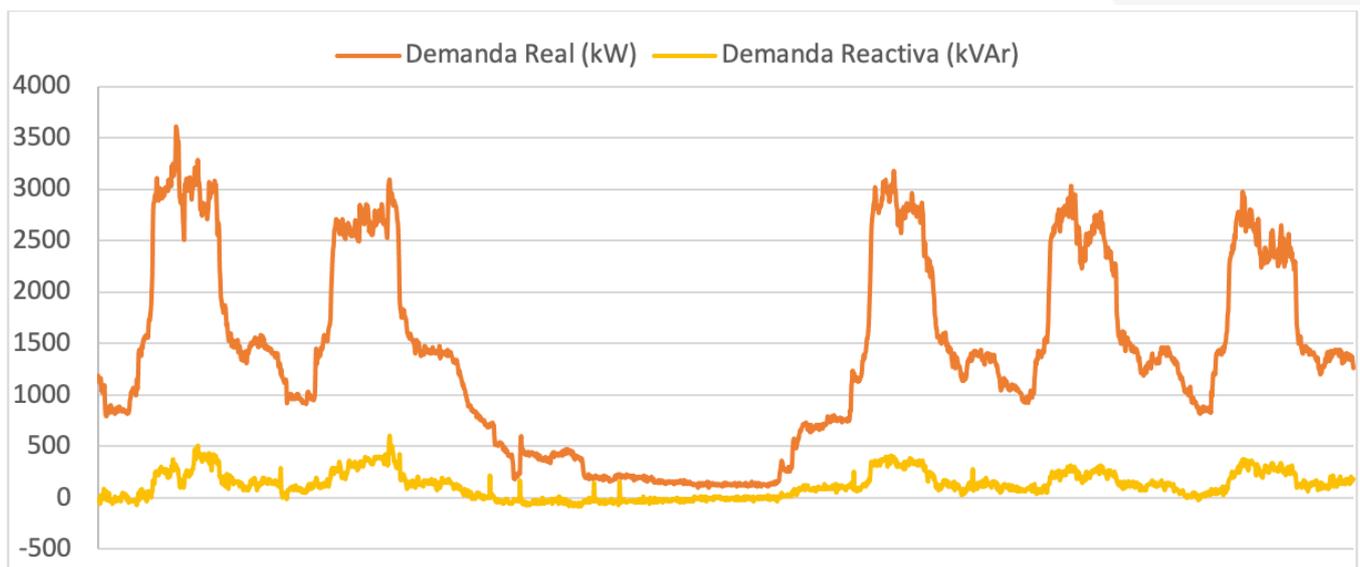


Figura 5. Perfil de demandas del Centro de Carga con períodos de baja carga.

Al echar un vistazo al perfil de FP promedio cincominutal del mismo período, se evidencia que mientras el centro de carga está operando con un factor de carga alto, el FP se mantiene en cumplimiento, pero al llegar el fin de semana, los filtros de armónicas no logran compensar adecuadamente debido a que la demanda es tan baja, que los pasos con los cuales están diseñados quedan demasiado grandes, provocando que el FP se vuelva capacitivo, resultando en un incumplimiento de Código de Red.

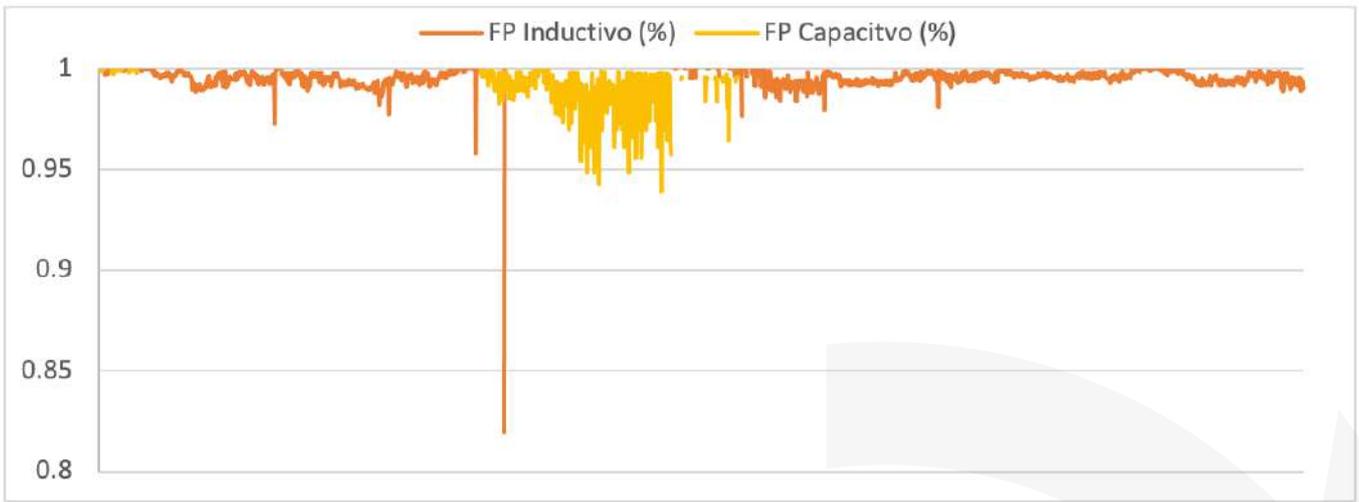


Figura 6. Factor de Potencia promedio cincominutal del Centro de Carga con períodos de baja carga.

En la siguiente figura se puede ver que, en el período analizado, solo el 82% se opera en cumplimiento y el 18% en incumplimiento.

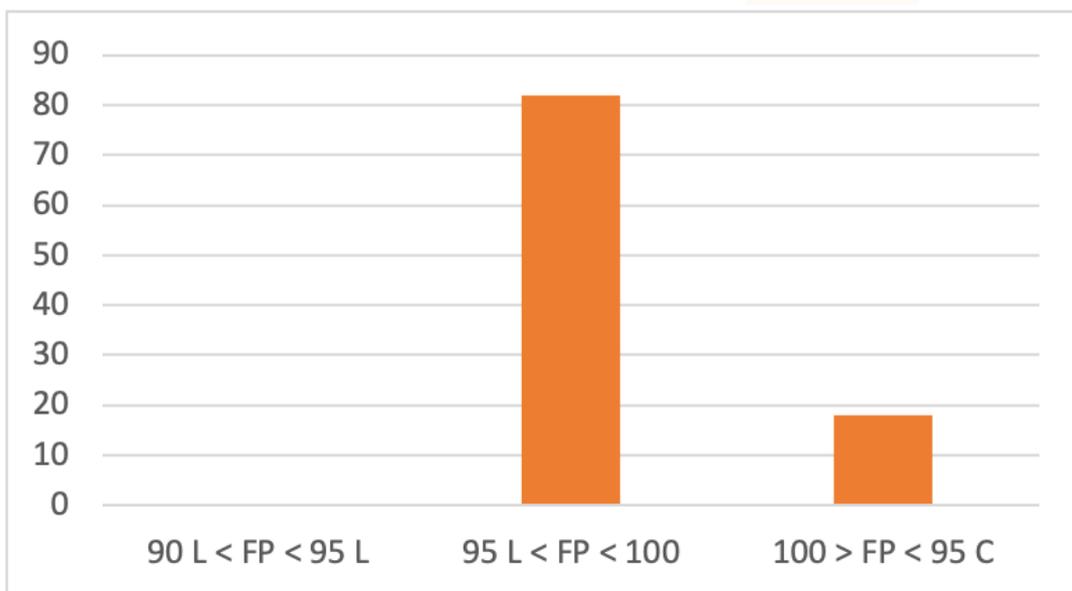


Figura 7. Porcentaje del tiempo del estado del FP.

Para lograr mostrar con mayor claridad lo mencionado anteriormente, en la **Tabla 2** se muestra la demanda eléctrica en un período de cinco minutos de cada uno de los transformadores mientras la carga está baja. Los controladores de los bancos de capacitores y filtros de armónicas intentan compensar en su punto de conexión (lado de baja de los transformadores) llegando a un setpoint de FP previamente configurado, el cual en este caso es 99% inductivo.

Al analizar las potencias individuales y los pasos más chicos de los filtros de armónicas, podemos observar que si ingresan dicho paso el resultado será un FP capacitivo, sin embargo, al no ingresarlo, el FP es menor a 95% inductivo, por lo que en ambas situaciones se tendrá un incumplimiento de FP en cuanto a Código de Red.

Transformador	1	2	3	4	5	6	Total
Potencia real (kW)	47	53	31	44	68	73	316
Potencia reactiva (KVAr)	20	29	17	22	32	42	162
FP sin compensación	92.02%	87.73%	87.68%	89.44%	90.48%	86.68%	88.99%
Paso más chico del equipo de corrección de FP en el transformador (KVAr)	25	50	25	25	50	75	250
FP con compensación (paso más chico)	-99.44 %	-92.97 %	-96.83 %	-99.77 %	-96.67 %	-91.12 %	-96.33 %

Tabla 2. Potencias por transformador en escenario de baja carga.

FPGlobal

Hay dos vías para solucionar el problema de compensación de FP en periodos de baja carga. La primera vía es la instalación de filtros activos, los cuales entregan exactamente la potencia reactiva que se necesita, la desventaja es que son muy costosos en comparación a un filtro normal, y solo compensa en el punto donde está conectado, por lo que habría que instalar filtros activos pequeños en cada uno de los transformadores, o en su defecto, uno en media o alta tensión, elevando demasiado el precio de un proyecto de corrección de Factor de Potencia. La segunda vía es el control con un Sistema de Monitoreo, y un ejemplo de esto es la aplicación FPGlobal desarrollada por la empresa NRGYSolutions.

FPGlobal es una aplicación de control automático el cual permite la coordinación óptima en múltiples equipos de corrección de Factor de Potencia para el cumplimiento de Código de Red o cualquier otra meta definida para el Centro de Carga en la acometida.

Equipos y conexiones para el FPGlobal

Para lograr lo anterior, el Sistema de Monitoreo debe estar midiendo la demanda real y reactiva total del centro de carga, y al detectar una caída en la potencia suficiente como para que los equipos de corrección de Factor de Potencia dejen de compensar correctamente de manera individual, comienza a coordinarlos para que logren el objetivo global. Volviendo al ejemplo de la **Tabla 2**, a nivel acometida hay una demanda de 316 kW y 162 kVAr, sin embargo, esta potencia está dividida en los seis transformadores. En esta situación lo ideal sería mantener un solo filtro de armónicas inyectando 150 kVAr mientras el resto se mantienen apagados, logrando mantener el FP en los límites establecidos por el Código de Red.

Es recomendable contar con la medición en el punto de la acometida, una vía para tener esta medición es la integración de un módulo de expansión con salida de pulsos en el medidor del suministrador de energía eléctrica, sin embargo, no todos los suministradores estarán dispuestos a permitir dicha conexión en sus equipos. Otra opción es la instalación de un medidor adicional exclusivo del Sistema de Monitoreo en la acometida, con su instrumentación en alta tensión (transformadores de potencial y transformadores de corriente).

