



Mantenimiento de Interruptores de Potencia de MT y AT



Por: Foad Brikci, Ph.D., Zensol Automation Inc.
 Por: Emile Nasrallah, Ingeniero, Especialista en Interruptores

Prefacio

En un artículo anterior revisamos las prácticas de mantenimiento de interruptores en las aplicaciones actuales, incluyendo una lista de algunas de las pruebas importantes en uso, con referencia a las normas internacionales aplicables.

Todas estas pruebas deben ser coordinadas y bien planeadas dado que la recolección de los datos se extiende por largos períodos de tiempo. Para lograr estas metas, necesitamos establecer un programa de mantenimiento.

En este artículo encontrará una descripción resumida de la estructura típica de un programa de mantenimiento (Figura 1) y sus componentes principales. Esperamos que brinde a los gerentes del planeamiento del mantenimiento suficiente entendimiento para darle forma a sus programas de mantenimiento o para empezar uno si aún no lo tiene.

Introducción

Debido a su rol de protección, el interruptor juega un rol importante en los sistemas de transmisión y de distribución. Si el interruptor sufre un desperfecto, el impacto en el sistema puede ser serio. Además del equipo

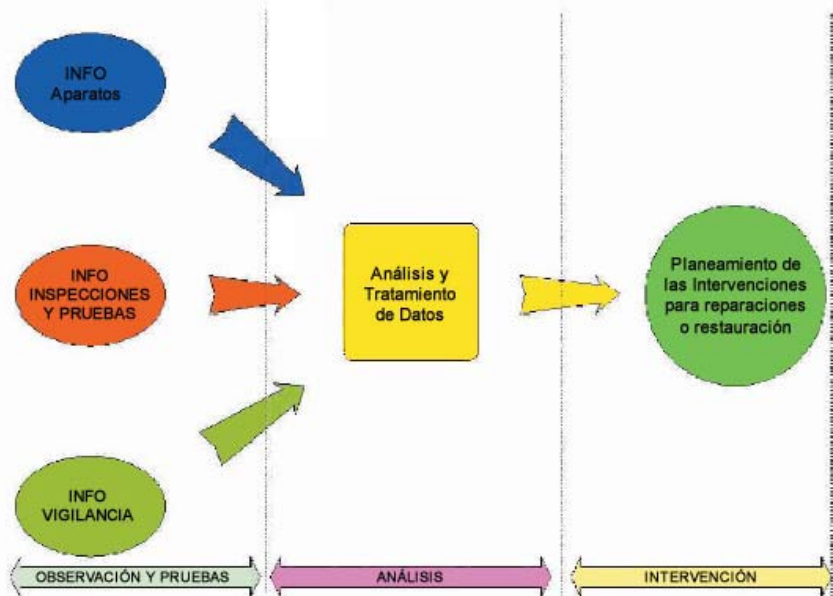


Fig. 1: Estructura típica de un programa de mantenimiento

dañado, el costo de la interrupción de la corriente puede ser tremendo, dado que las interrupciones de corriente están sujetas a severas cláusulas de penalidad en los contratos de suministro de la energía eléctrica. Sin mencionar comprometer la seguridad del personal de la subestación ya que ellos podrían sufrir alguna lesión.

Por lo tanto, la mejor práctica para evitar las interrupciones del servicio es

la aplicación de un adecuado mantenimiento. Dado que el interruptor es una caja negra, la única manera de evaluar su condición con certeza es desmontarlo. Esta puede ser una tarea costosa, especialmente si no es necesaria.

Esto nos lleva a la necesidad de aplicar una serie de acciones de mantenimiento (inspecciones y pruebas) para recolectar suficiente información sobre la verdadera condición del interruptor, la cual a su vez permite tomar una decisión para proceder con las reparaciones a tiempo.

Acciones de Mantenimiento

Entonces, el mantenimiento de los interruptores se basa en la aplicación de una serie de acciones llamadas acciones de mantenimiento. Estas acciones abarcan desde una simple lectura, como un contador de operaciones, hasta una inspección completa, la cual incluye un desarmado de una parte principal, por ejemplo, una cámara de interrupción.

