

GEL SEMICONDUCTOR PARA AUXILIAR EN CONTACTOS DE ALTA CORRIENTE.  
EVALUACIÓN A 10 AÑOS.

RAFAEL MIER PhD Senior Member IEEE, Ing. ABRAHAM ROJAS  
Grupodriel

ING. RODRIGO ESCOBEDO, ING. VICTOR REYES  
Mantenimiento Eléctrico Industrial JUME

**RESUMEN.-**

El Gel Semiconductor se ha venido utilizando para proteger las uniones entre cables y herrajes en subestaciones y líneas de media y alta tensión, impidiendo el ingreso de humedad al contacto y evitando puntos calientes. En el presente trabajo se realizan pruebas de laboratorio para evaluar si el gel semiconductor (GS) afecta la conductividad en conectores nuevos. Adicionalmente se evalúa su desempeño después de varios años de instalado.

Finalmente se recopila información relacionada con su uso en cuchillas móviles, para evaluar si es posible usarlo en los elementos de contacto y conservar sus propiedades de lubricación, movilidad y capacidad de abrir con facilidad después de periodos largos de inactividad en ambientes muy contaminados.

**INTRODUCCIÓN.-**

El mantenimiento de Subestaciones y Líneas tiene algunos tópicos que requieren mayor atención. Entre ellos resalta la confiabilidad de los contactos entre los conductores y los herrajes de los diferentes equipos, sean TC, TP, aisladores soporte, mufas o derivaciones.

Cuando el contacto es malo la elevada resistencia y el daño subsecuente generan puntos calientes y la eventual falla. El efecto es interrupción del servicio, y posible daño a elementos cercanos.

En el pasado se han venido usando productos que se colocan entre los elementos a unir y que han demostrado ventajas pero a cambio han tenido algunos inconvenientes. Las objeciones mayores son: la reducción de la conductividad en el contacto nuevo, el endurecimiento en el tiempo que impide el cambio rápido del conector, la dificultad de limpiarlo con rapidez para reestablecer el servicio a la brevedad, y el engarrotamiento de las uniones en cuchillas y contactos móviles. Esto último representa un peligro porque impide la rápida apertura en caso de emergencia.

Considerando la necesidad de impedir la formación de puntos calientes, en especial en zonas con alta contaminación salina e industria, se desarrolló un gel de silicón, hidrofóbico, semiconductor, con propiedades permanentes de pasta, sin endurecerse por el clima o el tiempo y sin escurrirse por exceso de calor. Este gel se ha venido usando por 10 años, y se ha guardado información con el fin de cubrir tiempo suficiente que permita una evaluación objetiva para validar o rechazar su bondad.

**DESARROLLO DEL TRABAJO.-**

**EXPERIMENTOS EN LABORATORIO.-**

El GS había sido evaluado y reportado hace años ( ). Se había caracterizado y comprobado su naturaleza de gel independiente del tiempo, su repelencia al agua (hidrofobicidad) que mantiene seco el interior de los contactos, y su consistencia aún a muy altas temperaturas.

**RVP-AI/2015 ♦ SUB-02** PONENCIA  
RECOMENDADA POR EL **COMITE DE**  
**SUBESTACIONES DEL CAPITULO DE POTENCIA**  
DEL **IEEE SECCION MEXICO** Y PRESENTADA  
EN LA **REUNION INTERNACIONAL DE VERANO,**  
**RVP-AI/2015,** ACAPULCO GRO.,  
DEL 19 AL 25 DE JULIO DEL 2015.

TEMPERATURA.- Resalta el experimento de exposición a temperaturas muy elevadas, que aparece en la referencia 1.

El resultado resumido es que en un horno se colocaron vidrios muy inclinados (70 grados) en los que se puso una cantidad de GS en la parte superior. El horno se mantuvo a 150°C, y se revisaron las muestras a la hora, 2 horas, 4, 15 y hasta 100. El GS no se escurrió ni se deslizó en las placas de vidrio.



Figura .- Muestras después de 100 Horas en horno a 150 C.

ENVEJECIMIENTO.- El 28 de Octubre de 2011 se prepararon unas muestras para observación en el tiempo. 3 años y 5 meses después, en abril de 2015, las muestras conservan su consistencia de gel y todas las demás propiedades.

CONDUCTIVIDAD DE CONTACTOS.- La pregunta sobre la calidad del contacto en uniones nuevas debe ser atendida con formalidad. Suponiendo el buen comportamiento en el tiempo, falta valorar la calidad del contacto en equipos nuevos. Especialmente porque con aumento de la resistencia podría perderse la garantía del proveedor. Las pruebas de aceptación deben arrojar valores de norma independientemente de que se aplique o no el gel semiconductor. Si la calidad del contacto es menor todo el equipo o la instalación pueden ser rechazados.

