

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO
CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5KV**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

WILLIAM FLORES MENDOZA

**PROMOCIÓN
1989- II**

**LIMA – PERÚ
2010**

**DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO
CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5KV**

Agradecimiento para mis Padres ya que por ellos tuve la oportunidad de seguir esta carrera a mi esposa Carola y mi hijo Gonzalo porque ellos son la razón de seguir adelante.

SUMARIO

El presente informe de suficiencia trata del diseño y pruebas de un conector aéreo para uso en cable minero portátil en este caso para la clase de aislamiento según ANSI de 5 kV.

El uso de conectores aéreos es ampliamente conocido en aplicaciones mineras de tajo abierto y la mayoría de fabricantes son de origen USA y Canadiense cuyos estándares se ajustan a necesidades propias, condiciones y temperaturas ambiente de esas altitudes de trabajo.

La iniciativa de empresarios nacionales como es el caso de Proveedores Mineros SAC, que fabrica conectores para cables mineros de baja tensión hicieron posible la inversión para la investigación, el desarrollo y hoy la fabricación de los conectores aéreos para uso con cable minero portátil los cuales ya cubren parte de la demanda en nuestro medio.

En adelante se continuará con el desarrollo para la fabricación de conectores en 8, 15 y 25 kV. A la fecha de presentación del presente informe ya se hicieron las pruebas del mismo conector para cumplir con las exigencias para la clase de aislamiento de 15 kV., con resultados satisfactorios los cuales impulsan el próximo desarrollo hasta 25 kV.; buscando además la compatibilidad con los demás fabricantes, lo que permitirá a la minería nacional principalmente tener la opción de hacer aplicaciones propias de acuerdo a su necesidad y participar como ya lo hacen con sugerencias y pedidos específicos.

El desarrollo de los conectores están basados en la aplicación de la teoría básica de campos eléctricos en los aislamientos dieléctricos, los diseños fueron realizados con la ayuda del software Autodesk Inventor 2009 y las pruebas según recomendaciones del IEEE 48-1990, los cuales nos dan seguridad de que su desempeño sea eficiente y confiable.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES	
1.1 Objetivo	2
1.2 Alcances	2
1.3 Planteamiento del tema	3
1.3.1 Estado actual del mercado nacional	3
1.3.2 Necesidades actuales del mercado nacional	3
1.3.3 Filosofía del conector aéreo (forma constructiva)	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 Campo eléctrico	5
2.2 Cálculo de la capacidad y de la intensidad de campo en el caso de un aislante ideal compacto	11
2.2.1 Condensador de placas	12
2.2.2 Dos esferas concéntricas	12
2.2.3 Dos cilindros coaxiales	14
2.3 Cálculo de la capacidad y de la intensidad de campo para una sustancia aislante ideal estratificada	15
2.3.1 Condensador de placas con aislante estratificado	15
2.3.2 Cilindros coaxiales con aislante estratificado	17
2.4 Cable eléctrico para uso minero	21
2.4.1 Dimensionamiento del conductor	21
2.4.2 Capacidad del conductor	21
2.4.3 Regulación de voltaje	22
2.4.4 Apantallamiento del conductor	23

2.4.5 Alivio del esfuerzo eléctrico (stress) en las terminaciones de cables de uso minero	27
2.5 Pruebas de terminaciones de cable de uso minero en media tensión	29
2.5.1 Condiciones estándar de pruebas	29
2.5.2 Factores de corrección para las pruebas	30
2.6 Configuración del cable de uso minero en media tensión	31
2.6.1 Cable tipo SHD-GC 3/C (5/8/15 kV.)	31
2.6.2 Cable tipo MP-GC 3/C (5/8/15 kV.)	32
2.7 Aislantes usados en conectores aéreos para uso en cables mineros	33
2.7.1 EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM)	34
2.7.2 Teflón	34
2.7.3 Caucho silicona	35
2.7.4 Contaminación del aislante	36
2.8 Uso de conectores aéreos en cables mineros	38
2.8.1 Alimentación (2)	38
2.8.2 Subestación (1)	38
2.8.3 Tablero de distribución (splitter box) (3)	38
2.8.4 Conector aéreo (coupler) (4)	38
2.8.5 Sala de interruptores (switch house) (5)	40
2.8.6 Relé de monitoreo de tierra y cable piloto (6)	40
2.8.7 Accesorios del cable portátil (7)	41
2.8.8 Soporte para conector aéreo (Junction Box) (8)	41
2.8.9 Grampa sujetador del cable a soporte para conector aéreo (Strain relief clamp) (9)	41
2.8.10 Tablero de distribución móvil (10)	41