Tabla de Inspección y de Periodicidad

Tipo	Descripción	Periodicidad
Inspección de Rutina (RI)	Termografía Inspección visual (aisladores, fugas, condición general, etc.) Contador de operaciones Indicadores de presión	1 año
Inspección Limitada (LI)	Además de RI, incluye: Pruebas de Fugas Prueba de Resistencia de Contacto Prueba de Tiempos	4 años
Inspección Provisional (PI)	Además de LI, incluye: Verificaciones específicas (Calentamiento, cableado, temporizadores, switches de presión, de seguridad, auxiliares, fusibles, etc.) Prueba del Aislamiento en AC Prueba Funcional Prueba de anti bombeado	8 años
Inspección Completa (CI)	Además de PI, incluye: Inspección abierta de un módulo de interrupción Inspección abierta del mecanismo cualquier otra inspección específica al tipo de interruptor	1000 operaciones

Figura 2. Tabla de Inspección y de Periodicidad

Figura 3: Base de Datos de Interruptores

No	TYPE	MANUFACTURER	S/N	TECHNOLOGY	YEAR	SUBSTATION	POSITION	INSTALLATION	KV	A	KA	APPLICATION	K FACTOR
00001	PK4A	DELLE-ALSTHOM	36070R1	AIRBLAST	1970	MAKATA	300-01	1971	330	2000	31	LINE	1
00002	PK4A	DELLE-ALSTHOM	36070R2	AIRBLAST	1970	MAKATA	300-02	1971	330	2000	31	LINE	1
00003	PK4B	DELLE-ALSTHOM	36070R3	AIRBLAST	1970	MAKATA	300-03	1971	330	2000	31	LINE	1
00004	PK4B	DELLE-ALSTHOM	36070R4	AIRBLAST	1970	MAKATA	300-04	1971	330	2000	31	LINE	1
00005	PK4B	DELLE-ALSTHOM	36070R5	AIRBLAST	1970	MAKATA	300-05	1971	330	2000	31	LINE	1

Las acciones de mantenimiento en los interruptores son varias y diversas, pero todas sirven para mantener una vigilancia sobre la condición del interruptor para corregirlo antes que ocurra una interrupción del servicio.

Algunas de estas acciones deben ser repetidas de forma periódica. La información debe ser registrada y analizada para llegar a un veredicto. La **Figura 2, Tabla de inspecciones y de periodicidad** muestra una lista de las posibles inspecciones clasificadas de acuerdo a cuatro categorías de inspecciones:

- Inspecciones rutinarias
- Inspecciones limitadas
- Inspecciones provisionales
- Inspecciones completas

Cada familia de interruptores debe tener su lista específica de inspecciones y periodicidades. Todas estas acciones necesitan ser planeadas y coordinadas. La configuración de un programa llamado "Programa de Mantenimiento"

hace esto posible.

Programa de Mantenimiento

En esencia, un programa de mantenimiento sirve para:

- Coordinar las acciones de mantenimiento en una escala de tiempo;
- Recolectar datos sobre la verdadera condición del interruptor;
- Organizar los datos recopilados para su análisis;
- Analizar los datos recolectados;
- Planear una intervención, si es necesaria.

Elementos del Programa de Mantenimiento

Para alcanzar los objetivos antes mencionados, el programa tiene que contar con los siguientes elementos:

- Planeamiento;
- Observación y Pruebas (recolección de datos);
- Análisis;
- Planeamiento;

- Intervención.

Observación:

Esta es la parte que recolecta información de todas las fuentes. La información recolectada se organiza en bases de datos. Algunas de estas bases de datos se describen como siguen:

Base de Datos de Interruptores (Figura 3): En primer lugar necesitamos conocer nuestros interruptores. Esto se logra manteniendo una base de dato de los equipos instalados. Esta base de datos deberá contener, además de otra información requerida, la siguiente:

- Tipo;
- Fabricante;
- Número de serie;
- Tecnología (SF6, soplado de aire, aceite, etc.);
- Año de fabricación;
- Ubicación;
- Características eléctricas (voltaje, amperaje, capacidad de ruptura, capacidad de apertura, etc.);
- Aplicación;