La conexión para integrar los filtros de armónicas al Sistema de Monitoreo se muestra en la **Figura 8**, donde, el controlador de Factor de Potencia de cada uno de ellos se conecta a un Concentrador de Datos (**Figura 9**), el cual se comunica con ellos vía Ethernet (comúnmente con el protocolo de comunicación Modbus TCP) o vía cableado serial RS485/RS232 (comúnmente con el protocolo de comunicación Modbus RTU). Dicho Concentrador se encarga de interrogar y mandar órdenes constantemente a cada uno de los controladores de Factor de Potencia, además guarda la información en una base de datos interna, y posteriormente la envía a un servidor por medio de datos móviles donde se procesa y visualiza de manera intuitiva. Otro esquema de conexión es la instalación de múltiples Concentradores de Datos en distintas “zonas” o agrupaciones de equipos de corrección de Factor de Potencia, donde al final toda la información se envía y se centraliza en el servidor, evitando la instalación de largos tramos de cableado serial y/o uso de la red Ethernet de la empresa. En el Anexo A. Ficha técnica del Concentrador de Datos se detallan los equipos que componen un Concentrador de Datos.

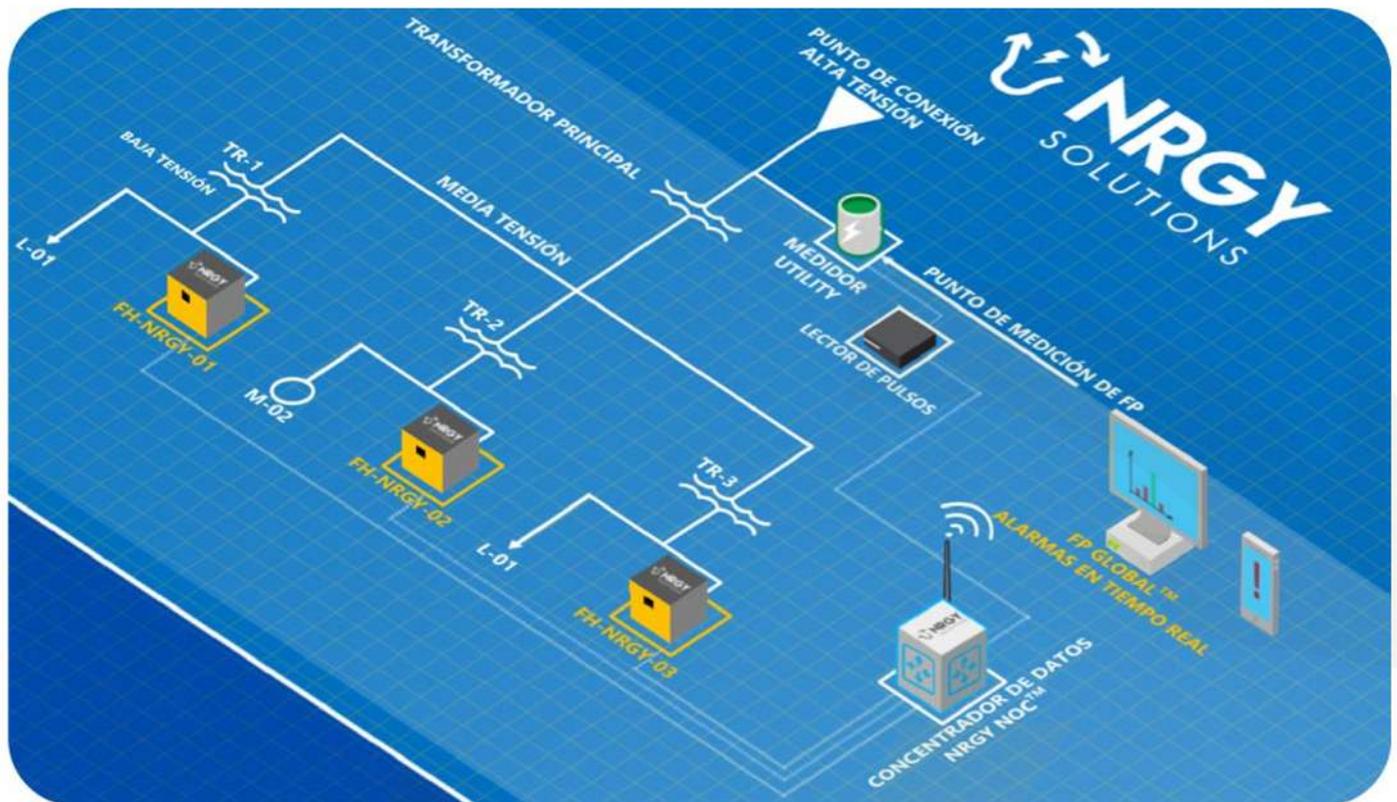


Figura 8. Esquema de conexión de equipos de corrección de Factor de Potencia a un Sistema de Monitoreo.

Los controladores además de manipular los pasos que entran y salen de operación en un equipo de corrección de Factor de Potencia, con el fin de regular la cantidad de reactivos que inyecta, también hace la función de medidor, debido a que requieren conocer la potencia real y la potencia reactiva en el punto de conexión en donde están compensando.

Es posible obtener distintas variables eléctricas de estos controladores, por lo que, si se cuenta con equipos de corrección de Factor de Potencia en todos los transformadores, también se tendría un sistema de monitoreo de energía eléctrica completo en el centro de carga, siendo una alternativa económica para evitar colocar un medidor principal para el Sistema de Monitoreo. A su vez, la medición total de la planta industrial puede ser la suma de medidores eléctricos convencionales en los transformadores de baja o media tensión.



Figura 9. Concentrador de datos.

Cálculo de degradación

Para que el Sistema de monitoreo sea capaz de controlar el FP a nivel acometida, primero debe conocer la cantidad de reactivos que un filtro de armónicas o banco de capacitores puede entregar realmente. Para lograr esto se instala un medidor dentro del equipo de corrección de FP midiendo exclusivamente la salida del mismo como se muestra en la **Figura 10**. Donde:

- A. Es el medidor de degradación. Al estar dentro del equipo de corrección de FP no es necesario que tenga pantalla, pues toda la información se transmitirá por comunicación serial RS485 hacia el Concentrador de Datos.
- B. Son los transformadores de corriente del medidor de degradación, instalados uno en cada una de las líneas de salida del filtro de armónicas o banco de capacitores.
- C. Es el bloque de distribución del ramal principal hacia cada uno de los pasos del equipo de corrección de FP.
- D. Son las señales de voltaje del medidor de degradación, conectadas a cada una de las fases en el bloque de distribución.

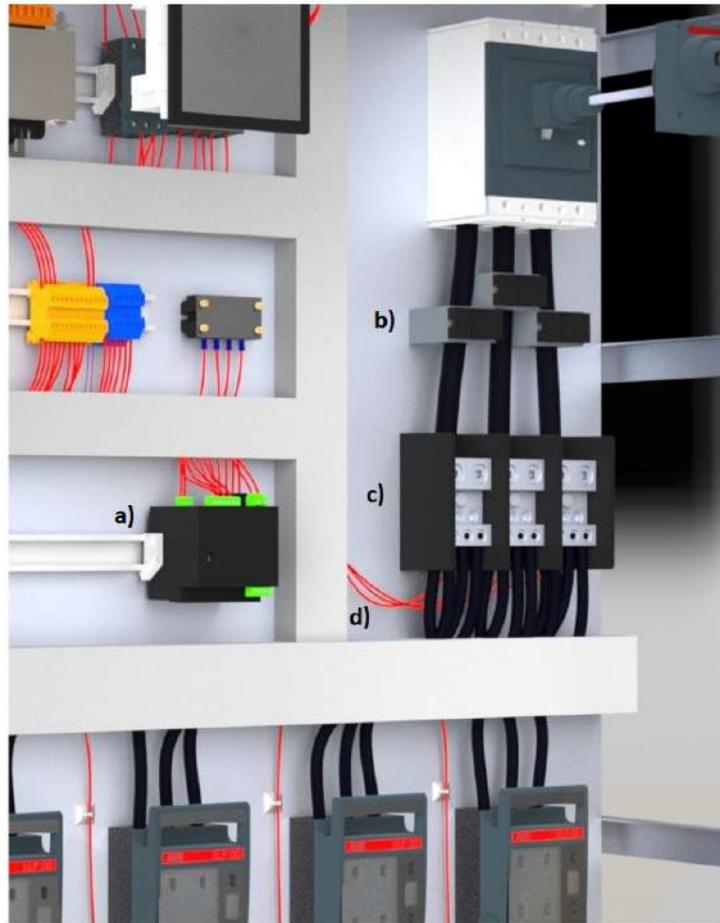


Figura 10. Medidor de degradación.

El Concentrador de Datos periódicamente ejecuta una rutina para obtener la degradación por paso de cada uno de los equipos de compensación de FP con los que tiene conexión. Esta rutina consiste en lo siguiente:

1. Se desconectan todos los pasos del equipo de corrección de FP.
2. Se conecta un solo paso.
3. Se mide la potencia reactiva de salida del filtro la cual corresponde a la que aporta el único paso que está conectado. De esta manera se calcula la degradación con respecto al valor de potencia reactiva nominal del paso. Adicional a esto, se puede saber si los fusibles están dañados, puesto que se miden las corrientes por línea.
4. Se repiten los puntos 1, 2 y 3 para cada uno de los pasos del filtro de armónicas o banco de capacitores.

Para mayor detalle, en la **Figura 11** se muestra el diagrama de flujo de la rutina de degradación, cabe destacar que la aplicación del FPGlobal está escrita en su totalidad con el lenguaje de programación Python.

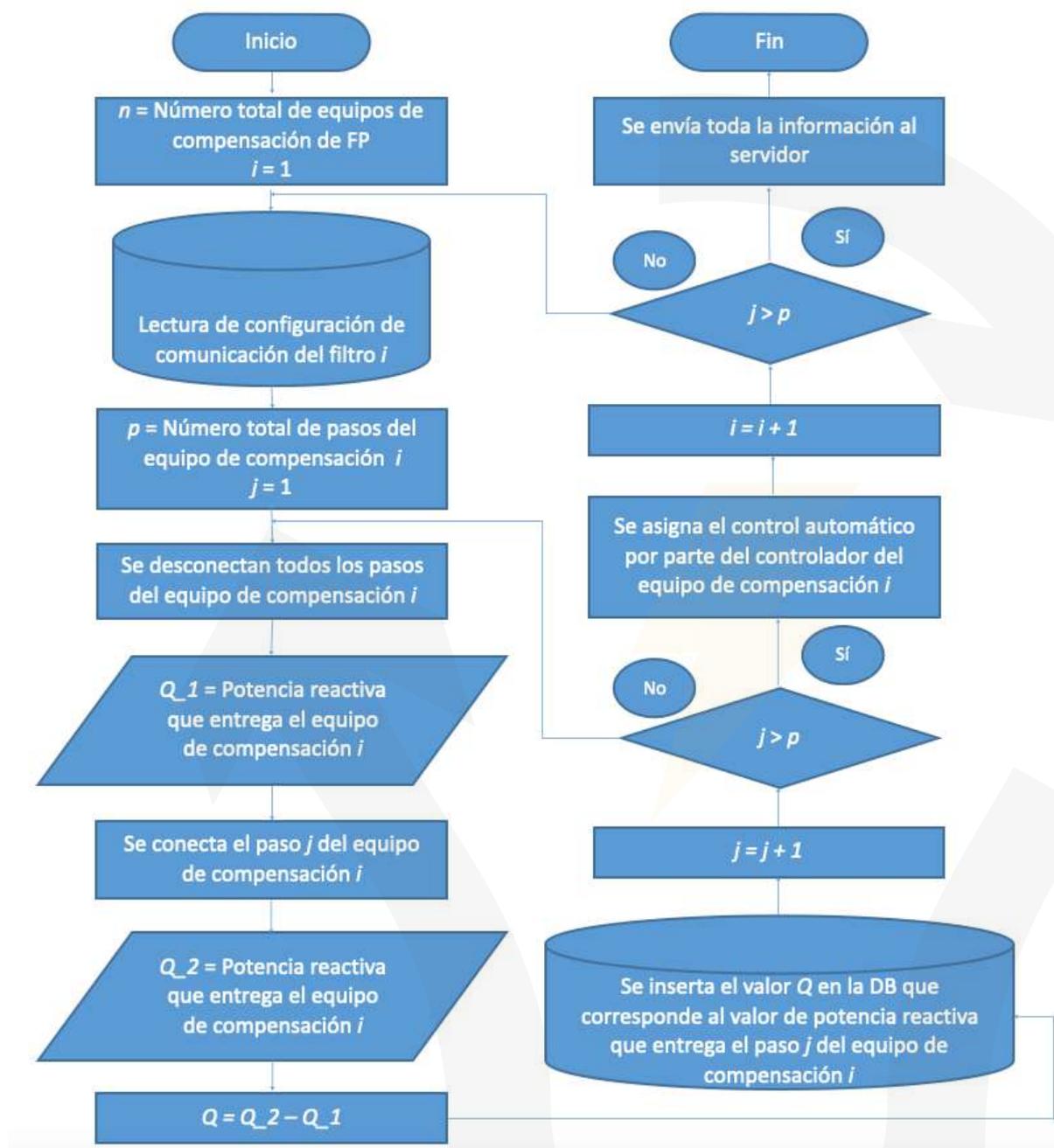


Figura 11. Diagrama de flujo de la rutina de degradación.