Para determinar con precisión ese parámetro se llevan a cabo dos experimentos en diferentes ocasiones con aparatos de medición diferentes.

El primero se reportó en 2011 (Referencia 2) y consistió en hacer un anillo con cable conductor de cobre y hacer circular una corriente, inducida por un TC. El TC era alimentado del lado de baja y su campo magnético alterno inducía una corriente en el anillo. A voltaje fijo esa corriente dependía de la resistencia total del anillo. A mayor resistencia de contacto en donde se cerraba el anillo, manteniendo los demás valores constantes, menor corriente inducida. Los resultados de esta medición indirecta se muestran en la tabla siguiente. Nótese que son datos estadísticos de aproximadamente 100 mediciones para cada caso.

En ese experimento se pudo comprobar que dentro del rango de incertidumbre, los valores de conductividad del contacto son equivalentes sin y con el gel semiconductor. Ese experimento repetible y comprobable permitió asegurar que para el contacto usado, la conductividad en equipos nuevos no variaría por el hecho de poner el gel semiconductor.

Sin embargo, se consiguió el equipo para hacer la medición directa. Hubo quienes opinaban que, con el GS, la conductividad mejoraría, quienes pensaban que se mantendría y quienes consideraban que cualquier interface deterioraría la calidad del contacto.

CONDUCTIVIDAD DE UNIONES.- MEDICIÓN DIRECTA.-

EQUIPO DE MEDICIÓN.- Se utilizó un DUCTER, marca MEGGER Modelo DLRO 200-115 con calibración vigente realizada por METGOSA.

Este equipo genera un voltaje entre las salidas de la unión, y mediante una detección fina de la corriente y caída de potencial determina la resistencia con mucha precisión. Su sistema de 4 terminales mide únicamente la resistencia del contacto. Su ingeniería permite descartar los valores de resistencia de las pinzas mismas del DUCTER.

MUESTRAS UTILIZADAS.-

Contactos de Bronce con medidas 3" x 3" x 3/8"  
BURNDY

Contactos de aluminio hechos de solera con  
medidas de contacto 3" x 3" x 3/16"

#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Al principio se dio una pasada con lija fina del 600.

Para cada prueba se limpiaban las superficies a unir con gasolina.

Según el caso se aplicaba o no una película muy delgada pero uniforme de GS.

Se apretaban cuatro tornillos en las esquinas con un torque predeterminado, y el mismo para cada grupo de medidas.

Se iniciaba el equipo de medición y se tomaba la lectura de resistencia.

Se abría el contacto y se repetía el proceso cuidando siempre de una buena limpieza para evitar lecturas erróneas por traza de material de la prueba anterior.

Los resultados se muestran en las tablas siguientes.

CONECTORES DE BRONCE			PRUEBA #	SIN GS	CON GS	TORQUE
				μOhms		kg-cm
AREA	58	cm2	1	12.4	13.2	245
TEMPERATURA	20	C	2	12.2	13	245
HUMEDAD RELATIVA	37	%	3*	12.2	14.7	245
* película de GS más gruesa.			4		14.5	245
			5		13.1	máximo
VALOR MEDIO				<b>12.27</b>	<b>13.7</b>	
DESVIACIÓN STD.				<b>0.12</b>	<b>0.83</b>	

Tabla 1.- Pruebas de resistencia a contactos de Bronce sin y con GS.

CONECTORES DE ALUMINIO			PRUEBA #	SIN GS	CON GS	TORQUE
				μOhms		kg-cm
AREA	58	cm2	1	26.6	30.2	158
TEMPERATURA	20	C	2	25.6	25.7	158

HUMEDAD RELATIVA	37	%	3	27.2	29.2	158
*remoción de excedente.			4		27	250
			5 *		25.6	250
VALOR MEDIO				<b>26.47</b>	<b>27.54</b>	
DESVIACIÓN STD.				<b>0.81</b>	<b>2.08</b>	

Tabla 2.-Pruebas de resistencia a contactos de aluminio sin y con GS.

#### ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE CONTACTOS.-

1. El valor de resistencia es equivalente sin GS y con GS como se explica más abajo.
2. El valor de resistencia se ve afectado por el espesor de la capa de GS para una intensidad de apriete dada, en números cuantificables pero imperceptibles para el desempeño del sistema eléctrico.
3. Para todo efecto práctico, las medidas de resistencia arrojan los mismos valores con GS y sin GS. Se debe a que, siendo la potencia disipada por la unión  $I^2R$ . La diferencia de resistencias medidas entre un caso y el otro afecta la potencia disipada en 8.7% a 11.7% para el bronce y 4.0% para el caso del aluminio. Eso representa en corrientes reales de 600 amperes menos que 0.4 Watts de diferencia para ambos casos. En esas condiciones los watts disipados son menores a 5 Watts para el bronce y 10 Watts para el aluminio con 0.4 Watts de diferencia entre "sin GS" y "con GS".