Figura 4: Base de Datos de Pruebas

Nombre	Descripción	Tipo de Interruptor	Aplicación	Norma
Prueba de Tiempos de Contactos	Mide el tiempo desde el inicio de la orden hasta que los contactos se cierran o se separan	Todos	Operación total del interruptor	IEC
Prueba del Viaje y de la Velocidad	Traza el recorrido y las curvas de velocidad	Todos	Operación total del interruptor	IEC
Prueba de la Resistencia de Contacto	Mide la resistencia de contacto entre las partes que deben conducir la corriente	Todos	Conductividad Eléctrica	IEC
Prueba del Aislamiento en AC	Mide el aislamiento entre los contactos abiertos y entre la línea y la tierra	Todos	Aislamiento Eléctrico	
Prueba Dieléctrica del Aceite	Mide las características dieléctricas del aceite aislante	Int. en aceite	Aislamiento Eléctrico del medio	IEC
Prueba y Análisis del Aceite disuelto en Gas	Mide el contenido de gas en el aceite aislante	Int. en aceite	Calidad general del medio	IEC
Prueba del Contenido de Agua en el Gas	Mide el contenido de la humedad en el medio aislante	Todos	Calidad general del medio	
Prueba de los Subproductos de SF6	Mide el nivel de los subproductos de SF6 en el gas aislante SF6	Int. SF6	Calidad general del medio	
Prueba del Porcentaje de la Mezcla de SF6	Mide el porcentaje del SF6 en la mezcla del gas aislante	Int. SF6	Calidad general del medio	
Prueba del Aislamiento de los Circuitos Auxiliares	Mide el aislamiento de los circuitos de control de baja tensión	Todos	Aislamiento Eléctrico	IEC
Prueba del Primer Disparo	Mide el tiempo del contacto al primer disparo	Interruptores de MT	Operación del interruptor	
Prueba Dinámica de la Resistencia de Contacto	Mide continuamente la resistencia de contacto desde el primer contacto hecho por un contacto móvil hasta que se detiene el contacto	Todos	Estado del desgaste de los contactos	
Prueba de Vibraciones	Mide la firma de la vibración de un interruptor	Todos	Integridad total	
Prueba de Rayos X	Toma una foto de rayos X del interior de los subconjuntos encerrados	Todos	Integridad del interruptor	
Prueba de Ultrasonido	Revisa las micro grietas en los aislamientos	Aisladores	Integridad del Producto	
Prueba de la Capacitancia	Revisa el valor de la capacitancia usado en el interruptor (graduación, acoplamiento, etc.)	Condensadores	Integridad del Producto	
Prueba del consumo de la presión de aire	Mide el consumo de aire de una operación o de un ciclo de operaciones	Int. Soplado Aire	Operación del interruptor	
Prueba de la Temperatura Infrarroja	Mide la temperatura de las partes con el dispositivo infrarrojo	Todos	Conductividad Eléctrica	
Prueba de la Rigidez	Revisa la rigidez del medio aislante	Todos	Calidad general del medio	

Figura 5: Base de datos de la información recolectada

BKR S/N	TYPE	INSPECTION	TEST	RESULTS	DATE	OPERATOR
23458	OIL	IP	ContactTiming Test	Report433	04-Jul-99	LMH
23458	OIL	IP	Travel & Velocity Test	Report434	04-Jul-99	LMH
23458	OIL	IP	Contact Resistance Test	Report435	04-Jul-99	LMH
23458	OIL	IL	AC Insulation Test	Report321	18-May-01	HJE
23458	OIL	IL	Oil Dielectric Test	Report322	18-May-01	HJE
23458	OIL	IL	Oil gas analysis Test	Report323	18-May-01	HJE
23458	OIL	IL	Moisture Content Test	Report324	18-May-01	HJE
36070R1	Airblast	IP	ContactTiming	Report201	09-Sep-02	AKH
36070R1	Airblast	IP	Contact Resistance	Report202	09-Sep-02	AKH
36070R1	Airblast	IP	AC Insulation	Report203	09-Sep-02	CDU
36070R1	Airblast	IP	Moisture Content	Report204	09-Sep-02	CDU
36070R1	Airblast	IP	Auxiliary Circuits Insulation	Report205	09-Sep-02	CDU
36070R1	Airblast	IP	Capacitance	Report206	09-Sep-02	CDU
36070R1	Airblast	IP	Air pressure consumption	Report207	09-Sep-02	CDU
36070R1	Airblast	IP	Infrared Temperature	Report208	09-Sep-02	AKH
36070R1	Airblast	IP	Tightness	Report209	09-Sep-02	CDU

- Fecha de aplicación;
- Otra información apropiada al interruptor.

Base de Datos de Pruebas (Figura 4): Esta base de datos contiene una lista de inspecciones y de periodicidades (períodos de tiempo prescritos entre las sucesivas acciones de mantenimiento que deben repetirse sistemáticamente) requeridas que deben llevarse a cabo en los interruptores.