Medición de datos Globales

Para lograr hacer un control adecuado del Factor de Potencia con la aplicación FPGlobal, es necesario tener la medición a nivel acometida y para conseguirlo se utilizan los algoritmos de la **Figura 12** y la **Figura 13**, donde se realiza lo siguiente:

1. Cada uno de los Concentradores de Datos del sistema lee el número de medidores y/o controladores de FP que componen la medición Global que tiene registrado.
2. Se lee la configuración de comunicación de cada uno de esos equipos.
3. A cada uno de los equipos se les pregunta la potencia real y la potencia reactiva, almacenando los resultados en los vectores P y Q.
4. Ese vector es enviado al Servidor, el cual sumará cada una de las mediciones recibidas.
5. El Servidor guarda el resultado en la base de datos.

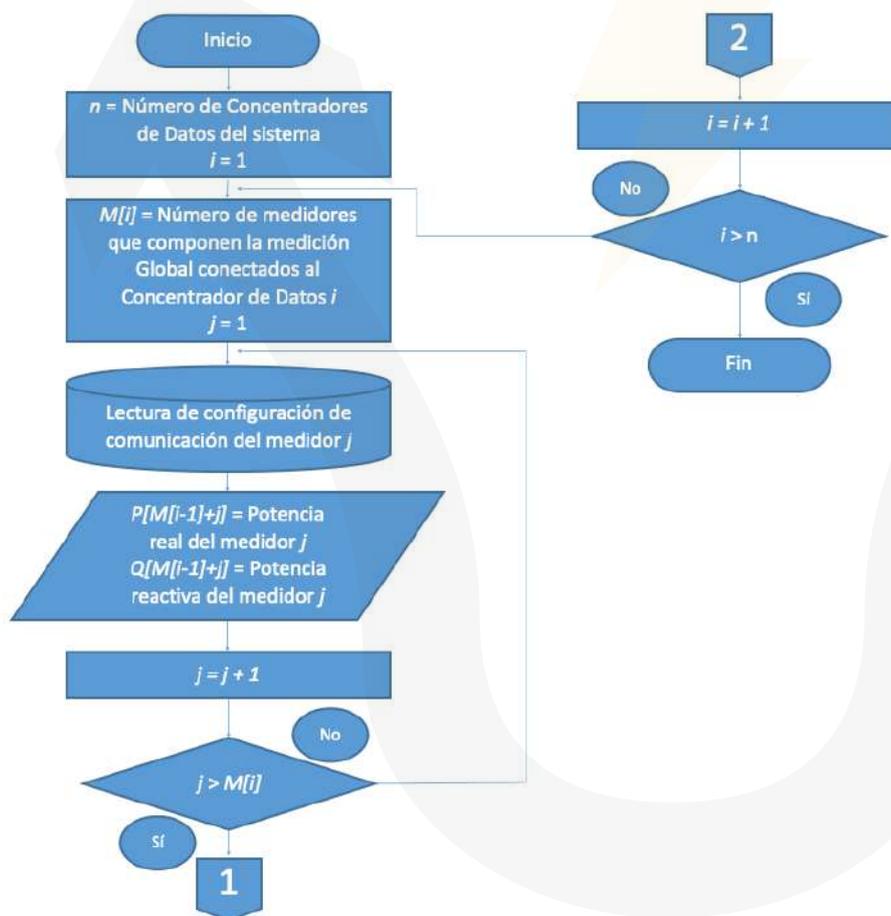


Figura 12. Diagrama de flujo para la adquisición de datos globales del lado de los Concentradores de Datos.

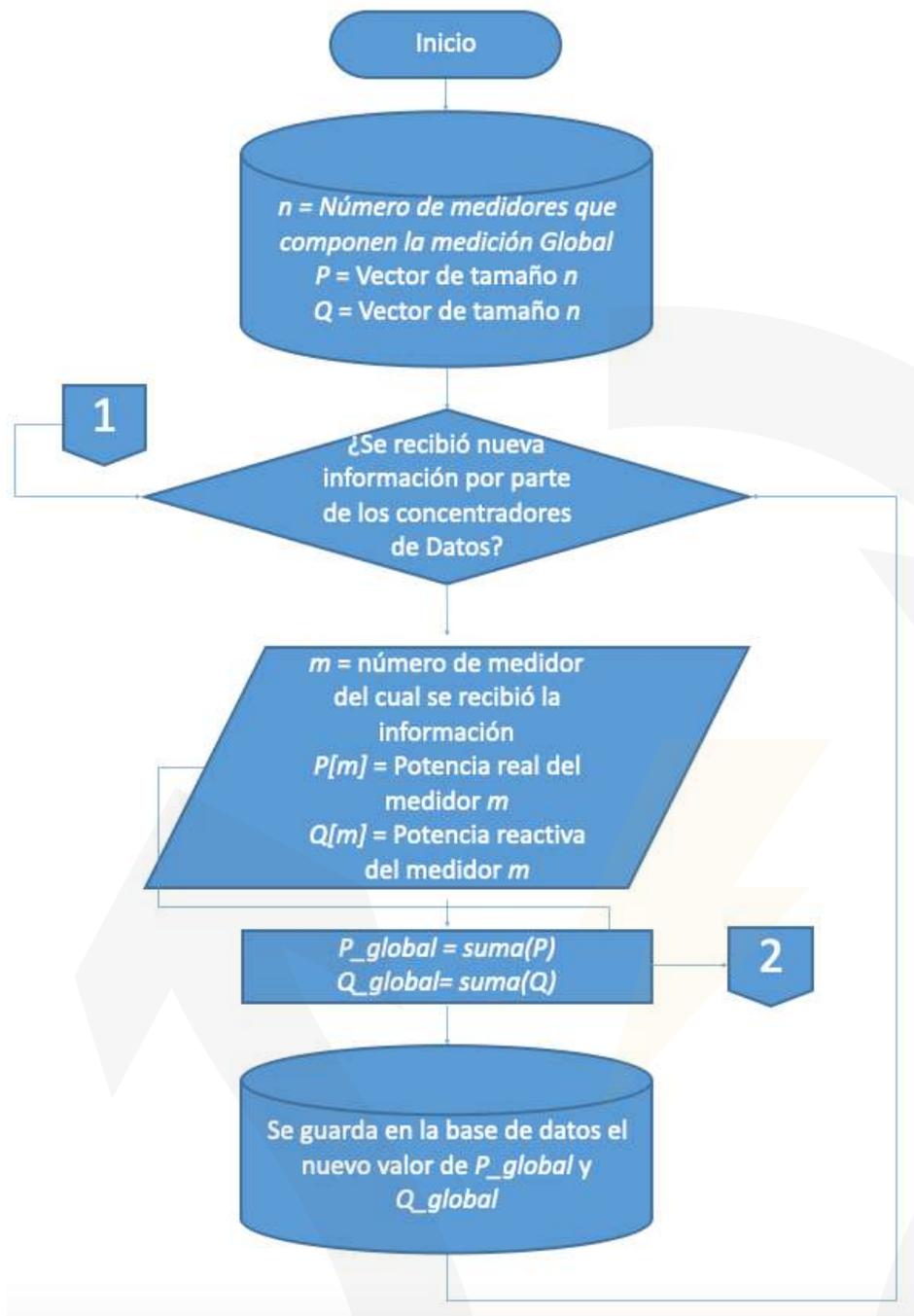


Figura 13. Diagrama de flujo para la adquisición de datos globales del lado del Servidor.

Ejecución del FPGlobal

El FPGlobal se ejecuta con la misma frecuencia con la que los equipos de corrección de FP pueden reconectar un paso, con la finalidad de que los capacitores logren descargarse y evitar afectaciones en la vida útil de los mismos. En el caso de los equipos con contactores, lo recomendable es 1 minuto.

Al igual que en la adquisición de los datos globales, en la ejecución del FP-Global tanto el Servidor como los Concentradores de Datos juegan sus propios roles y se mantienen en constante comunicación. En la **Figura 14** se muestra el algoritmo de la rutina de FPGlobal del lado de los Concentradores de Datos, el cual realiza lo siguiente:

1. Por cada uno de los Equipos de Corrección de FP que tiene conectados cada uno de los Concentradores de Datos, se realiza una solicitud al Servidor para conocer la Orden o el estado en el que debe operar cada uno de los pasos del equipo.
2. Se envía la Orden a cada uno de los Equipos de Corrección de FP.
3. Corrobora que el Controlador de FP recibió la Orden.

El algoritmo que se ejecuta en el Servidor se encuentra distribuido en los diagramas de flujo de las **Figura 15**, **Figura 16** y **Figura 17**, donde se realiza lo siguiente:

1. Lee en la base de datos la potencia reactiva efectiva que puede aportar cada uno de los pasos de los Equipos de Corrección de FP que hay en el sistema.
2. Espera a que llegue una petición de Orden por parte de un Concentrador de Datos.
3. Lee las siguientes variables de la base de datos:
 - A. Potencia Real Global.
 - B. Potencia Reactiva Global.
 - C. Setpoint de FP del sistema.
 - D. Potencia a la cual comienza a operar el FPGlobal (estado de baja carga).
4. Si la Potencia Real Global es menor al estado de baja carga continúa con el programa, de lo contrario le envía la Orden al Concentrador de Datos para que el Equipo de Corrección de FP opere en automático bajo su propio setpoint local.

5. Calcula el FP Global.
6. Si el FP Global se encuentra dentro de los límites deseados envía la Orden al Concentrador de Datos para que el Equipo de Corrección de FP continúe la misma operación, de lo contrario continúa con el programa.
7. Se calcula la Potencia Reactiva que se debería de demandar al suministrador para tener un FP dentro de los límites del setpoint.
8. Lee el estado de operación de cada uno de los pasos de los Equipos de Corrección de FP que hay en el sistema.
9. Calcula el cambio que debe haber en la Potencia Reactiva Global para lograr la Potencia Reactiva que se debería demandar al suministrador para estar dentro de los límites del setpoint, considerando los pasos ya activos.
10. Se analizan todas las combinaciones posibles de operación de los pasos de los Equipos de Corrección de FP del sistema con el Módulo de Python intertools-combinations con la finalidad de encontrar la combinación óptima para lograr el cambio de Potencia Reactiva que se requiere.
11. Se analiza el estado de operación de los pasos que componen el Equipo de Corrección de FP de la solicitud de acuerdo a la combinación ganadora y se envía la Orden al Concentrador de Datos.
12. Se repite el paso 2.