CAPÍTULO III

DISEÑO Y PRUEBAS DEL CONECTOR

3.1 Software de apoyo	42
3.1.1 Descripción de un boceto (pieza)	42
3.1.2 Inserción de componentes en ensamblajes	43
3.1.3 Manejo de archivos	43
3.1.4 Dimensiones de sólidos generados	43
3.2 Dimensiones del conector aéreo 5 kV.	43

3.3	Cálculo del campo eléctrico dentro de las bridas en el conector aéreo	44
3.4	Cálculo de la longitud de fuga del aislamiento en el interior del conector aéreo	47
3.5	Capacidad de conducción	49
3.6	Pruebas de laboratorio	49
3.6.1	Prueba de aislamiento con megómetro	50
3.6.2	Prueba de tensión aplicada	50
3.7	Separación de contactos y secuencia de conexión	51
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS DE RESULTADO		
4.1	Diseño y dimensiones	53
4.2	Problemas encontrados en el desarrollo del aislamiento	53
4.3	Partes y piezas del conector aéreo Power Conector PCM08001A	53
4.3	Resultado de las pruebas realizadas	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
ANEXOS		55
BIBLIOGRAFÍA		76

PRÓLOGO

La fabricación de conectores aéreos de media tensión para uso en cables mineros traerá consigo el interés de los fabricantes locales de productos eléctricos y muy posiblemente se mejorará la manufactura del mismo dentro de la competencia; además, siendo nuestro mercado nacional amplio y variado, el crecimiento de la minería promete dar la oportunidad al producto nacional que cumple con los estándares de fabricación.

En electricidad las pruebas de los equipos tienen que ser exigentes por lo que recurrimos a estándares como el IEEE cuyas exigencias son mayores que los de fabricantes Europeos principalmente; asimismo los fabricantes típicos para las aplicaciones mineras todavía son los EE UU y Canadá quienes siguen desarrollando estos productos principalmente desde los inicios de la minería de tajo abierto.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Objetivo

El diseño y fabricación de conectores aéreos para uso en cable minero de 5 kV. Es de amplio uso en la minería nacional e internacional de tajo abierto. En el país dichos equipos son productos de origen EE UU y Canadá principalmente y en algunos casos de Australia luego los diseños son de catálogo lo que hace que el usuario tiene que adecuarse a lo que existe y muchas veces usar equipos y acondicionarlo a las condiciones de trabajo; debido a ello se decidió la fabricación con desarrollo y capital nacional del prototipo, con la siguiente secuencia:

- a) Estudio del campo eléctrico en el conector.
- b) Estudio de las distancias de aislamiento.
- c) Características del dieléctrico sólido y su selección.
- d) Diseño geométrico del conector.
- e) Pruebas según recomendaciones del IEEE 48-1990.
- f) Optimización de costos de producción.

1.2 Alcances

El Presente informe cubre el conector aéreo de 5 kV., adecuado a necesidades del mercado nacional, el cual es utilizado hoy principalmente en la minería de tajo abierto, básicamente de la siguiente manera:

- a) Salida de alimentadores desde las subestaciones fijas o portátiles.
- b) La prolongación de alimentadores en media tensión (normalmente 4.16 kV.) el cual normalmente se usa sobre Skid.
- c) La derivación de alimentadores que se realiza por medio de los llamados Switch Houses los cuales están compuestos de una entrada y generalmente 2 salidas usando los conectores murales y la operación de interruptores con equipamiento de control y protección de la energía.
- d) Caja de conexión para la alimentación de las cargas (perforadoras y palas)

1.3 Planteamiento del tema

Los conectores aéreos vienen a ser el empalme de continuación de los alimentadores en media tensión. Por lo que éstos deben de cumplir con las exigencias dadas para los cables de uso minero, empalmes y terminaciones para lo cual el IEEE 48-1990 da recomendaciones para las pruebas que se han cumplido de acuerdo a las posibilidades del laboratorio de Electricidad de la Universidad Nacional de Ingeniería, que cuenta con la confianza del mercado nacional.