Base de Datos de la Información Recolectada (Figura 5): Esta base de datos organiza para cada interruptor los datos recolectados en las diversas inspecciones, y puede incluir:

- Resultados de las hojas de la primera prueba;
- Resultados de las inspecciones con el tiempo;
- Intervenciones de reparación;
- Contador de Operaciones;
- Lecturas de los indicadores de presión;
- Lecturas de temperatura;
- Lecturas de tiempos;
- Lecturas de aislamiento;
- Lecturas de la velocidad del viaje;

- Lecturas de las resistencias de contacto;
- Revisiones de la calidad de aceite;
- Mediciones de humedad;
- Mediciones de los subproductos de SF6;
- Inspección de la condición del contacto (por ejemplo, siguiendo una inspección completa)
- Incidentes;
- etc.

Figura 7: Base de datos de Análisis

BKR S/N	Analysis Report No	Advisory	PRIORITY	DEADLINE DATE	ANALYSIS DATE	ANALYST
23458	Report1	Advisory 1	1	01-Nov-08	07-Jul-08	GHI
23459	Report2	Advisory 2	1	01-Nov-08	07-Jul-08	GHI
23460	Report3	Advisory 3	1	01-Nov-08	07-Jul-08	GHI
23461	Report4	N/A	2	15-Oct-08	07-Jul-08	GHI
23462	Report5	N/A	2	15-Oct-08	07-Jul-08	GHI
23463	Report6	Advisory 3	3	31-Dec-08	07-Jul-08	GHI
23464	Report7	Advisory 110	3	31-Dec-08	07-Jul-08	GHI
23465	Report8	Advisory 2	3	31-Dec-08	07-Jul-08	GHI
23466	Report9	Advisory 34	4	01-Jun-09	07-Jul-08	GHI
23467	Report10	Advisory 1	4	01-Jun-09	07-Jul-08	GHI
23468	Report11	Advisory 22	4	01-Jun-09	07-Jul-08	GHI
36070R1	Report12	Advisory 31	3	31-Dec-08	25-Aug-08	RTY
36070R1	Report13	N/A	3	31-Dec-08	25-Aug-08	RTY
36070R1	Report14	N/A	3	31-Dec-08	25-Aug-08	RTY
36070R1	Report15	N/A	3	01-Jan-09	25-Aug-08	RTY
36070R1	Report16	Advisory 11	7	31-Dec-08	25-Aug-08	RTY

Esta información sirve primeramente para conducir un análisis para determinar el tipo y la urgencia de las

intervenciones de mantenimiento. También sirve como datos históricos para futuros estudios estadísticos y de durabilidad.

Planeamiento de la Inspección y de las Pruebas:

Esta es la parte que organiza y coordina las secuencias de inspección de modo que el personal de mantenimiento pueda preparar con anticipación las acciones requeridas de mantenimiento (departamento de compras, almacenamiento, grupos de mantenimiento, operadores, etc.) para aumentar la eficiencia en la recolección de la información. La siguiente figura (Figura 6) nos da una idea sobre un posible planeamiento de inspección.

Análisis

Grupos de ingenieros y técnicos altamente entrenados procesan toda la información recolectada en las secciones anteriores y almacenadas en bases de datos bien organizadas. Estos grupos tienen la responsabilidad de llegar a un veredicto basado en la información disponible y determina las

acciones y prioridades requeridas. Esta información se coloca en una base de datos específica, **Base de Datos de Análisis (Figura 7)**, que se usó para preparar las intervenciones.

Esta base de datos debe contener:

- Número de serie del interruptor, para identificar el equipo que está siendo analizado;
- Número el reporte de análisis, que detalla los hallazgos y las recomendaciones;
- Número de la consulta, si hay alguno;
- Nivel de prioridad de cada recomendación;
- Fecha límite para cada intervención;
- Fecha de análisis;
- Nombre de los analistas;
- Otra información requerida, etc.

