

Tecnologías de tableros de media tensión para instalaciones industriales

Leoncio E. M. Ocampo
Student Member, IEEE
Instituto Tecnológico de Acapulco
Carretera Cayaco - Puerto Marqués
39905 Acapulco; Guerrero, México.
leo.ocampo2901@gmail.com

Luis Ivan Ruiz Flores
IEEE Senior Member
IEEE Morelos Section Chair
Cuernavaca, Morelos
62080, México.
liruiz@ieee.org

Resumen — En este artículo se presentan la comparación de tecnologías en Tableros de Media Tensión que existen en el mercado eléctrico. La Industria de manufactura que cuenta con instalaciones de más de 3 décadas, requiere modernizar sus sistemas eléctricos y la distribución de energía con tableros de media tensión eficientes. Hoy en día, existen tecnologías con aislamiento de gas, que permiten una ágil protección y selectividad en la coordinación de protecciones. El uso de aislamiento en gas es muy utilizado para instalaciones industriales que requieren optimizar la seguridad eléctrica y la seguridad humana. Con base en lo anterior, se presenta la comparación de dos medios de aislamiento, tomando en cuenta la durabilidad de materiales, costo, tamaño y mantenimiento a largo plazo. La finalidad, es contribuir al diseño de instalaciones seguras tomando en cuenta que la fabricación de estos equipos ya es una realidad en el mercado eléctrico. También, intenta coadyuvar en el conocimiento técnico de ingenieros que toman decisiones en proyectos de tal índole.

Palabras clave — AIS, aislamiento, interruptor, MT, industria, seguridad, sistema eléctrico, SF6, resistente al arco, tablero.

I. NOMENCLATURA

AIS	Tablero aislado en aire
CB	Interruptor de media tensión
CAIB	Interruptor Compacto Aislado en Aire
CPT	Transformadores de Control de Energía
GIS	Tablero aislado en gas
HV	Alta Tensión
LVB	Interruptor de baja tensión
MVS	Tablero de Media Tensión
SEP	Sistemas Eléctricos de Potencia
TC	Transformador de Corriente
TP	Transformador de potencial

II. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de energía comprenden diversas actividades, entre las que se encuentran la generación, transmisión, distribución, renovables, industrial, transporte, comercial y centros de datos, con el fin de proveer de servicio eléctrico a los consumidores finales. En este artículo nos enfocaremos en el tipo de sistema eléctrico del **Sector Industrial**, principalmente en lo que se refiere a Procesos de Manufactura, tales como, farmacéuticas, cementeras, mineras, petroquímicas, etc.

Los sistemas de energía Industriales se encuentran en un proceso constante de modernización. Lo anterior, derivado a que en la mayoría de las instalaciones existentes se cuentan con equipo eléctrico primario, con más de 3 décadas de operación. Esta situación refleja que hoy en día con la fabricación de nuevas tecnologías se merma en la eficiencia de operar equipos de última tecnología con equipos ya instalados. La migración de tecnologías de equipos primarios se limita también en la disponibilidad de espacio o poder contar con las libranzas necesarias para optar el cambio gradual de equipos existentes a equipos nuevos.

En los sistemas eléctricos industriales, es muy común encontrar tecnologías con relevadores electromecánicos y relevadores de estado sólido operando en la misma red eléctrica. Entonces, cuando se lleva la señalización de parámetros eléctricos a un sistema central, se requiere de contar con una ágil *monitorización e integración automatizada* en cada equipo eléctrico primario. La demanda energética en la industria requiere optimizar también, la eficiencia en la operación, automatización y contribuir en la sostenibilidad energética, reduciendo los paros de planta y optimización el consumo de energía.

Derivado de lo anterior, en los sistemas industriales se requiere una producción ininterrumpida del proceso de manufactura, toda vez que los equipos cada vez requieren un mantenimiento disciplinado y eficiente. En este artículo, se compartirá el uso de 2 tecnologías de aislamiento eléctrico específicamente en los tableros industriales que forman parte vital de los alimentadores a las subestaciones eléctricas.

III. USO DE TABLEROS DE MEDIA TENSIÓN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES.

Hoy en día, los tableros de media tensión (MVS), ya cuenta con sistemas de monitoreo, relevadores de protección con protocolos de comunicación abiertos, así como el control automatizado que facilita la supervisión desde el personal operativo de manera independiente. Los MVS, forman parte esencial de los sistemas eléctricos industriales y se realizará una comparación de dos clases de aislamiento, las cuales

son: a) AIS o ARA y b) SF6. En particular, se describirán las ventajas y desventajas de estos tipos de aislamiento: a) aislado en aire y resistente al arco y b) aislado en hexafluoruro de azufre respectivamente.