1.3.1 Estado actual del mercado nacional

- a) Las fabricaciones actuales de conectores en 5 y 8 kV. en su mayoría son de procedencia de los EE UU y Canadá.
- b) Las pruebas a los cuales son sometidos cumplen con el estándar del IEEE 48-1990 los cuales están especificados en sus catálogos.
- c) La fabricación tiene tiempos de entrega que varían entre 8 a 12 semanas y en algunos casos puede ser mayores.
- d) La asistencia técnica no es la más adecuada, hay que esperar al personal de fábrica y normalmente no hay stock local.

1.3.2 Necesidades actuales del mercado nacional.

El mercado nacional está dado en su mayoría por la minería de tajo abierto luego sus necesidades muchas veces son inmediatas y con algunas particularidades que normalmente tienen que ser adecuadas al material existente que proviene de los fabricantes del exterior:

- a) Solo se suministran elementos sueltos de manera que algún arreglo que se requiera muchas veces es realizado por el usuario con algunos riesgos asociados como por ejemplo distancias de aislamiento mínimo o efectos del campo eléctrico.
- b) Los tableros de derivación “splitter box” son de amplio uso y cuando fallan el usuario las fabrica con posibles deficiencias y riesgos.

1.3.3 Filosofía de un conector aéreo (forma constructiva)

El conector aéreo debe de cumplir con las siguientes características:

- a) Está compuesto de un elemento hembra y un elemento macho por lo general el elemento macho es móvil ambos deben de contar con una tapa de seguridad hermética y asegurada con pernos.
- b) Debe de contar con tres contactos idénticos (hembra- macho) para cada una de las fases cuya capacidad de conducción está definida para la corriente nominal con elevación de

temperatura máxima de 90° C.

- c) Debe de contar con un contacto para cable piloto (hembra- macho) que sirve para monitoreo del cable de tierra el cual debe de permanecer conectado correctamente en todo instante que el alimentador este energizado.
- d) Debe de contar con dos contactos para la conexión del cable de tierra (hembra- macho).
- e) El aislamiento entre fases y tierra debe de cumplir con las recomendaciones dadas por el IEEE 48-1990.
- f) El encerramiento normalmente es de material aluminio y está conectado a tierra y cuenta con acceso para la introducción de compuesto de caucho silicona en el cuerpo para eliminación de espacios de aire y mejora del aislamiento cuando se apliquen a tensiones mayores o iguales a 7.2 kV.
- g) El principio de conexión será dado de manera que cuando se cierre el conector el primer contacto la realiza el contacto de tierra luego las fases y finalmente el contacto del cable piloto. Y cuando se abra primero se desconecta el conector del cable piloto luego los contactos de las fases y finalmente el contacto de tierra. El objetivo es que en ambos casos el contacto del cable piloto asegurará que no haya tensión en el conector fijo cuando se realice la conexión que es manual.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Campo Eléctrico.

En el caso de instalaciones de baja tensión se procura que el aislamiento posea una resistencia suficiente, que el material aislante no varíe química ni físicamente con el tiempo y que para determinados casos, posea una resistencia mecánica suficiente. Desde luego para aislamientos de alta tensión también se procura satisfacer dichas condiciones pero es necesario, además, evitar que el aislante sea destruido por el intenso campo eléctrico, es decir que se produzca a través del deterioro o alguna descarga o perforación eléctrica.

La importancia del campo eléctrico no queda circunscrita, sin embargo, al caso de los aislamientos pues la energía eléctrica almacenada influye en todas las variaciones de intensidad y de tensión de las corrientes que circulan entre los límites del campo; dicho fenómeno es tanto mayor en escala, cuanto más extensa sea la instalación. De estas breves consideraciones se desprende la importancia del campo eléctrico por lo que se refiere a las instalaciones de alta tensión.