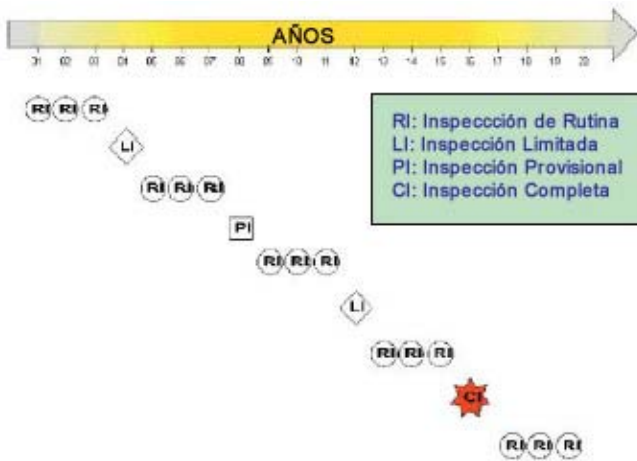


Fig. 6: Planeamiento

Figura 8: Base de datos de Interruptores

BKR S/N	Action plan	Teams	Schedule	Start date	End date	Completion date	Manager
23458	To do list1	1	Plan1	07-Jul-06	01-Aug-06		ALH
23459	To do list2	1	Plan2	07-Jul-06	01-Aug-06		ALH
23460	To do list3	1	Plan3	07-Jul-06	01-Aug-06		ALH
23461	To do list4	2	Plan4	07-Jul-06	01-Aug-06		ALH
23462	To do list5	2	Plan5	07-Jul-06	01-Aug-06		ALH
23463	To do list6	3	Plan6	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
23464	To do list7	3	Plan7	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
23465	To do list8	3	Plan8	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
23466	To do list9	4	Plan9	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
23467	To do list10	4	Plan10	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
23468	To do list11	4	Plan11	07-Jul-06	06-Aug-06		ALH
36070R1	To do list12	3	Plan12	25-Aug-06	30-Nov-08		GWE
36070R1	To do list13	3	Plan13	25-Aug-06	30-Nov-08		GWE
36070R1	To do list14	3	Plan14	25-Aug-06	30-Nov-08		GWE
36070R1	To do list15	3	Plan15	25-Aug-06	30-Nov-08		GWE
36070R1	To do list16	7	Plan16	25-Aug-06	30-Nov-08		GWE

Consulta:

Las consultas (advisories) son reportes que informan al gerente de mantenimiento sobre lo que debe hacer y sobre qué equipo. Contiene, por lo menos:

- Una lista de los interruptores involucrados;
- Una lista de las acciones a realizar;
- Una descripción de las razones (referencia al reporte de Análisis);
- Una lista de las partes;
- Una lista de las herramientas especiales;
- Planos e instrucciones;
- etc.

Intervención:

Una vez que se inicia la consulta, se pueden planear las intervenciones.

Por ejemplo, el resultado de una inspección completa de un módulo de interruptor puede revelar una condición crítica que pueda requerir un programa de intervención en todos los interruptores similares.

Esto requiere la coordinación entre el administrador del sistema y los grupos de mantenimiento. Se debe determinar una lista de acciones por realizar, las partes y las herramientas especiales, sin mencionar el entrenamiento, el aseguramiento de la calidad, el control de costos presupuestarios, etc.

Una vez que se completa la intervención, es crucial mantener un registro. Cada acción o intervención de corrección sobre el interruptor debe ser registrada para compararlo con análisis futuros. Por ejemplo, la falla repetitiva de una parte puede levantar alertar sobre un problema más crítico o sobre una falla en el diseño. El historial del interruptor debe estar disponible para estudios de confiabilidad; esto puede

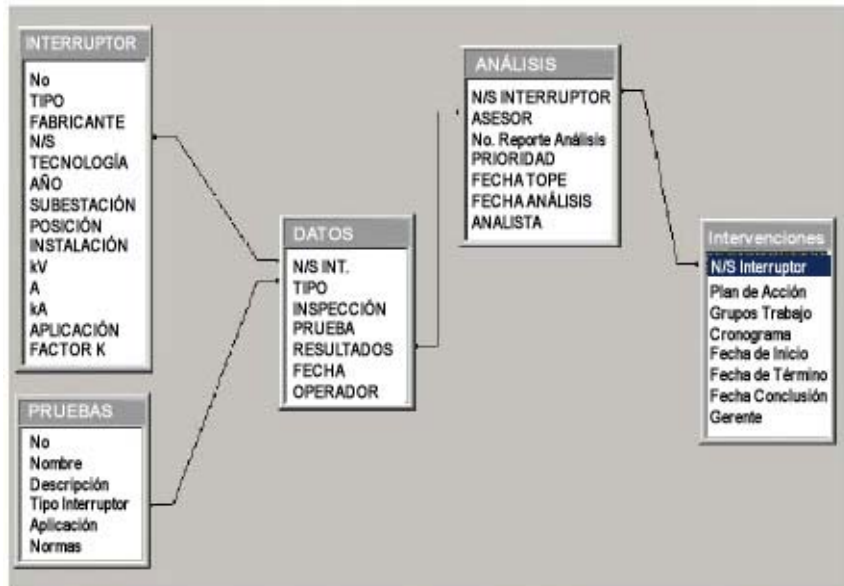
influenciar el futuro de una familia de interruptores (reemplazo o restauración sistemática).