Los tableros de media tensión son ampliamente utilizados en diferentes tipos de industrias. Por lo anterior, se describirán cada uno de los tipos de aislamiento de estos tableros y las características en beneficio del sistema eléctrico.

IV. TABLERO AISLADO EN AIRE- RESISTENTE AL ARCO (AIS O ARA)

Existen dos tipos principales, según los estándares internacionales, estos son los *Metal-Clad*, especificados en los estándares Std. IEEE C37.20.2 y Std. IEEE C37.20.7; y los *Metal-Enclosed*, descritos en el IEEE C37.20.3.

Este artículo, se centra en los tableros *Metal-Clad*, distinguiendo aquellos resistentes al arco, puesto que estos presentan mayores ventajas en seguridad y confiabilidad, toda vez que los componentes del circuito primario están compartimentados mediante el uso de barreras metálicas conectadas a tierra incorporadas en la configuración estructural del gabinete.

Los disyuntores de extracción accesibles desde el frente, los TC's del lado de la línea y / o la carga, extraen los TP's y extraen los Transformadores de Control de Energía (*CPT: Control Power Transformers*). Por otro lado, en este tipo de Tableros existen algunas de las siguientes características [1]:

- Vistas digitales frontales de medición
- Estructura de soporte de la barra colectora configurada para una óptima disipación de calor y resistencia en condiciones de falla
- Pernos de bola de tierra donde corresponda para prácticas de mantenimiento seguras
- Los enclavamientos de puertas garantizan que los componentes extraíbles solo se puedan colocar en rack con la puerta cerrada y con pestillo
- Cámara de aire y conducto de escape diseñados para instalarse en instalaciones con un espacio libre mínimo en el techo
- Puertos de visualización de infrarrojos traseros (opcional).

A. Antecedentes de tableros resistentes al arco

En las instalaciones industriales existen altas probabilidades que se haga presente un arco eléctrico. Entonces, los equipos eléctricos primarios que tienden a soportar este efecto son los tableros de distribución mediante un sobrecalentamiento y con tendencia a que la temperatura interna del tablero se eleve a unos 20,000°C en el centro de dicho arco, debido al sobrecalentamiento producido por gas caliente y partículas incandescentes, emitiendo una radiación térmica considerable.

La presión de aproximadamente 21 lb/pulg^2 , con la expulsión de gases y componentes, incluyendo a una riesgosa emisión de esquirlas a alta velocidad.

Por lo anterior, en los estándares internacionales, tales como, la norma ANSI IEEE C37.20.7 propone 5 criterios que un tablero resistente al arco que debería cumplir para ser capaz de proveer seguridad, protección y resistencia del arco interno, en la **Figura 1** se muestra un ejemplo de algunas características de un tablero *Metal-Clad* resistente al arco [2].

1. Las Puertas y las tapas del tablero deben estar bloqueadas
2. Las partes que pueden presentar un riesgo para el personal no son proyectadas (aislantes, chapas, entre otros)
3. El arco eléctrico no debe crear aberturas accesibles
4. Los indicadores de prueba no se inflaman
5. Las puestas a tierra deben seguir siendo eficaces

B. Consideraciones del tablero resistente al arco en su fabricación

La protección de la vida humana y de las instalaciones eléctricas ha dado un giro importante en la operación de las plantas industriales, toda vez que los equipos deberán estar fabricados con los materiales adecuados acordes a los estándares internacionales tales como IEEE/ANSI C37.20.7 y el IEC 62271-200 que se enfocan en la resistencia del arco eléctrico en partes frontales y partes laterales.

Es importante, mencionar que los fabricantes diseñan sus tableros resistentes al arco al menos con [3]:

- La estructura, los componentes y la cubierta del tablero deben ser metálicas con cierto grado de resistencia, con el objetivo de soportar cualquier falla de arco interno y cumplir con la protección requerida
- Las barras principales, las uniones y las barras derivadas cuentan con material aislante que cuente también con la capacidad de evitar la propagación de incendios
- Se debe tomar en cuenta la temperatura ambiente donde se encuentre la instalación, puesto que están diseñados para temperaturas de -5°C a 40° C
- Compartimento metálico de barras
- Compartimento metálico para el interruptor
- Compartimento metálico para baja tensión
- Compartimento metálico de cables