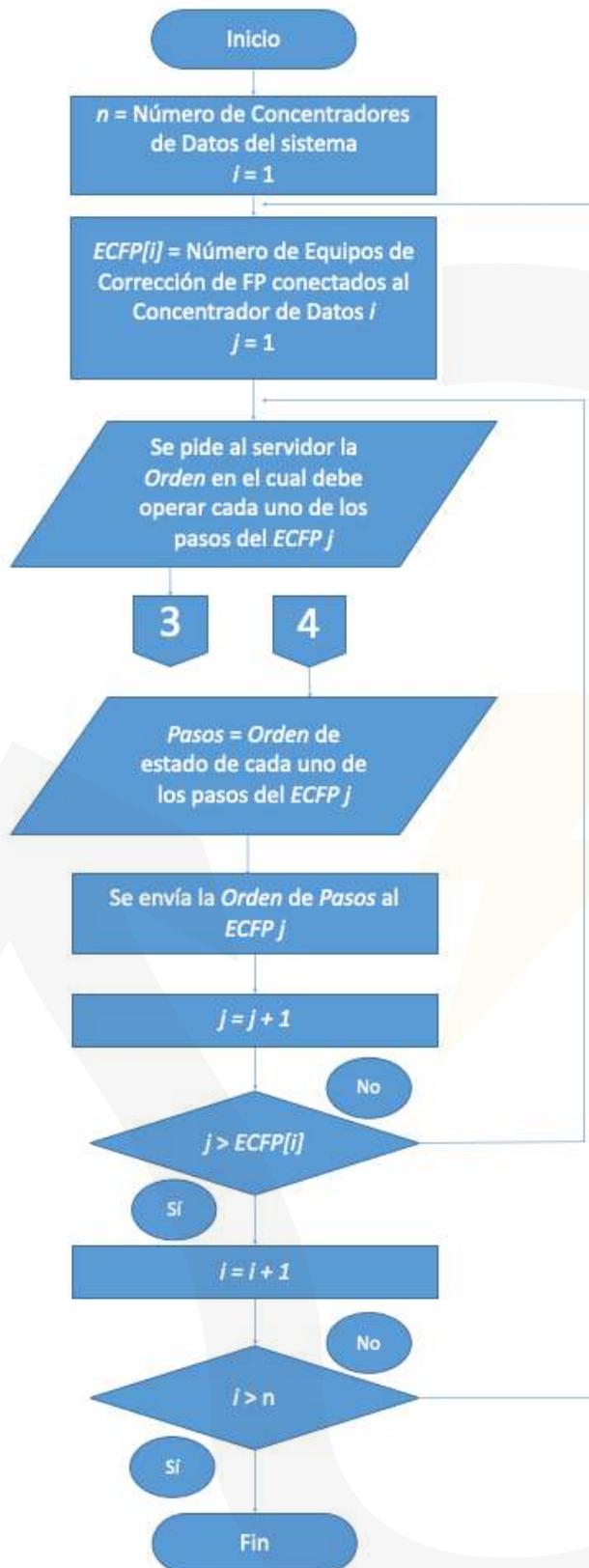


Figura 14. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado de los Concentradores de Datos.

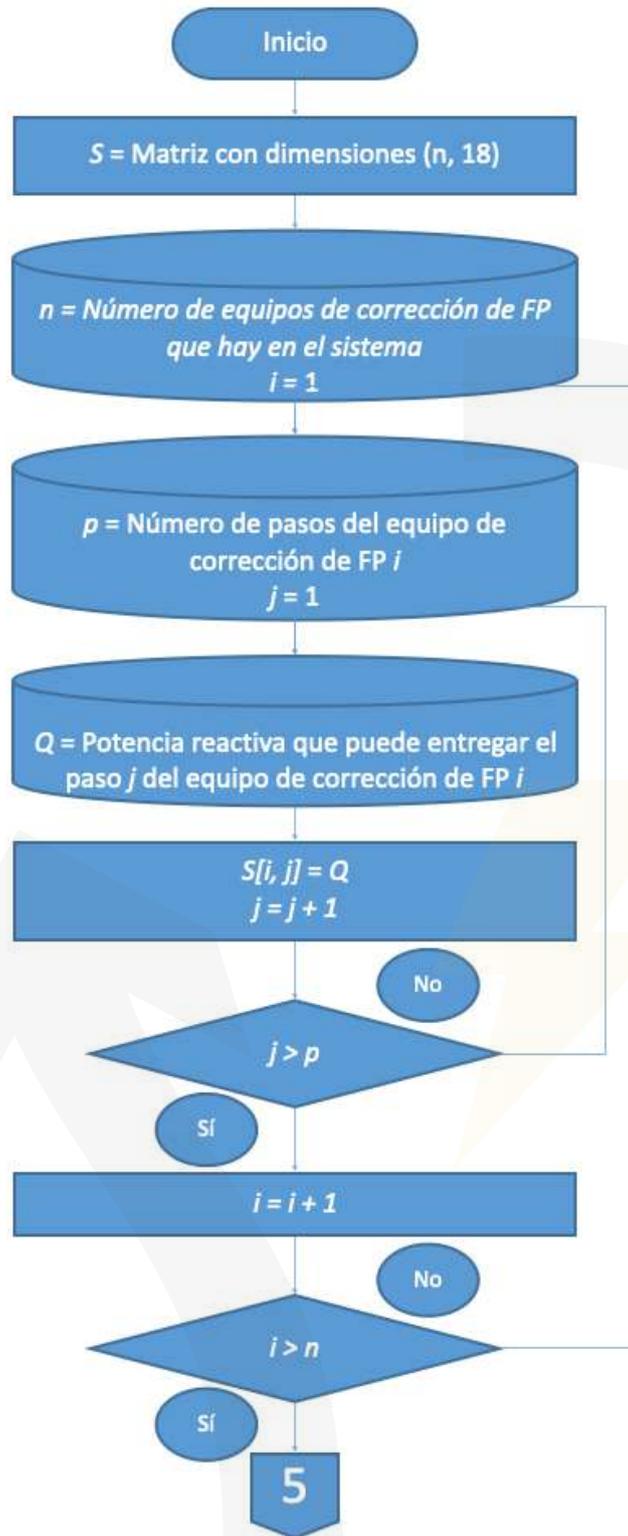


Figura 15. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 1.

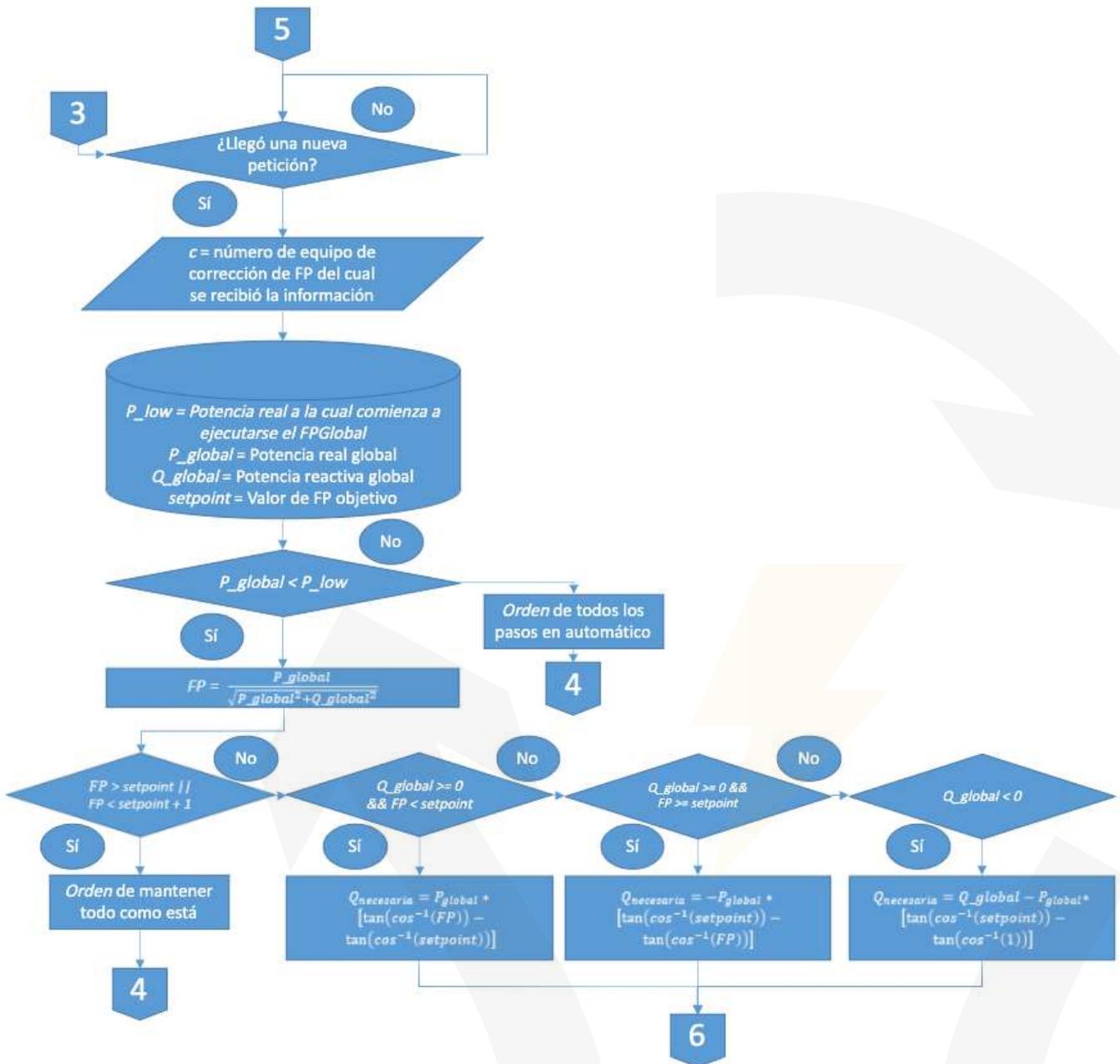


Figura 16. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 2.