Al conectar un cuerpo metálico aislado con un polo de un generador de tensión, se desplaza la electricidad desde éste hacia el cuerpo hasta que la tensión en todos los puntos de su superficie sea igual a la del polo del generador a que se ha conectado, la cantidad de electricidad recibida por el citado cuerpo constituye su carga eléctrica. Según haya sido conectada con el polo positivo ó con el polo negativo, ésa carga será positiva o negativa. La cantidad de electricidad recibida, o sea la carga, es directamente proporcional a la tensión, lo que equivale a decir que la cantidad de electricidad por unidad de tensión (por voltio) es una constante. Esta constante que varía según la forma y el tamaño del cuerpo, constituye su poder receptivo eléctrico o capacidad. Designado con Q la cantidad de electricidad recibida a la tensión U , se deduce la capacidad o capacitancia

$$C = \frac{Q}{U} \quad (2.1)$$

Expresándose Q en coulombs (C), U en voltios y C en faradios (F). Por lo tanto, el faradio

es la unidad de capacidad. Como esa unidad resulta excesivamente grande, se suele expresar la capacidad en microfaradios (μF) o en centímetros (cm). Según lo indicado,

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm}.$$

En la fórmula (2.1) debe expresarse C en faradios cuando Q esta en coulombs y U en voltios.

Análogamente a lo que ocurre en la materia que está compuesta de átomos separados, la electricidad no constituye tampoco un todo compacto, pues está integrada por pequeños corpúsculos aislados cuya carga es de $1,59 \cdot 10^{-19}$ C. estos corpúsculos se llaman electrones o quanta elementales de electricidad. Los electrones constituyen siempre cantidades de electricidad negativa. Según lo indicado. $1 \text{ C.} = 6,3 \cdot 10^{18}$ electrones.

Los átomos de la materia están constituidos por un núcleo al cual van ligados cierto número de electrones. El número de esos electrones depende de la clase del átomo, y puede determinarse fácilmente del modo que sigue: se numeran los átomos según su peso atómico y se ordenan de forma que el más ligero, o sea el del hidrógeno, ocupe el primer lugar, el del helio el segundo, y así sucesivamente hasta llegar al más pesado, el del uranio, que tendrá el número 92, estos números son los de clasificación. El número de electrones por átomo resulta ser, con algunas diferencias el mismo de clasificación. El cobre, por ejemplo tiene el número 29, siendo este mismo el de electrones ligados a su átomo. Este átomo se considera descargado o eléctricamente neutro. Conectando una esfera de cobre con el polo negativo de un generador de tensión, pasan electrones del generador a la esfera, la cual queda cargada positivamente.

Un cuerpo con electrones en exceso, es decir, cargado negativamente, tiene tendencia a desprenderse de dicho exceso para volver al estado neutro. Asimismo un cuerpo falto de electrones, o sea cargado positivamente, tiende también a neutralizarse haciendo desaparecer su pobreza de electrones. Aproximando un cuerpo en las condiciones del primer caso a otro en las del segundo, resulta que ambos se atraen. Dos cuerpos con exceso de electrones, o pobres de electrones se repelen. Esas fuerzas de atracción o repulsión se propagan a través de los aislantes y el vacío, variando la intensidad según la clase del aislante. Uniendo mediante un conductor dos cuerpos cargados con cantidades de electricidad iguales pero de signo contrario, se iguala el estado eléctrico de dichos cuerpos y se anula la fuerza de atracción. El espacio de fuerza en que pueden observarse dichas atracciones y repulsiones se llama campo eléctrico, que es distinto del campo magnético. Al aproximar a un cuerpo cargado negativamente un cuerpo conductor completamente

aislado, por ejemplo un cilindro metálico, son repelidos los electrones del cilindro, puesto que son pequeñas cargas negativas, por el citado cuerpo cargado negativamente. Como consecuencia, la superficie del cilindro próxima al cuerpo se empobrece en electrones mientras que la superficie opuesta se enriquece. Si en lugar de una carga negativa el cuerpo tuviera una carga positiva, el fenómeno se producirá en sentido inverso. Esta acción del referido cuerpo sobre el conductor se designa con el nombre de influencia.