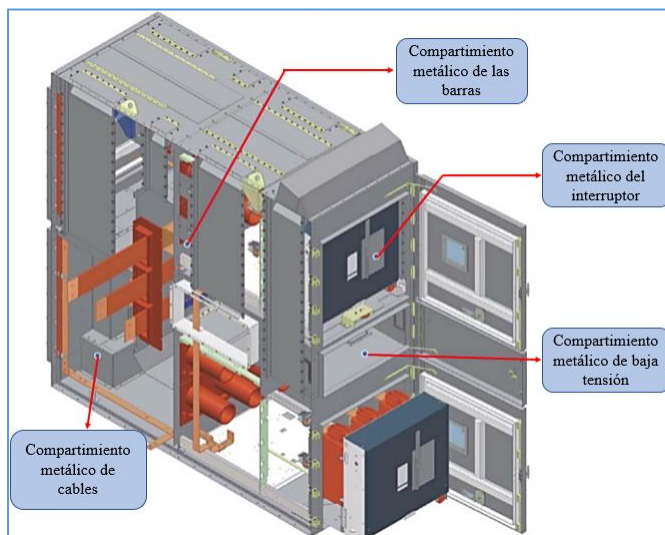


Figura 1. Tablero *Metal-Clad Arc-Resistant* de media tensión según [2].

C. Características de un AIS Metal-Clad Resistente al arco.

A continuación, se presentan algunas características de un ejemplo de tecnología *AIS Metal-Clad resistentes al arco* de clase 15 kV máximo [4] y [5], tal como se muestra en la **Figura 2**.

Características en la construcción:

- Alta velocidad de operación (3 ciclos)
- Ventilación, protector de arco, arco plano y conducto como opciones de extinción del arco
- Diseñado con compartimentos
- Bus principal de cobre aislado con interruptores extraíbles
- Soportes de poliéster de vidrio estándar
- Compartimentos de instrumentos/control de baja tensión aislados del primario
- Con cámara de aire, con 93" de fondo, 36" de largo y 116" de altura
- Dispositivos de protección y control: *Powerlogic, ION Multimeter*

- Cumple con los estándar ANSI C37.06, C37.09, C37.013, C37.54 y C37.55 (diseñado y comprobado para el cumplimiento exacto o excedente de las normas ANSI e IEEE)

Características de clasificación:

- Tensión nominal de 2,4 hasta 15 kV
- Bus e interruptor con valores de 1200-4000 A
- Tipo de construcción 2B, resistente al arco (ANSI/IEEE C37.20.7), estructura de una o dos alturas
- Corriente interruptiva de 25-40 o de 50-63 kA
- Contención de arco de hasta 63 kA durante 0.5 segundos

Las características del tablero variarán con las necesidades de la instalación en el que sea requerido. Aun así, se debe considerar que un tablero *Metal-Clad* resistente al arco requiere de un mayor espacio para su instalación, debido al conducto por el cual se expulsa de manera segura las partículas y gases producidos en una falla de arco eléctrico.



Figura 2. Tablero de distribución *Metal-Clad* resistente al arco de dos alturas 5/10/15 kV Según [1]

V. TABLERO AISLADO EN GAS SF6

Un Tablero Aislado en Gas (GIS) contiene hexafluoruro de azufre (SF6) comprimido como material aislante, el cual a su vez se encuentra en compartimentos y secciones metálicas blindadas, donde también se encuentran los componentes eléctricos, ubicados en una cubierta metálica sellada y conectada a tierra. La cubierta metálica debe ser capaz de garantizar la seguridad adecuada para el propio equipo y el personal, manteniendo también un buen grado aislamiento entre el interior y el exterior del tablero, buscando reducir en gran medida las filtraciones hacia el exterior, así como también se busca que la interacción del personal con las partes vivas de dicho tablero sea mínima. Todas las secciones de un GIS están diseñadas para poder soportar fallas de arco interno trifásico a tensiones nominales y en corrientes de corto circuito [3].

Los GIS tienen que ser diseñados de manera modular, con el fin de posibilitar una ampliación para futuras instalaciones, esto se consigue con un diseño que permite sumar equipos en ambos extremos de los mismos sin afectar a los previamente instalados. Esta capacidad modular se refleja en la estructura de los tableros, puesto que estos tienen que ser diseñados con una estructura vertical, existiendo tableros de uno, dos o tres polos en la barra colectora, donde en este último existen modelos simples o dobles (*busbar*), en la **Figura 3** podemos observar un ejemplo de un GIS SF6 simple de tres polos y sus respectivas partes que son visibles desde el exterior.