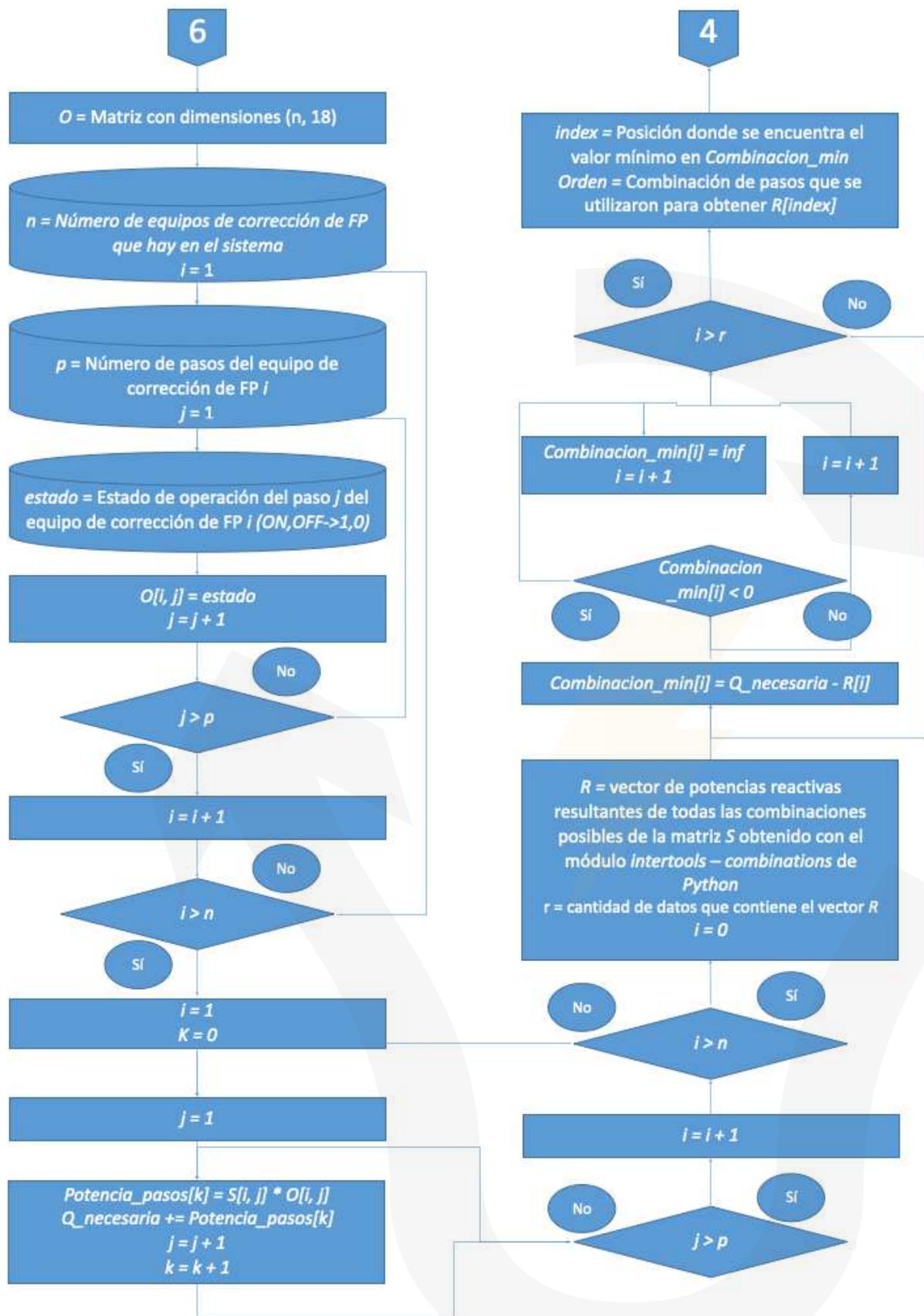


Figura 17. Diagrama de flujo del FPGlobal del lado del Servidor parte 3.

Caso de éxito de la aplicación FPGlobal

El mismo Centro de Carga con el perfil de demanda de la **Figura 5**, con períodos de baja carga, implementó la aplicación FPGlobal en los filtros de armónicas que tiene en cada uno de sus 6 transformadores, el resultado se muestra en la **Figura 18**.

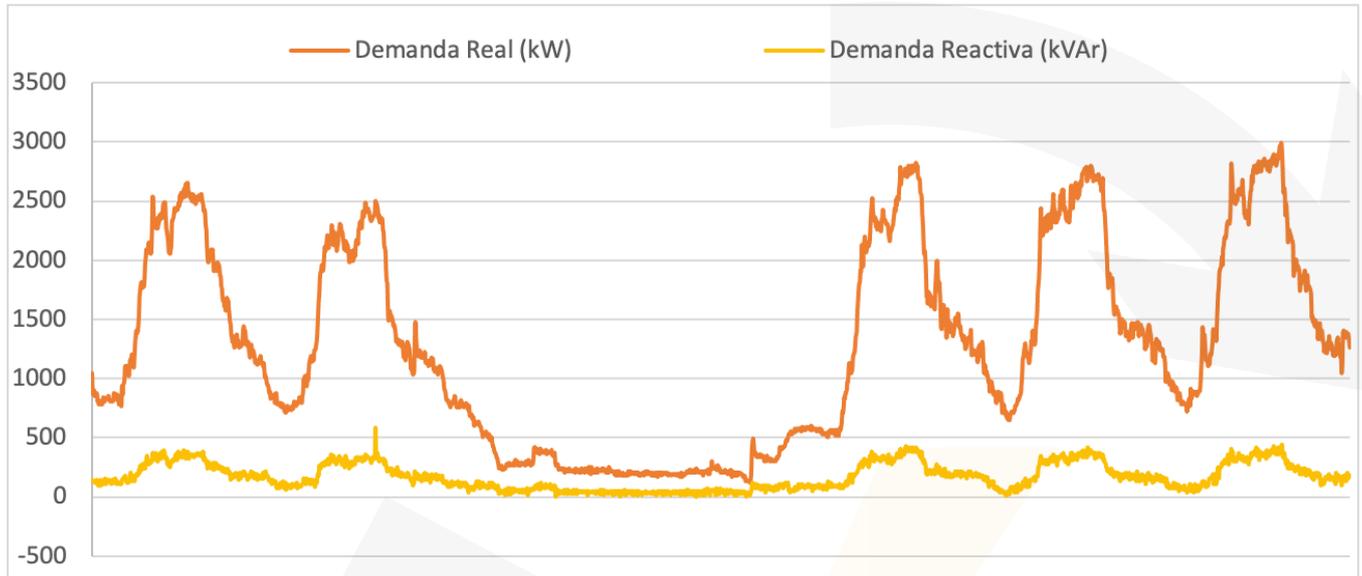


Figura 18. Perfil de demandas del Centro de Carga con períodos de baja carga bajo la aplicación FPGlobal.

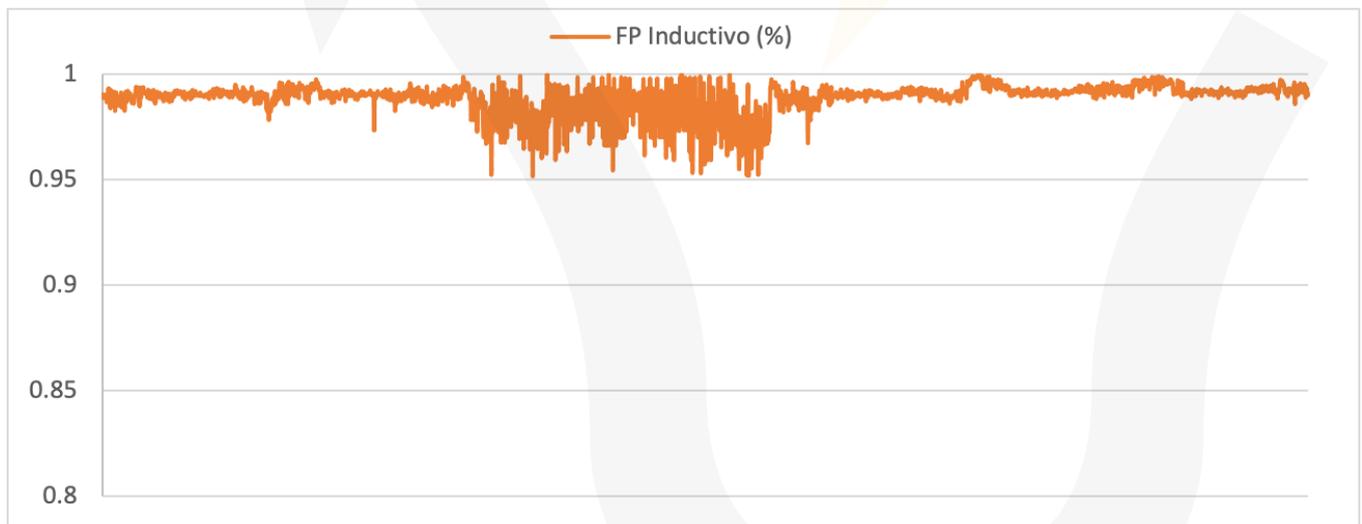


Figura 19. Factor de Potencia promedio cincominutal de empresa con períodos de baja carga bajo la aplicación FPGlobal.

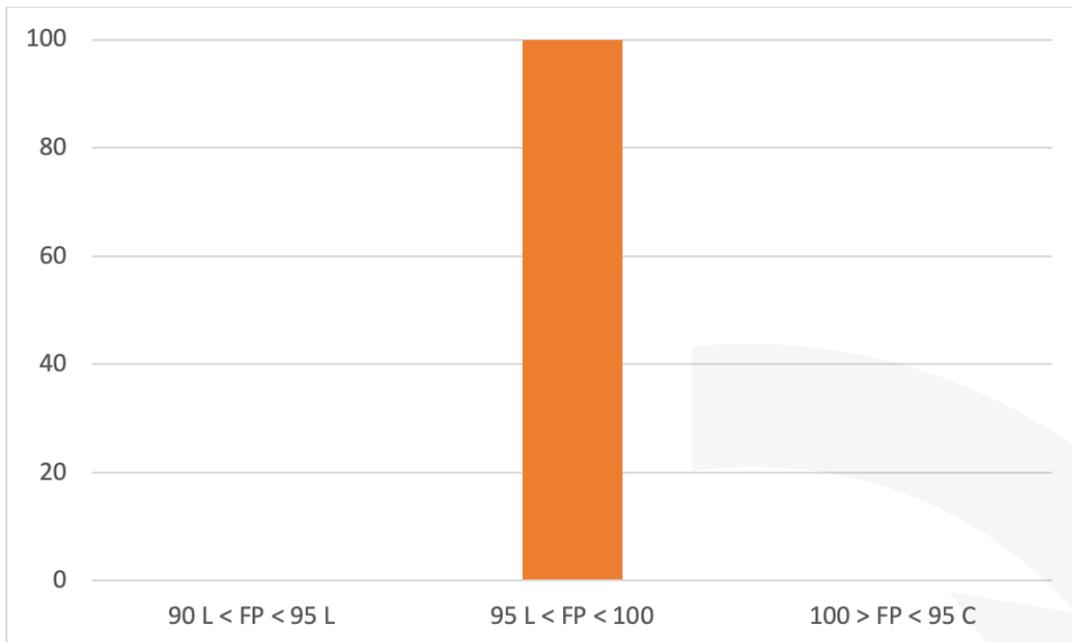


Figura 20. Porcentaje del tiempo del estado del FP bajo la aplicación FPGlobal.

Sistema de Monitoreo

El sistema de monitoreo permite al usuario supervisar remotamente el estado de su sistema eléctrico y de los equipos de corrección de Factor de Potencia (los cuales están conectados a la plataforma para lograr la coordinación con la aplicación FPGlobal) desde un celular o computadora con la interfaz en línea de la Figura 21.



Figura 21. Interfaz del sistema de monitoreo.

Esta herramienta ofrece los siguientes beneficios:

1. Visualización de datos en tiempo real e históricos (se puede mostrar cualquier período de tiempo):

- Energías reales y reactivas.
- Potencias reales y reactivas.
- FP.
- Voltajes.
- Corrientes.
- THD.

2. Facturación mensual automática con posibilidad de crear reportes y ser enviados vía correo electrónico.

3. Cálculo de pronósticos mensuales.

4. Descargas de cualquier parámetro eléctrico y medidor, en el período de tiempo de su elección, para su posterior análisis en Excel o cualquier analizador de texto.