Al unir dos cuerpos entre los cuales existe una diferencia de tensión por medio de conductor, se desplazan los electrones del cuerpo más rico en dichos elementos hacia el más pobre. Un conductor de segunda clase, por ejemplo un ácido, contiene pequeñas partículas cargadas eléctricamente llamadas iones. Estos iones se desplazan hacia los cuerpos cargados eléctricamente con signo contrario. La corriente así formada por la materia en desplazamiento se llama corriente iónica. En los conductores de primera clase como son los metales, no se desplaza la materia, sino que son los electrones los que se desplazan a través del metal; la corriente que forman se llama corriente electrónica.

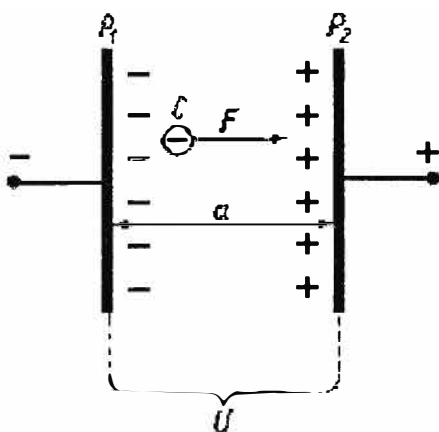


Fig. 2.1 Campo eléctrico entre placas con carga eléctrica

Entre las placas P_1 cargada negativamente y P_2 cargada positivamente (fig. 2.1) se halla un cuerpo C cargado negativamente. Entre las dos placas existe un campo eléctrico que actúa por el cuerpo C con una fuerza F . Ésta fuerza F es directamente proporcional a la distancia entre las placas. La fuerza que actúa sobre una cantidad de electricidad de 1 C. es la intensidad del campo eléctrico y se designa con la letra E . Esta intensidad resultase

$$E = \frac{U}{a} \quad (2.2)$$

Expresando E en V./cm. Cuando U este en V., o en kV./cm. Cuando U este en kV. y a en cm. La unidad de intensidad del campo eléctrico es el V./cm.

Por efecto de la tensión U se alejan los electrones de la placa P_2 dirigiéndose a la placa P_1 . Las cargas de ambas son iguales, pero de signo contrario. La carga que admite cada placa

por cm.^2 se llama densidad eléctrica de desplazamiento. Como la placa con escasa cantidad de electrones atrae los de la otra placa y como los electrones de ésta última repelen a los de la primera placa, resulta que las cargas se sitúan únicamente en las caras que están frente a frente. Llamando S a cada una de las superficies correspondientes y siendo Q la cantidad de electricidad que se encuentra en cada placa, resulta una densidad de desplazamiento.

$$D = \frac{Q}{S} \quad (2.3)$$

Expresando D en C./cm.^2 cuando Q este en C. y S en cm.^2

La cantidad de electricidad sobre cada placa y, como consecuencia, la densidad, es tanto mayor cuanto mayor sea la tensión U y cuanto menor sea la distancia a entre placas. Por tanto, la densidad depende de la intensidad de campo E la relación entre D y E puede determinarse experimentalmente. Si se hallan las placas en un recinto en el que se han hecho el vacío. Resulta

$$\frac{D}{E} = \epsilon_0$$

El valor ϵ_0 constituye la constante dieléctrica en el vacío o constante dieléctrica absoluta.

Expresando D en C./cm.^2 y E en V./cm. , resulta $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$.

Si el espacio entre placas, en lugar de vacío estuviera lleno por una substancia aislante cualquiera, sin variar las demás condiciones, aumentaría la densidad eléctrica.

El coeficiente ϵ que indica la relación entre las densidades en el caso del vacío y en el caso de la substancia aislante, se llama constante dieléctrica relativa, o más sencillamente constante dieléctrica de la substancia en cuestión.

resulta así

$$\frac{D}{E} = \epsilon_0 \epsilon \quad (2.4)$$

de las fórmulas (2.3) y (2.4) se deduce

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon S} \quad (2.5)$$

Expresándose E en V./cm. , Q en C. , S en cm.^2 con $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$ y $\epsilon =$ constante dieléctrica.