Implementar gas SF6 como medio aislante para un tablero implica que la estructura sea hermética tanto en su envoltente como en las secciones, puesto que es necesario que la filtración del gas SF6 sea lo mínimo posible con el fin de reducir las pérdidas para un funcionamiento óptimo y eficiente, así como se busca que la contribución de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera sea mínima. Por lo anterior, es previsible que dicho tablero requiere de piezas especializadas cuyo objetivo es precisamente reducir dicha filtración del gas SF6 que se encuentra en el interior del GIS hacia el exterior, tal es el caso de las terminales de los cables, por ejemplo. Sin embargo, esto mismo significa que un GIS requiere de menor mantenimiento y proporciona una mayor vida útil que un tablero *Metal-Clad* resistente al arco, pues sus partes no se encuentran en contacto con influencias externas.

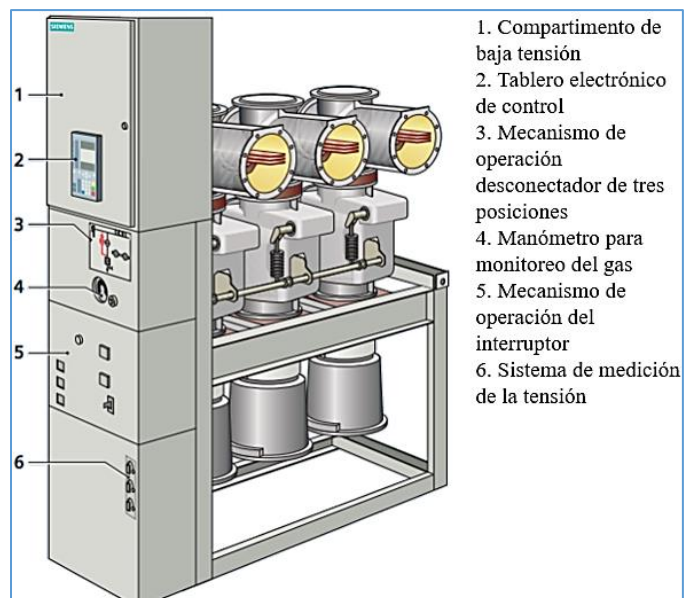


Figura 3. Tablero aislado en gas SF6 de media tensión según [7].

A. SF6 como medio aislante

Un GIS SF6 debe cumplir con la norma IEC-60376, así mismo, la presión en el interior no debe ser mayor que la presión de diseño, esto considerando una temperatura de 20°C. El gas SF6, como medio aislante es el medio por el cual las fallas de arco eléctrico pueden extinguirse, y de la misma manera, aunque exista una pérdida de presión tal que la presión interna del tablero iguale al de la presión atmosférica, sus módulos deben soportar la tensión nominal entre terminales y tierra de forma continua siempre que dicho arco no sea producido por una falla interna. Para evitar pérdidas de presión, el tablero cuenta con dispositivos de supervisión y control del gas SF6, enviando señales de alarma en el caso que exista una reducción en la presión. El grado de protección del tablero debe ser tal que la tasa de fuga máxima del gas sea igual o menor al 0.1% anual a lo largo de la vida útil de las celdas, proporcionando una mayor protección a las personas.

Así mismo, es necesario considerar las características propias del gas SF6 para el diseño y una posterior instalación de un tablero que pretenda implementar dicha tecnología [7].

Características del gas SF6:

- No es tóxico
- Es inodoro e incoloro
- No inflamable
- Químicamente neutro
- Más pesado que el aire
- Es electronegativo (es decir, es un aislante de alta calidad)
- GWP (potencial de calentamiento global) aproximadamente de: 22,800 [8]

B. Consideraciones del tablero aislado en gas SF6 en su fabricación

Para garantizar un funcionamiento óptimo, así como la seguridad para tanto del personal como del equipo es necesario que un GIS SF6 cumpla con diversas normas internacionales, tal como la anteriormente mencionada IEC-60376 cuyo objetivo es proponer una especificación para el hexafluoruro de azufre (SF6) de grado técnico y gases complementarios para su implementación en mezclas y su posterior uso en equipos eléctricos. Además de esta, se encuentran la IEC-62271-1, IEC-62271-200, IEC-61869-1, IEC-61869-2, IEC-61869-3.