5. Alertas del sistema vía correo electrónico o SMS.

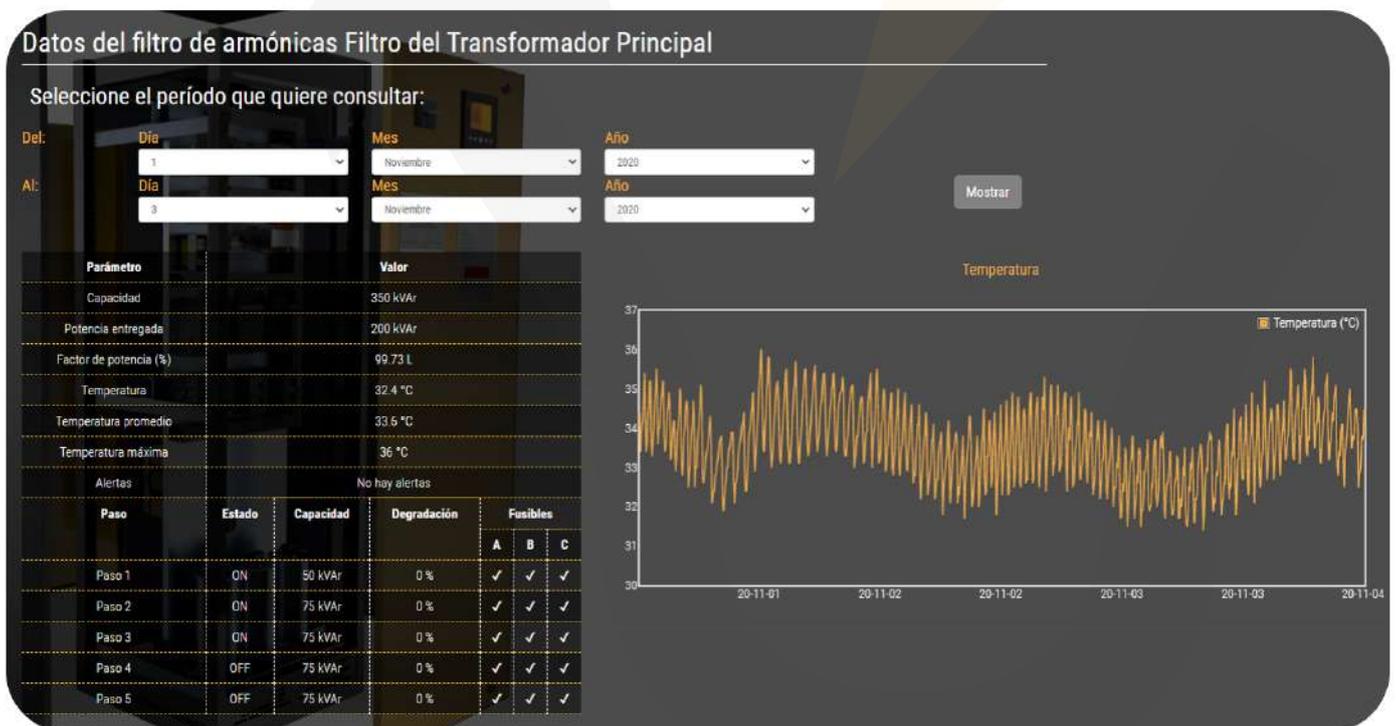


Figura 22. Interfaz de monitoreo de equipos de corrección de FP.

La plataforma cuenta con una interfaz exclusiva para el monitoreo de equipos de corrección de Factor de Potencia, y se muestra en la **Figura 22**, donde distintos datos son monitoreados, como la capacidad total del equipo, potencia actual que entrega, Factor de Potencia del punto de conexión, temperatura actual, promedio y máxima. Además, se muestra el total de pasos con los que cuenta el equipo de compensación y el estado de cada uno de ellos, con su respectiva capacidad de potencia reactiva y su porcentaje de degradación, así como el estado de cada uno de los fusibles de cada fase por paso. También se muestra el perfil de temperatura a lo largo del tiempo en un período seleccionado por el usuario ya que es crucial monitorearla debido al impacto que puede tener en la vida útil de los capacitores.

El sistema de monitoreo adicionalmente permite alertar al usuario de una serie de eventos que puedan dañar a los equipos de corrección de Factor de Potencia, para dar la posibilidad de actuar inmediatamente antes de que los daños sean irreversibles. Estos distintos escenarios pueden ser:

1. **Sobrecorriente:** lo que significa que la corriente medida excede la corriente nominal en una o varias de las fases por más del 20%.
2. **Sobrevoltaje:** el voltaje línea a neutro medido en una de las fases o más, excede el valor del voltaje configurado. La unidad desconecta automáticamente los capacitores.
3. **Bajo voltaje:** el voltaje línea a neutro medido en una de las fases o más, es menor al valor del voltaje configurado. La unidad desconecta automáticamente los capacitores.
4. **Bajo Factor de Potencia:** el FP general de las tres fases está debajo de su valor configurado.
5. **Voltaje THD:** el voltaje de distorsión armónica en una de las fases excedió el valor configurado.
6. **Corriente THD:** la corriente de distorsión armónica en una de las fases excedió el valor configurado.

7. **Temperatura:** la temperatura medida excedió el valor configurado.
8. **Degradación alta:** los capacitores superan el límite del valor de degradación definido por el usuario, lo que supone la necesidad de un mantenimiento correctivo inmediato.
9. **Fusibles dañados:** uno o más fusibles se han dañado y requieren reemplazo inmediato.
10. **Error de comunicación:** puede significar que el equipo de corrección de Factor de Potencia ha sido desenergizado, ya sea por acción humana, o por una falla interna en el equipo, por lo que requiere atención inmediata.

03

CONCLUSIONES

Con la entrada en vigor del Código de Red, muchos Centros de Cargas están implementando proyectos de instalación de equipos para corrección de Factor de Potencia, generalmente en baja tensión, por ser más económicos que soluciones similares en media o alta tensión, sin considerar la posibilidad de entrar en incumplimiento en períodos de baja carga (cuando la demanda por transformador es tan baja que el filtro de armónicas o banco de capacitores no es capaz de compensar correctamente). Esto se puede solucionar fácilmente implementando un Sistema de monitoreo y control, al cual se integran los Controladores de los equipos de corrección de FP, así como la medición Global del Centro de Carga, la cual puede ser un medidor en la Acometida o la suma virtual de varias mediciones en media o baja tensión (incluyendo la medición ya existente de los Controladores de FP), de tal manera que cuando la demanda Global del Centro de Carga baje, el Sistema de monitoreo toma control de los filtros de armónicas y bancos de capacitores para compensar reactivos a nivel acometida, garantizando el cumplimiento de Factor de Potencia en cuanto a Código de Red en todo momento.

El Sistema de monitoreo otorga otras ventajas al ser implementado, como el seguimiento continuo de los equipos de corrección de FP, dejando al alcance de los usuarios el estado de operación de cada uno de ellos, desde la potencia reactiva efectiva que entregan, la temperatura al interior del gabinete, la degradación por paso, hasta el estado de cada uno de los fusibles por cada una de las líneas de cada rama de los equipos.

Frecuentemente se pueden encontrar Centros de Carga en donde se instalan filtros de armónicas y bancos de capacitores en las subestaciones, dejándolos en operación sin ser supervisados posteriormente, ocasionando que los ingenieros de planta se den cuenta de alguna falla que saque de operación al equipo hasta que se reporta un FP bajo en el recibo eléctrico del suministrador, resultando en un posible incumplimiento de FP en cuanto a Código de Red. Esto se puede evitar con la implementación del Sistema de monitoreo ya que en el momento en que se detecta alguna anomalía en los equipos, se envía alertas a las partes interesadas para resolver los problemas que hayan ocurrido de manera inmediata, por lo que se pueden prevenir daños, así como, ahorrar gastos en reparaciones y refacciones.

Una práctica común en algunos Centros de Carga es el levantamiento de mediciones de manera manual debido a la falta de un Sistema de monitoreo, enviando generalmente a un técnico de mantenimiento a un recorrido para realizar un registro escrito de las lecturas de los medidores instalados en planta, tomando en ocasiones hasta varias horas para lograr registrar todo. Posteriormente el levantamiento se vacía de manera digital para que los datos puedan ser procesados por los ingenieros, con fines de administración de energía, como, por ejemplo, realizar la facturación eléctrica de naves industriales y/o líneas de producción o dar un seguimiento del consumo de energía de algunos procesos y/o máquinas. Estos registros por lo general están sujetos a errores humanos, provocando que los ingenieros inviertan más tiempo en la corrección de los mismos para poder realizar los análisis correspondientes. Lo anterior se soluciona con la ayuda del Sistema de monitoreo ya que todo el proceso anterior se realiza de forma automática y en tiempo real, dejando al alcance de los ingenieros toda la información que necesitan ya procesada directamente en la plataforma, dando la posibilidad de que el personal dedique su tiempo a actividades que correspondan al cargo e impulsen a su empresa a enfocarse en su actividad principal.

04 NRGY SOLUTIONS

Los servicios que ofrece NRGY Solutions pueden clasificarse de acuerdo con la **Figura 23**.



Figura 23. Servicios de NRGY Solutions.

NRGY Solutions es una empresa de consultoría en uso eficiente de la energía, administración e ingeniería energética y eléctrica en los sectores industrial y comercial que brinda los siguientes servicios:

Innovación y desarrollo de sistemas energéticos

- **Sistemas de monitoreo de energía:** Proyectos llave en mano de monitoreo de energía eléctrica, gas natural, aire comprimido, agua y demás variables, mediante una plataforma en línea con acceso a mediciones en tiempo real, históricos, gráficas y análisis.
- **Equipos de corrección de Factor de Potencia:** Soluciones llave en mano, en baja tensión, filtros de armónicas y bancos de capacitores en baja tensión, fijos y automáticos, diseños a la medida, cuentan con sistema de monitoreo de parámetros eléctricos para el cumplimiento del requerimiento de Factor de Potencia de acuerdo con Código de Red.
- **Tableros de control eléctrico:** Diseño, fabricación, instalación y puesta en marcha de tableros de control para motores eléctricos, en aplicaciones de bombeo y ventilación.

Administración y uso eficiente de la energía

- **Consultoría en factibilidad de proyectos de generación de energía y co-generación** donde asesoramos a encontrar la mejor alternativa de suministro eléctrico, generación distribuida o cogeneración.

Calidad de la energía eléctrica

- **Consultoría en calidad de la energía eléctrica**, cuyos problemas frecuentemente comprometen la continuidad de la producción en instalaciones industriales y comerciales. Puesta en marcha de soluciones a problemas de calidad de la energía eléctrica.
- **Estudios de cumplimiento de acuerdo con el Código de Red.** Revisión de parámetros de calidad de la energía eléctrica y parámetros de las instalaciones eléctricas en Puntos de Conexión en Centros de Carga y en Puntos de Interconexión en Centrales de Generación.

Ingeniería eléctrica

- Consultoría en cambio a suministro eléctrico calificado de acuerdo con la Ley de Industria Eléctrica. Evaluamos la mejor alternativa de suministro calificado para usuarios industriales.
- Estudios de análisis de ingeniería, cuyos objetivos son mejorar el desempeño de los sistemas eléctricos en la instalación, incrementar la continuidad del suministro eléctrico a las máquinas, mejorar la seguridad laboral del personal de la organización y cumplir con las normas vigentes de calidad de la energía eléctrica y seguridad eléctrica ocupacional.
- Estudios de impacto de conexión de cargas e interconexión de centrales de generación en la red eléctrica basados en mediciones y análisis con simulaciones computacionales de sistemas eléctricos como requisito de los criterios de conexión e interconexión de CENACE.
- Servicios de actualización de diagramas unifilares, estudios de corto circuito, coordinación de protecciones y arco eléctrico en sitios industriales y comerciales.