La base de datos de intervenciones (Figura 8) mantiene el registro de tal información, el cual contiene:

- El número de serie del interruptor;
- El plan de acción y el cronograma;
- El grupo técnico asignado;
- Fecha de inicio;
- Fecha límite de finalización;
- Fecha de culminación;
- Nombre del gerente;
- etc.

Conclusión

Como se mencionó desde el inicio, este artículo nos da la base para configurar un programa de mantenimiento. Una discusión detallada no es relevante en este momento, dado que tratamos con bastante información. La siguiente figura (Figura 9) se recapitula brevemente como sigue:



La información de la base de datos del interruptor y de la base de datos de Pruebas lleva a recolectar la información en la base de datos de Información. Estos datos sirven para realizar un análisis detallado, lo cual nos lleva a intervenciones de mantenimiento. Las intervenciones deberían realizarse antes que ocurra una paralización.

Finalmente, pero no menos importante, como es obvio que cualquier base de datos relacional puede realizar este trabajo, podemos encontrar varios programas en el mercado que han sido diseñados específicamente para este propósito. Es la labor de un personal especializado determinar la necesidad versus la capacidad del programa para alcanzar la elección perfecta.

Bibliografía

El presente artículo se basa en nuestra experiencia personal con el modelo del programa de mantenimiento de Hydro-Québec.

Acerca de los Autores

El Dr. Fouad Brikci es el presidente de Zensol Automation Inc. Él fue el primero en introducir el concepto de equipos de prueba verdaderamente computarizados en el campo de los analizadores de interruptores. Como un profesor de una universidad en Ecole Polytechnique, Algeria y como investigador del CNRS LAAS en Francia, el Dr. Brikci ha desarrollado su experiencia en los campos de la electrónica, la automatización y la ciencia de la computación. La mayoría de sus actividades se dirigieron a las aplicaciones industriales de las

computadoras.

Entre sus logros se encuentra el desarrollo de sistemas de medición completamente computarizados para el control de calidad en la fabricación de interruptores, los laboratorios y los servicios de mantenimiento de las empresas eléctricas. El Dr. Brikci cuenta con el grado de PhD en Electrónica y un Master en Ciencias en EEA (electrónica, electrotécnica y automatización) de la Universidad de Bordeaux, Francia.

<http://www.zensol.com>,
email : zensol@zensol.com

Emile Nasrallah es un ingeniero eléctrico especializado en el mantenimiento de interruptores de potencia. Luego de su graduación en 1984, trabajó como un ingeniero en el campo. En 1990 se unió al fabricante mundial de interruptores GEC ALSTOM como ingeniero especialista en campo.

En 1997 se convirtió en el gerente en la división de interruptores de SF6 de MT y AT de ALSTOM, siendo responsable del soporte técnico, mantenimiento y entrenamiento para los interruptores de SF6. En 2001 se volvió en gerente de la división de interruptores de soplado de aire para AREVA. Estuvo a cargo del programa de restauración de interruptores de soplado de aire (PK y PKV) en conjunto con Hydro-Quebec e implantó un sistema único de administración para el programa (un promedio de 35, 735 kV PK interruptores de soplado de aire por año). En 2005 se unió a General Electric Company de Canadá como un especialista Senior de interruptores y está a cargo de la división de interruptores del centro de servicio de Montreal, responsable del programa de reemplazo y de refabricación para interruptores en aceite.

**ZENSOL,
WE MAKE MACHINES,
WE SHIP YOU SERVICE**

GEN RECLOSER ANALYZER

RECLOSERS

BREAKERS

CBA CIRCUIT BREAKER ANALYZER

SIM CIRCUIT BREAKER SIMULATOR

CBV VIBRATION ANALYZER

ZENSOL.COM

THE CIRCUIT BREAKER AND RECLOSER TESTING SPECIALIST

SGS