Cualquier diseño básico de un tablero debe tomar en cuenta algunas de las siguientes consideraciones para la presión del gas SF6 que se encuentra dentro de la estructura del tablero con una presión relativa a 20°C, aunque dichos valores variarán con base en las especificaciones eléctricas [7]:

- Nivel funcional nominal (relativo) de 70 kPa a 120 kPa
- Presión de diseño de 190 kPa
- Temperatura de diseño del gas SF6 de 90°C
- Presión de funcionamiento del disco de ruptura ≥ 300 kPa
- Presión de estallido ≥ 600 kPa
- La estructura debe ser capaz de mantener un nivel de aislamiento tal que la fuga máxima del gas no supere el 0.1% anualmente durante la vida útil del equipo.

En cuanto al propio diseño de la estructura y los componentes del tablero, algunas especificaciones y consideraciones que todo proveedor de GIS SF6 debe tomar en cuenta son:

- Ensamblado en fábrica, tipo de prueba
- Tablero monopolar *Metal-Enclosed* con divisiones metálicas
- La cubierta del tablero debe ser hermética, atornillada con aleaciones de aluminio resistentes a la corrosión
- Los paneles de interruptores de los polos deben estar uno detrás del otro
- Libre de mantenimiento en el interior conforme a la norma IEC 62271-1
- Grado de aislamiento de IP65 para todas las partes de alta tensión del circuito primario
- Equipo de monitoreo y control del gas SF6
- Interruptor con aislamiento de vacío o en gas SF6 para la extinción del arco eléctrico
- Cuchillas de tres posiciones para la desconexión y mantenimiento o cuchillas desconectoras, además de una puesta a tierra
- Puesta a tierra a prueba de agua mediante el interruptor de vacío
- La conexión de cables debe tener terminales específicas para mantener el nivel de aislamiento
- Los instrumentos de medición de transformación deben ser extraíbles y estar ubicados independientes de los compartimientos de gas

- Los compartimientos de baja tensión deben ser extraíbles
- Cables de bus enchufables
- La temperatura en el lugar de la instalación debe ser entre -5°C a 40°C
- El sub-chasis, la tapa frontal, tapa trasera y las paredes de los extremos deben tener recubrimiento al polvo
- Los procesos de producción estandarizados y el sistema de gestión de calidad y medio ambiente deben estar certificados según los ISO 9001 e ISO 14001

Como bien se mencionó, para que un GIS SF6 cumpla con los requerimientos establecidos por las normas internacionales es necesario que tanto los compartimientos como las terminales en la conexión de los cables sean de tipos especializadas, de igual forma, son necesarios casquillos permeables que permitan el paso del gas SF6 y, por otro lado, casquillos herméticos, los cuales impidan la filtración de dicho gas. En la **Figura 4** se puede observar una vista lateral de un GIS, así como algunos de sus componentes, los cuales se indican a continuación:

1. Barra colectora L1 (manómetro B11)
2. Barra colectora L2 (manómetro B12)
3. Barra colectora L3 (manómetro B13)
4. Disyuntor L1, L2, L3 (manómetro B0)

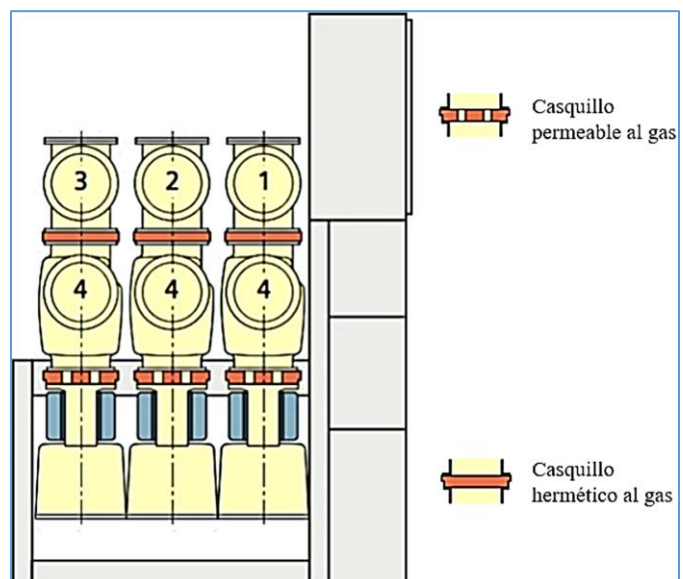


Figura 4. Vista lateral de un tablero aislado en gas SF6 de media tensión según [7].