Educación en energía

- Cursos de capacitación en administración de la energía y medidas de uso eficiente de la energía, además de seguridad eléctrica ocupacional.
- Participación como instructores en el Diplomado para la Formación de Líderes en Energía, impartido por el Clúster Automotriz de Nuevo León, así como en el Seminario Certified Energy Manager por la Association of Energy Engineers.

Certificaciones internacionales en cuestiones energéticas de nuestro personal

- AEE CEM – Certified Energy Manager
- AEE CPQ – Certified Power Quality Professional
- AEE CEA – Certified Energy Auditor
- AEE CMVP – Certified Measurement and Verification professional
- AEE CEP – Certified Energy procurement Specialist
- AEE CLEP – Certified Lighting Efficiency Professional
- UE SYSTEMS – Airborne Ultrasound Level I
- **Certificados en ISO9001:2015**

Referencias

Comisión Reguladora de Energía. (2020). Guía sobre los requerimientos técnicos del Código de Red aplicables a Centros de Carga.

itertools — Functions creating iterators for efficient looping — Python 3.9.5 documentation. (2021). Retrieved June 2021, from <https://docs.python.org/3/library/itertools.html>

Anexo A. Ficha técnica del Concentrador de Datos



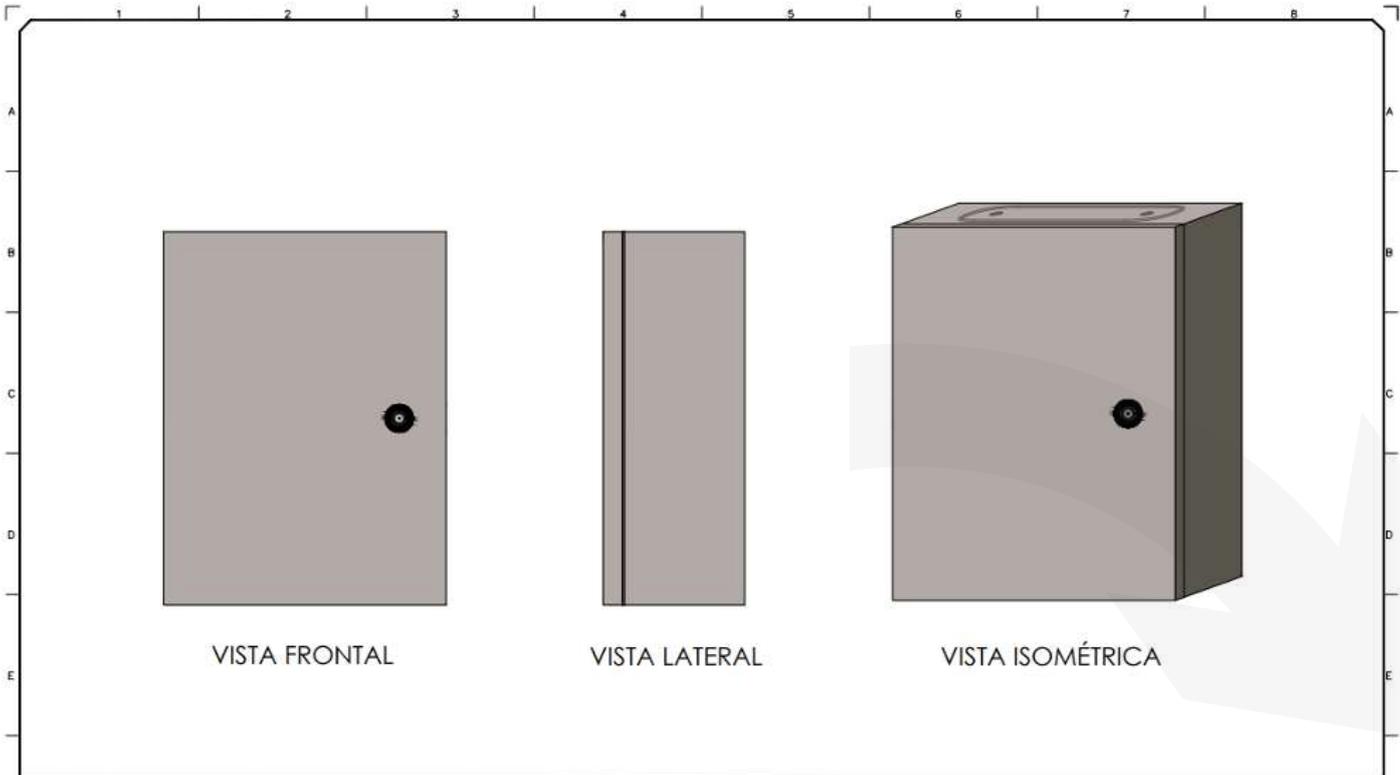
PROYECTO: SISTEMA DE MONITOREO
 NUMERO DE PROYECTO:
 DESCRIPCION: SISTEMA DE MONITOREO
 CLIENTE:
 USUARIO FINAL:

NO. FECHA		CLIENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA		FECHA DE EMISIÓN:		TÍTULO:		
CON COMENTARIOS DEL CLIENTE				APROBÓ: L.E.C.R	PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO	REVISIÓN N°: 000		PORTADA		
				REVISÓ: C.E.O.P	Nº. PROYECTO:	CÓDIGO:				
				DIBUJÓ: J.M.V.S	DEPARTAMENTO:	ESCALA: N/A	ACOTACIONES: CM	HOJA: 1 DE 9		

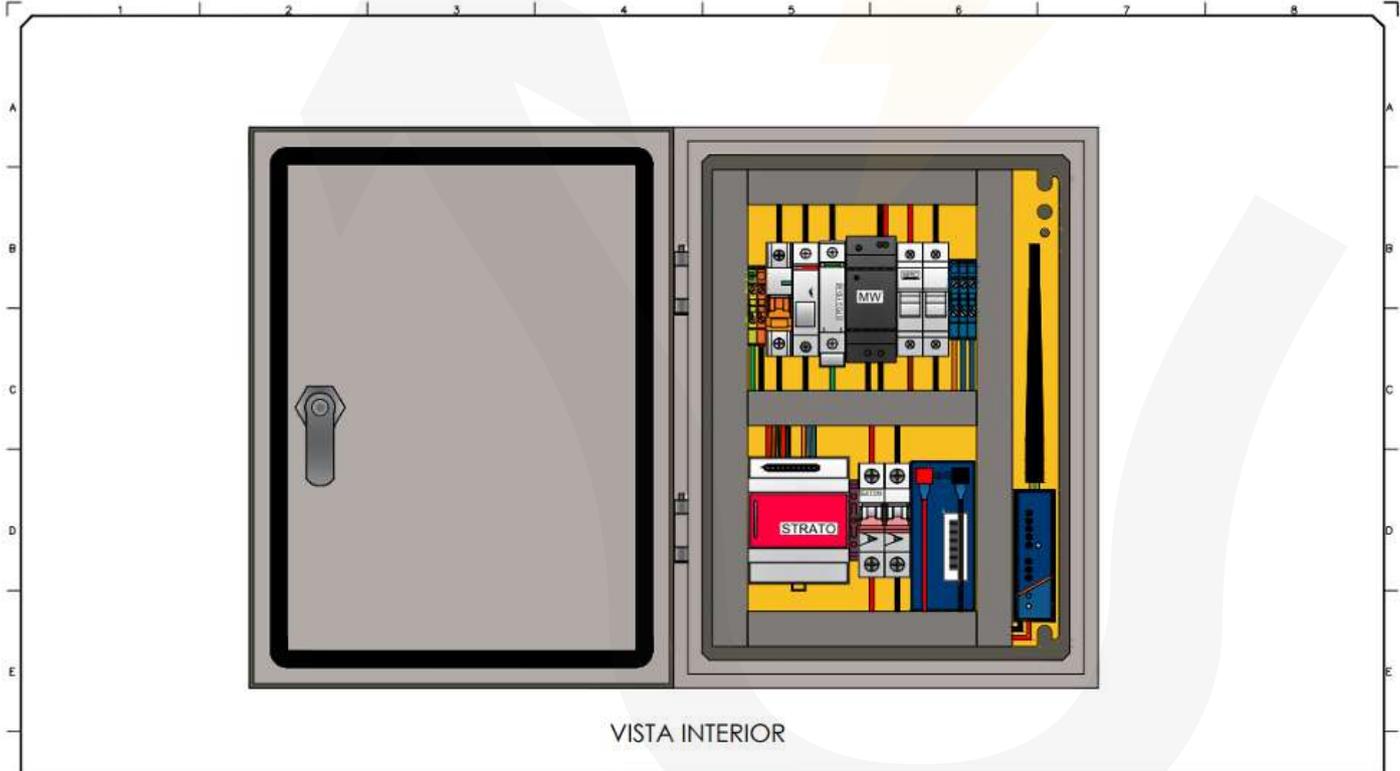
INDICE
H01_PORTADA
H02_INDICE
H03_GABINETE VISTA EXTERIOR
H04_GABINETE VISTA INTERIOR
H05_LISTA DE COMPONENTES
H06_SIMBOLOGIA
H07_VISTAS DEL GABINETE
H08_ENSAMBLAJE DEL GABINETE
H09_DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL NDCs

NO. FECHA		CLIENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA		FECHA DE EMISIÓN:		TÍTULO:		
CON COMENTARIOS DEL CLIENTE				APROBÓ: L.E.C.R	PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO	REVISIÓN N°: 000		ÍNDICE		
				REVISÓ: C.E.O.P	Nº. PROYECTO:	CÓDIGO:				
				DIBUJÓ: J.M.V.S	DEPARTAMENTO:	ESCALA: N/A	ACOTACIONES: CM	HOJA: 2 DE 9		





NO.		FECHA	REVISIÓN	CLIENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA	FECHA DE EMISIÓN:	TÍTULO:
CON COMENTARIOS DEL CLIENTE				APROBÓ: L.E.C.R		PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO	REVISIÓN N°: 00	GABINETE VISTA EXTERIOR
				REVISÓ: C.E.O.P		Nº. PROYECTO:	CÓDIGO:	
				DIBUJÓ: J.M.V.S		DEPARTAMENTO:	ESCALA: N/A	ADOTACIONES: CM
								HORA: 3 DE 9



NO.		FECHA	REVISIÓN	CLIENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA	FECHA DE EMISIÓN:	TÍTULO:
CON COMENTARIOS DEL CLIENTE				APROBÓ: L.E.C.R		PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO	REVISIÓN N°: 00	GABINETE VISTA INTERIOR
				REVISÓ: C.E.O.P		Nº. PROYECTO:	CÓDIGO:	
				DIBUJÓ: J.M.V.S		DEPARTAMENTO:	ESCALA: N/A	ADOTACIONES: CM
								HORA: 4 DE 9