#### CONCLUSIONES SOBRE LA RESISTENCIA DE CONTACTOS NUEVOS.

En condiciones nuevas y para efectos de pruebas de aceptación las resistencias de contacto son equivalentes.

#### PRUEBAS EN CAMPO.

El GS de este desarrollo se utiliza en el campo desde 2003, y datos formales del comportamiento se tienen desde aproximadamente 2005.

En esas fechas se empezó a aplicar el GS con registros en la zona de Altamira, Tampico y Tuxpan, en el Golfo de México. Las subestaciones en cuestión se encuentran pegadas a la playa y expuestas a los “Nortes” típicos de la región con vientos y brisa salina de hasta 120 kph, con frecuencia de cada tercer o cuarto día durante los meses de invierno. Las condiciones de contaminación son de las más altas del país.

Los elementos metálicos sufren ataque químico que genera corrosión, puntos calientes, mecanismos atorados, contactos móviles pegados, etc.

En esas condiciones los elementos dinámicos como las cuchillas desconectoras, y los contactos entre conductores se ven seriamente afectados.

Los autores Escobedo y Reyes reportan que usan el GS hace 10 años, ininterrumpidamente en todos los servicios de mantenimiento que hacen a las plantas y subestaciones de esa zona. También reportan que siendo los responsables de minimizar la interrupción del servicio eléctrico año con año, no pueden arriesgar a implementar soluciones que les causen problemas en los años siguientes. Por ejemplo una cuchilla que no abra, o que algunos contactos estén pegados, o los tornillos fundidos. Para ellos el uso de GS ha sido la solución. Han probado que lo pueden remover con facilidad en mantenimientos posteriores. Es decir No se endurece. Han encontrado que no se escurre ni ablanda a pesar del calor de la zona. Finalmente le han encontrado gran utilidad en las cuchillas móviles cuando lo aplican en capas delgadas. Evita la corrosión y par galvánico y mantiene lubricadas las uniones para facilidad de manejo aún después de varias temporadas.

La evidencia de sus observaciones se plasma en la carta anexa y el listado de clientes de las diferentes planta atendidas que avalan lo anterior.

ASUNTO: RECOMENDACIÓN DE USO DE GRASA PARA CONTACTOS

POR MEDIO DE LA PRESENTE, NUESTRA EMPRESA RECOMIENDA AMPLIAMENTE EL USO DE LA GRASA PARA CONTACTOS EN CONTACTOS MOVILES Y HIJOS DE CUCHILLAS SECCIONADORAS EN VOLTAJES DESDE 13,800 HASTA 400,000 VOLTS; LO ANTERIOR ESTA BASADO EN LA EXPERIENCIA QUE HEMOS TENIDO DURANTE 10 AÑOS EN CUANTO A SU USO, YA QUE NOSOTROS HEMOS UTILIZADO LA GRASA EN MANTENIMIENTOS DE SUBESTACIONES DE NUESTROS CLIENTES Y NOS HA DADO EXCELENTES RESULTADOS, MEJORANDO LA RESISTENCIA DE LOS CONTACTOS Y A LA VEZ LUBRICANDO LAS SUPERFICIES DE LOS MISMOS OPTIMIZANDO LA OPERACION DE CIERRE Y APERTURA DE ESTOS EQUIPOS.

EL GS TAMBIEN SE HA UTILIZADO EN EQUIPOS PRIMARIOS DE SUBESTACIONES TALES COMO TRANSFORMADORES DE POTENCIA, INTERRUPTORES, TRANSFORMADORES DE POTENCIAL Y DE CORRIENTE, APARTARRAYOS Y EN SISTEMA DE TIERRAS, EN CADA EQUIPO SE APLICA UNA PEQUEÑA CAPA DE GS EN LAS AREAS DE CONTACTO YA SEA DE ALTO O BAJO VOLTAJE, POR EJEMPLO EN LA LLEGADA DE ALIMENTACION DE ALTO Y BAJO VOLTAJE DE DICHO EQUIPOS