C. Características de un Tablero en SF6.

A continuación, se presentan las características principales de un GIS SF6 de clase 15 kV - 17.5 kV monopolar según [5] y [9], tal como se muestra en la **Figura 5**.

Características en la construcción:

- Dimensiones compactas
- No es necesario la manipulación del gas o el mantenimiento en la barra colectora del GIS SF6 por la barra colectora del *GHA (B-link)*
- Opción en la conexión de los cables de tipo como interior o como exterior
- Interruptor no extraíble
- Nivel de aislamiento IP65 en las partes de alta tensión y de IP4X o IP52 en los compartimientos de baja tensión

- Dimensiones de 2400-2800 mm de altura, 1400 mm de fondo y 600 mm de ancho
- No es necesario la manipulación del gas en su instalación, reemplazo ni al final de su vida útil
- Tasa alta de reciclaje ($\geq 90\%$)
- Cumple con los estándares IEC: 60376, 61869-2, 61869-3, 62271-1, 62271-4, 62271-102 y 62271-200.
- Cumple con los estándares IEEE: C37.06-2000, C37.09-1999, C37.010-1999, C37.20.3-2001 y C37.20.4-2001
- Certificación acorde a los requerimientos de las normas ISO 9001 e ISO 14001

Características de clasificación:

- Tensión nominal de 12 hasta 40.5 kV
- Bus colector e interruptor con valores de 2500 A; hasta 4000 A para una falla de arco de 40 kA – 3 segundos (en caso de ser pedido)
- Tensión nominal soportada por un impulso tipo rayo de 95 kV
- Tensión nominal soportada en frecuencia de tipo industrial de 38/42 kV
- Corriente pico nominal soportada de 100 kA
- Corriente nominal de corta duración de 40 kA
- Contención de falla de arco (IAC) de acuerdo con IEC 62271-200 *AFL* o *AFRL* hasta 40 kA durante 1 segundo



Figura 5. Tablero aislado en gas SF6 de media tensión modelo GHA 12/15-17.5/24/36/38/40.5 kV según [7].

VI. COMPARACIÓN DE LOS TABLEROS AIS VS SF6

Ambas tecnologías en los tableros proponen características modernas, características que pueden satisfacer las necesidades de un gran número de industrias, pero existen diferencias marcables entre un AIS *Metal-Clad* resistente al arco y un GIS SF6, tanto en su estructura como en sus componentes.

Un Tablero Aislado en Gas SF6 presenta menores probabilidades de falla, esto debido a el propio aislamiento, siendo así, un equipo con mayor seguridad y confiabilidad. Por otro lado, este tipo de tableros no presenta aberturas, lo cual implica un espacio con menos riesgos para el personal, además de su fácil instalación, la cual no requiere de ninguna manipulación del gas en el sitio. Sin embargo, un Tablero Aislado en Aire Resistente al arco es menos costoso, siendo entre un 15% a 20% más económico, sumado a esto, su interruptor es fijo o extraíble, lo cual hace más fácil retirarlo. Por último, este tipo de tableros permite colocar más de 4 conductores por fase en contraste con un GIS SF6 que permite 1 o 2 conductores por fase según el diseño que se solicite [3].

En la tabla 1 se pueden observar la comparativa entre algunas características principales de un AIS Resistente al arco y un GIS SF6.

Tabla 1.- Comparación de un tablero de media tensión aislado en aire (Resistente al arco) vs aislado en gas SF6.

Tabla comparativa: AIS Resistente al arco vs GIS SF6		
Aspectos	AIS Resistente al arco	GIS SF6
1. Aislante del busbar	1. Aire	1. Gas SF6
2. Aislante del interruptor	2. Aire o vacío	2. SF6
3. Dimensiones	3. Requiere mayor espacio	3. Compacto
4. Protección al medio ambiente	4. Moderada	4. Excelente, con IP65
5. Mantenimiento	5. Moderado	5. Mínimo
6. Monitoreo de gas	6. No aplica	6. Necesario
7. Resistencia al arco	7. Hasta 63 kA-0.5 s	7. 40 kA-1 s y 4 kA-3 s
8. Dispositivos de conmutación	8. Fijo o extraíble	8. Fijo
9. Terminales de los cables	9. Convencionales	9. Especiales
10. Reciclaje	10. No se especifica	10. Tasa $\geq 90\%$