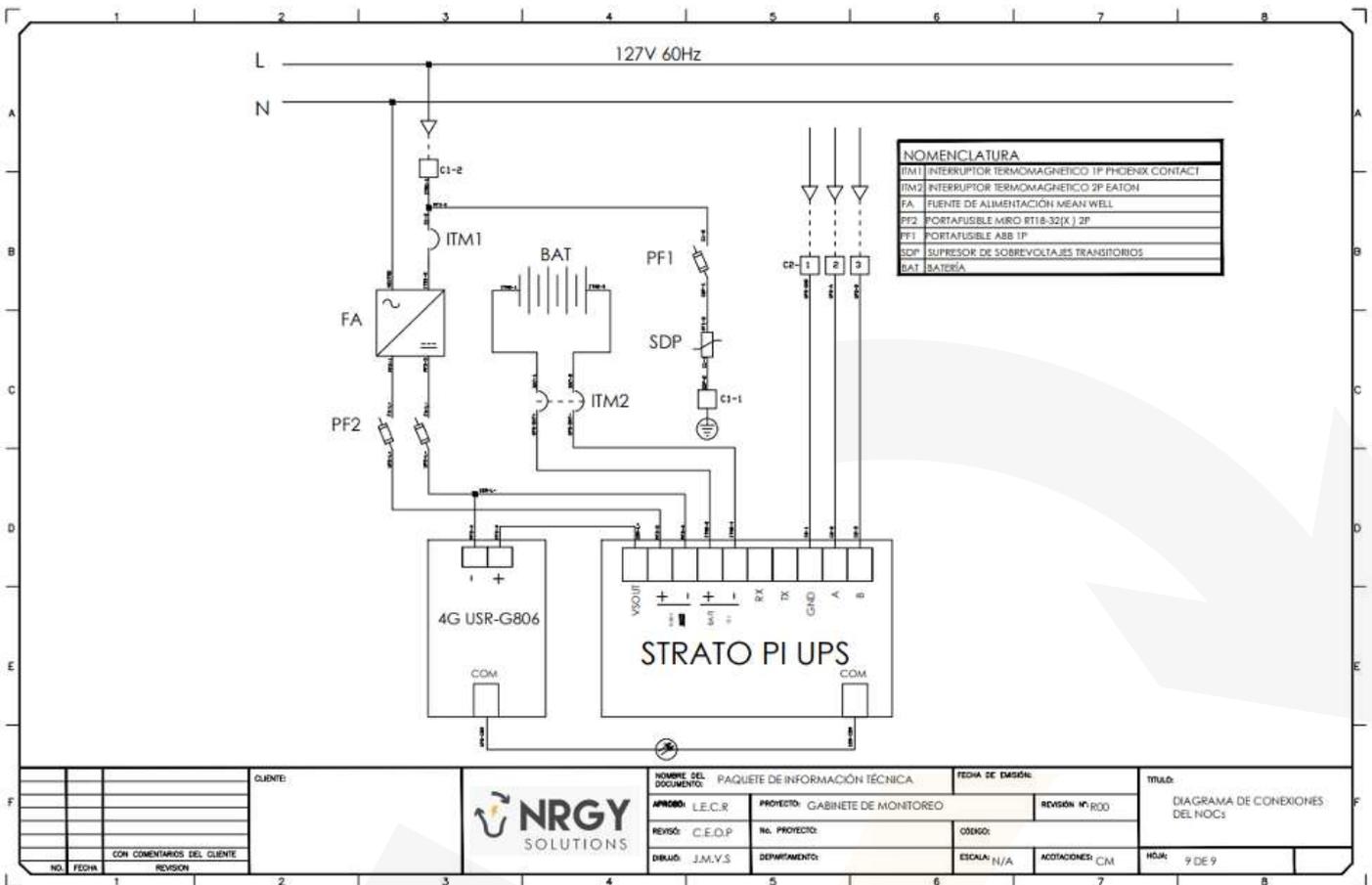
TAGS	MARCA	NOMBRE	CANT	DESCRIPCION
UPS	SFERA LABS	SPBM20X	1	STRATO PI UPS
PF2	MIRD	RT18-32(X)	1	PORTAFUSIBLE 32A 2P
ITM1	PHOENIX CONTACT	TMC 71C 04A	1	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 1P
CX	ABB	SNK ZS4	5	BORNAS DE CONEXION CON MORDAZA
PF1	ABB	E 91/32 PV	1	PORTAFUSIBLE 30A 1P
SDP	LITTELFUSE	SPD2-150-M	1	SUPRESOR DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS
ITM2	EATON	PLS6-C2/2	1	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
USR	USRIOT	4G USR-G806	1	ROUTER 4G INALAMBRICO INDUSTRIAL
BAT	N/A	BATERIA	1	BATERIA
FA	MEAN WELL	HDR-30-24	1	FUENTE DE ALIMENTACION
	ABB	BAZH1	1	TOPE DE RETENCION PARA CLEMAS
	WEIDMULLER	BK6315 30x30	1	CANALETA
	N/A	N/A	1/ FASE	CABLE 18AWG PORTAELECTRODO

NO. FECHA CON COMENTARIOS DEL CLIENTE REVISOR		CUENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA APROBADO: L.E.C.R. REVISÓ: C.E.O.P. DIBUJÓ: J.M.V.S.	PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO No. PROYECTO: DEPARTAMENTO:	FECHA DE EMISIÓN: REVISIÓN N°: R00 CÓDIGO: ESCALA: N/A ACOTACIONES: CM	TÍTULO: LISTA DE COMPONENTES HOJA: 5 DE 9
---	--	---------	---	--	---	--	---

SIMBOLOGIA		
		INTERRUPTOR TMC 71C 04A PHOENIX CONTACT
		PORTAFUSIBLE ABB 1P
		PORTAFUSIBLE RT18-32(X) MIRD
		BORNAS DE CONEXION SNK ZS4
		STRATO PI UPS
		TOPE DE RETENCIÓN PARA CLEMAS
		CANALETA
		FUENTE DE ALIMENTACIÓN MEANWELL HDR-30-24

SIMBOLOGIA		
		SUPRESOR DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS
		INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO PLS6-C2/2
		BATERÍA
		ROUTER 4G INALAMBRICO INDUSTRIAL

NO. FECHA CON COMENTARIOS DEL CLIENTE REVISOR		CUENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA APROBADO: L.E.C.R. REVISÓ: C.E.O.P. DIBUJÓ: J.M.V.S.	PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO No. PROYECTO: DEPARTAMENTO:	FECHA DE EMISIÓN: REVISIÓN N°: R00 CÓDIGO: ESCALA: N/A ACOTACIONES: CM	TÍTULO: SIMBOLOGÍA HOJA: 6 DE 9
---	--	---------	---	--	---	--	---------------------------------------



CLIENTE:		NOMBRE DEL DOCUMENTO: PAQUETE DE INFORMACIÓN TÉCNICA		FECHA DE EMISIÓN:		TÍTULO:	
CON COMENTARIOS DEL CLIENTE		APROBÓ: L.E.C.R		PROYECTO: GABINETE DE MONITOREO		REVISIÓN Nº: R00	
NO. FECHA REVISIÓN		REVISÓ: C.E.O.P		NO. PROYECTO:		CÓDIGO:	
		DIBUJÓ: J.M.V.S		DEPARTAMENTO:		ESCALA: N/A	
						ACOTACIONES: CM	
						HOJA: 9 DE 9	

Contacto

Llámanos al

+52 (81) 2723 9707

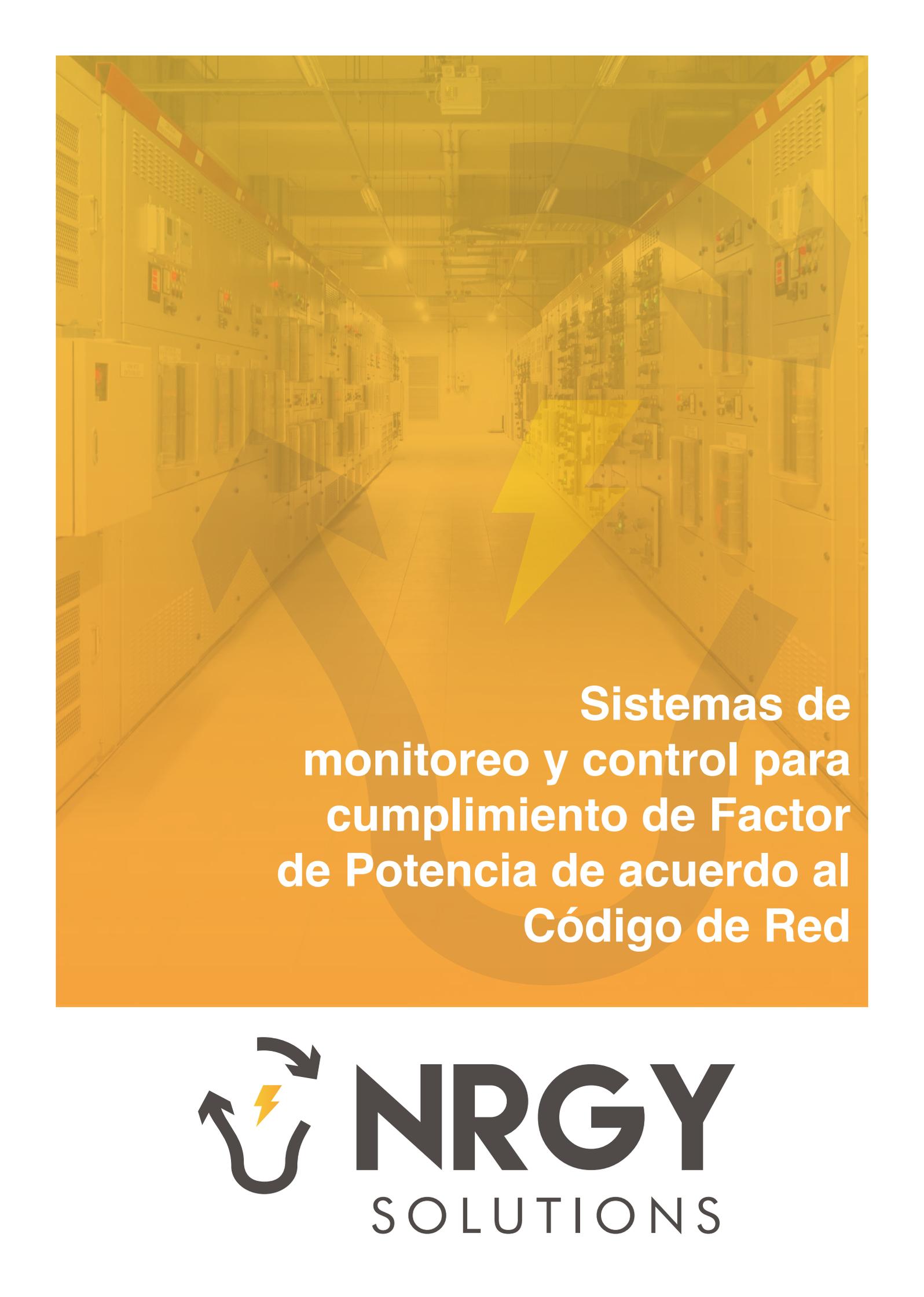
Escríbenos a

info@nrgysolutions.mx

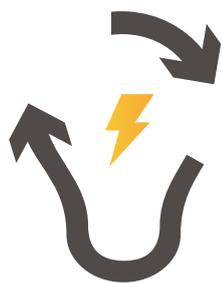
Monterrey, N.L.



Sistemas de monitoreo y control para cumplimiento de Factor de Potencia de acuerdo al Código de Red 40



**Sistemas de
monitoreo y control para
cumplimiento de Factor
de Potencia de acuerdo al
Código de Red**



NRGY
SOLUTIONS