EMPRESA	CONTACTO	TELEFONOS	EXT
CHIMOURS S.A. DE C.V. (ANTES DUPONT)	ING. GONZALO TOSCANO	229-20-63	
PETROCEL-TEMEX	ING. LUIS ARTURO GONZALEZ SIGIRST	229-23-00	
MEXICHEM	ING. DAVID ALARCON	229-01-63	
IBERDROLA ALTAMIRA III Y IV	ING. JOSÉ NIEBLAS	260-46-00	3160
IBERDROLA ALTAMIRA V	ING. RICARDO CASTRO	260-20-80	5160
FALCON GROUP	ING. EUCARIO SOBREVILLA	260-25-35	
POSCO MEXICO	ING. VICTOR ANDRES MARTINEZ	260-77-00	708
TERMINAL DE LNG DE ALTAMIRA	ING. ROBERTO CRUZ	260-37-00	
STYRULUTION S.A. DE C.V.	ING. ALVARO CASTILLO	260-62-70	
ENERTEK	ING. OSCAR ESPINOZA	224-04-88	
IBERDROLA TAMAZUNCHALE	ING. ABDIEL LORETO	483-362-46-00	6160
GAS NATURAL FENOSA	ING. ALBINO LOPEZ	783-835-98-00	78219
AES MEXICO TAMUIN	ING. ANGEL MENDEZ	489-388-11-51	

Figura 3.- Carta de Evaluación del comportamiento de los GS, avalada por el listado de usuarios y los nombres y datos de los responsables de cada unidad.

Dentro de la Comisión Federal de Electricidad también se ha monitoreado el comportamiento del GS. El Ing. Adolfo Moreno Jefe del Depto de Subestaciones de Oficina de Distribución de la Zona Campeche ha usado el GS por 10 años, desde Chetumal. Sus conclusiones coinciden. Prefiere GS para los contactos móviles sobre las grasas originales que traen los equipos de desconexión. Comenta que tiene en almacén suficiente para sus necesidades y que sigue con la consistencia original.

#### CONCLUSIONES.-

El GS analizado en este trabajo manifiesta las siguientes características.

- Su estado de gel se conserva en el tiempo, aún a 10 años. Corrobora las pruebas de envejecimiento acelerado del laboratorio.
- En pruebas de campo y de laboratorio conserva su funcionalidad sin escurrirse.
- La conductividad en contactos nuevos es equivalente a los contactos sin GS.
- Las pruebas de campo demuestran que a 10 años los contactos conservan su funcionalidad y la maniobrabilidad en contactos móviles se mantiene.

#### CURRICULUMS.-



**Rafael Mier Maza.-** PhD Universidad de Rice, Houston Tx. Maestría en Universidad de Rice, Licenciatura en Física UNAM.

Miembro del IEEE desde 1976. Investigador de la UNAM, asesor de empresas como Siemens, Condumex, IESA y CFE, fundador de su empresa, con tecnología propia. Artículos de investigación y desarrollo tecnológico en diversos congresos y revistas nacionales e internacionales.



**Abraham Rojas Rodríguez Ing.M.T.E-** Universidad Politécnica de Querétaro 2010-2014. Enfoque académico y laboral hacia el desarrollo de pruebas e implementación de procedimientos para equipos y productos de aplicación en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Manejo de herramientas ofimáticas, CAD, PLC's, HMI's, equipos de medición, entre otros.



**José Rodrigo Escobedo García Ing. Eléctrico.-** Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla.

Capacitador externo de la STPS en trabajos eléctricos de alto riesgo, Especialista en montaje, puesta en servicio,

mantenimiento preventivo y correctivo, diagnóstico y pruebas eléctricas de equipos primarios de subestaciones eléctricas de potencia de hasta 400 KV. Además de Diagnóstico de análisis de aceite aislante.



**Victor Manuel Reyes Rodríguez Ing. Eléctrico en Potencia.-** Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Tamaulipas.

Coordinador de trabajos de mantenimientos preventivos y correctivos en subestaciones eléctricas, especialista en montaje, puesta en servicio, mantenimiento preventivo y correctivo de equipos primarios de subestaciones eléctricas de potencia de hasta 400 KV.

#### REFERENCIAS.-

1. R. Mier Maza et al.- SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE CALENTAMIENTO Y FALLA EN UNIONES DE CONDUCTORES. RVP IEEE 2011. México.
2. Carman, P.C. "Constitution of Colloidal Silica," Transactions. Faraday Society, V.36, 1940. Pp.964-973.
3. Hunter, R. Foundationis of Colloid Science, V.I. Clarendon Press, Oxford, U.K., 1987.
4. Marcus DM. An analytical review of silicone immunology. Arthritis and Rheum.; 39 (10):1619-1626. 1996
5. Wolf LE, Lappe M, Peterson RD, Ezrailson EG. Human immune response to polydimethylsiloxane (silicone): screening studies in a breast implant population. FASEB J; 7: 1265-1268. 1993
6. Halliday, D Resnick R "Física parte 2" ISBN 968-26-0324-2 Compañía Editorial Continental 1982.
7. Metrología del Golfo. Informe de Calibración MET-T-0255/14 Orden de Trabajo T-0258/14 con vigencia 2014-03-26 Instrumento Ducter No. Serie 070707/1330