Tabla comparativa de Tableros Aislados en Aire vs Aislados en Gas		
Aspecto	AIS-Arc Resistant	GIS
Medio aislante en la barra colectora	Aire/Vacío	SF6
Medio aislante usado en el interruptor	Aire, aceite, SF6 o vacío	SF6 o vacío
Dimensiones	Más grandes, debe mantener un mayor espacio para asegurar el rendimiento dieléctrico	Considerablemente más pequeño
Protección del medio ambiente/contaminación	Moderada, la contaminación y humedad pueden tener efectos sobre el aislamiento	Excelente, está aislado (Por ejemplo, con IP67) con muy poca sensibilidad al ambiente, humedad y altitud
Mantenimiento requerido	Moderado	Mínimo, los bus y los conmutadores están sellados
Monitoreo de gas	Sólo es requerido en equipos que hagan uso de SF6	Es necesario en la barra colectora y conmutadores que hagan uso de SF6
Diseño modular	Es modular por la naturaleza de su diseño	Depende del diseño, teniendo que tomar en cuenta en la primer instalación extensiones futuras
Tipo de ejecución de los dispositivos de conmutación	Fijo o extraíble según el diseño	Fijo
Requerimientos en las terminales de los cables	No necesita terminal específica	Son necesarias terminales específicas para mantener el aislamiento
Normas de Diseño	IEEE C37.20.2 y IEEE C37.20.7 IEC 62271-1, IEC 62271-100, IEC 62271-200, entre otros	IEC 62271-1, IEC 62271-200, IEC 62271-100, entre otros

VII. CONCLUSIONES

El AIS Resistente al arco y el GIS SF6 tienen como prioridad la seguridad del personal considerando la extinción del arco eléctrico, mientras ofrecen confiabilidad y eficiencia en la operación del equipo. Sin embargo, existen consideraciones que deben conocerse para elegir entre uno u otro, como la diferencia en dimensiones que existen entre ambos, siendo un GIS SF6 de un tamaño considerablemente menor que su contraparte.

En la Actualidad por optimización de espacios en las Instalaciones Industriales que llevan más de 3 décadas optan los clientes por seleccionar el equipo eléctrico primario con menor dimensión ya que el Tablero Resistente al Arco requiere mayor altura y dimensiones en área; es decir, que si el cliente final del Tipo Industrial no cuenta con esa área y desfogue del arco dependiendo el fabricante lo que sucederá es que optará por el del Tipo Aislado en SF6.

El *Tablero del Tipo Resistente al Arco*, desde hace 1/2 década esta siendo utilizado o seleccionado para instalaciones nuevas por que el dimensionamiento de área para su integración no es problema. Entonces, el cliente Industrial seleccionará con mayor preferencia si no es el límite el área.

En conclusión, ambos tipos de Tecnologías de Tableros son predominantes en el mercado y en el comisionamiento e instalación de la Industria. Lo anterior, conlleva a recomendar que se integren ambos tableros conforme a los resultados de los estudios en estado estable, tales como el estudio de flujo de carga y el estudio de corto circuito, ya que en ocasiones es mejor obtener una magnitud de corto circuito manejable en la Industria que subir la magnitud de corto circuito trifásica que puede ser un problema en el momento de la operación.

Es recomendable colocar en cada opción el monitoreo de variables importantes hoy en día como la Distorsión de la Armónica Total (*THD: Total Harmonic Distortion*) con medidores de tecnología que pueda cumplir el Libro de Reglas o el código de Red. En México, por ejemplo, se recomienda colocar medidores que se encuentren con pantalla frontal al frente del tablero y que pueda sincronizar sus datos con **Tecnología en Tiempo Real**. Dicha Tecnología ya existe en el mercado soluciones que conviven y dan resiliencia a Instalaciones Industriales Existentes, incluyendo conexión con los propios Tableros de cualesquiera de las 2 tecnologías aquí descritas.

Es una tarea del personal de mantenimiento eléctrico y de la Supervisión de Operación interna de la Industria en seleccionar alguna de las dos tecnologías para un mejor aprovechamiento a largo plazo o durante su operación eléctrica y que pueda ser visible en el modelo eléctrico para los estudios y usando Tecnología en Tiempo Real.

AGRADECIMIENTOS

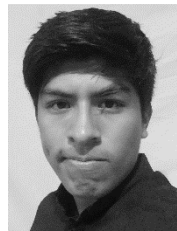
Agradezco la Oportunidad del IEE por mi estancia durante el Verano de Investigación 2021 con el Programa Delfín, en especial a la Lic. Rodríguez Directora Académica de esta Institución. Asimismo, al *IEEE Morelos Section* por brindarme la oportunidad de conocer el campo aplicativo de ingeniería eléctrica y la disponibilidad de guiarme en la realización de este artículo técnico.

REFERENCIAS

- [1] RIC Power Corp Catalogue, "Arc Resistant Switchgear 5/15/25 kV" <http://ricpower.com/medium-voltage-switchgear/arc-resistant-switchgear/>
- [2] Square D Catalogue, "Tableros blindados de media tensión: Arc resistant" [https://www.electropersa.com.mx/pdf/Tablero%20de%20media%20tensi%C3%B3n%20Metalclad%20\(Norma%20ANSI\).pdf](https://www.electropersa.com.mx/pdf/Tablero%20de%20media%20tensi%C3%B3n%20Metalclad%20(Norma%20ANSI).pdf)
- [3] L.Ivan Ruiz F., N. A. Hernández ., I. Salazar C., A. Rojas S. "Tableros Metal-Clad Resistentes al arco vs tableros aislados en gas SF6: Aplicaciones en la industria petrolera de México"

- [4] Schneider Electric Digest 178 catalog 11, "Switchboards and Switchgear" https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=0100CT1901_SEC-11.pdf&p_Doc_Ref=0100CT1901_SEC-11
- [5] Schneider Electric, "Medium voltage Switchgear & products on the MV Network" https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Medium_Voltage_Distribution_Catalogue_2015.pdf&p_Doc_Ref=NRJED314619EN_kr
- [6] ABB catalogue, "Metal Clad vs Metal Enclosed: Switchgear de media tensión" https://new.abb.com/docs/librariesprovider67/documentos-abb-m%C3%A9xico/metal-clad-vs-metal-enclosed.pdf?sfvrsn=fa73a016_2
- [7] Siemens catalog (2019), "Fixed-mounted circuit breaker switchgear types 8DA and 8DB, up to 40.5 kV, gas-insulated" <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0552f9f7c5b93a39986bb9b4a5b441c8a36a5539/catalogue-8da-and-8db-en.pdf>
- [8] Greenhouse gas protocol "Global warming potential values" https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf
- [9] Schneider Electric GHA catalog (2019), "Gas-insulated switchgear up to 40.5 kV Single and Double busbar" https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=NRJCAT18789EN_v1.pdf&p_Doc_Ref=NRJCAT18789EN_GHA

BIBLIOGRAFÍA



Leoncio Esaú Morales Ocampo, nació en Tixtla de Guerrero, Gro., el 29 de enero del año 2000. Concluyó satisfactoriamente su educación básica primaria y secundaria, siendo participante y ganador a nivel zona en la Olimpiada del Conocimiento Infantil (Edición 2011), posteriormente terminó con su educación media superior. Es Estudiante de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico de Acapulco. En sus estudios universitarios, concluyó el sexto semestre con especialidad en Ahorro de Energía, continuando aún con sus estudios. Sus temas de interés son sistemas eléctricos de potencia, eficiencia energética y energías renovables. Asistió al tercer Congreso Internacional de Innovación, Tecnología y Sustentabilidad (CIITyS) 2019, donde tomaría un taller acerca de un programa de ahorro y uso eficiente de la energía. Actualmente él está cursando una estancia del Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico (Programa Delfín) 2021. En el Instituto Educativo y de Especialidades. Bajo la línea de investigación de "Impacto en la regulación y capacidad en sistemas industriales". (leo.ocampo2901@gmail.com)



Luis Ivan Ruiz Flores nació en Orizaba, Veracruz, México el 28 de marzo de 1977. Ingeniero Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Orizaba en 1999. Maestro en Ingeniería Industrial por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos en 2004. Desde agosto de 1999 y hasta julio del año 2016, colaboró en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) como investigador de desarrollo en proyectos relacionados al análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia en plantas industriales. A la fecha, tiene 16 de derechos de autor en las categorías de software y obra literaria. Ha sido autor y coautor en 77 artículos internacionales, expositor en más de 420 conferencias internacionales. Recibió el "Achievement Award 2011" por el MGA de IEEE y su contribución a la promoción del conocimiento a los países latinoamericanos y también recibió el Premio de "Ingeniero Distinguido 2013" por el IEEE Sección Bolivia. Hoy en día, es el Director de Potencia y Energía de ETAP® Latinoamérica. Funge actualmente con el Presidente de IEEE Sección Morelos (liruiz@ieee.org & ivan.ruiz@etap.com).