Para presentar gráficamente un campo eléctrico se trazan en el espacio que le corresponde unas líneas llamadas líneas de fuerza. La dirección de dichas líneas señala el campo y el número de líneas que atraviesa un centímetro cuadrado de superficie perpendicular a las mismas representa la intensidad de campo

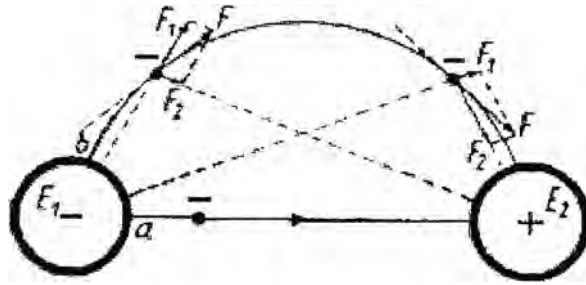


Fig. 2.2 fuerza de atracción y repulsión por carga eléctrica

Si en el punto a de la esfera E_1 cargada negativamente (fig. 2.2) se halla una cierta cantidad de electricidad negativa, esta se dirigirá en línea recta hacia la esfera E_2 cargada positivamente. Si la misma cantidad de electricidad partiese del punto b , se hallaría sometida a la fuerza de repulsión F_1 y a la de atracción F_2 al iniciarse el desplazamiento predomina F_1 , pero a medida que se efectúa dicho desplazamiento predomina F_2 , pero a medida que se efectúa dicho desplazamiento va reduciéndose F_1 y aumentando F_2 . F es la resultante de F_1 y de F_2 .

En la figura puede verse la trayectoria de la cantidad de electricidad, o sea la dirección del campo en cada punto. De esta forma se consigue la representación del campo indicada en la figura 2.3.

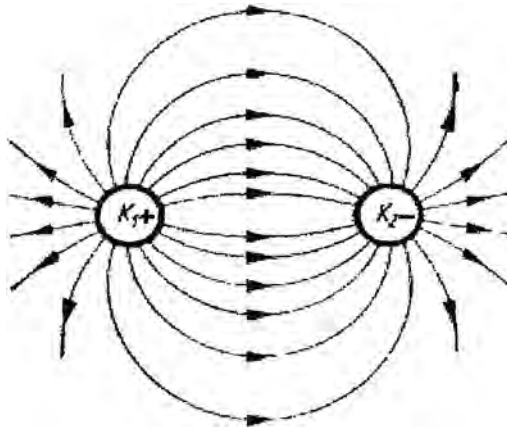


Fig. 2.3 Líneas de fuerza entre cargas

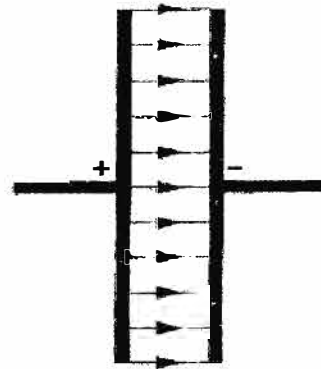


Fig. 2.4 Líneas de fuerza por cargas en placas

Las líneas de fuerza del cuerpo correspondiente a dos placas separadas por un intervalo relativamente pequeño con relación a su superficie serían rectas y paralelas (fig. 2.4). Un campo de esta especie en que la intensidad es idéntica en todos los puntos es un campo homogéneo. Cuando la intensidad es variable, el campo es heterogéneo.

La fórmula (2.2) solo se aplica a un campo homogéneo (placas paralelas).

En un campo heterogéneo pueden considerarse pequeñas trayectorias dx como pertenecientes a un campo homogéneo (fig. 2.5) la diferencia de tensión en esta pequeña

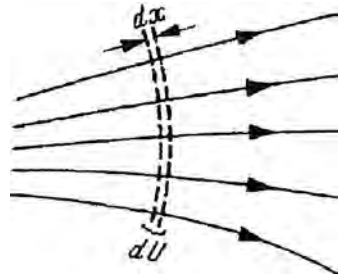


Fig. 2.5 Líneas de fuerza no uniforme

trayectoria dx tiene solamente el pequeño valor dU , siendo, como consecuencia, el valor de la intensidad del campo

$$E = \frac{dU}{dx} \quad (2.6)$$

la tensión total es

$$U = \int E dx \quad (2.7)$$

El valor de $\int E dx$ se denomina integral lineal de la intensidad del campo eléctrico.

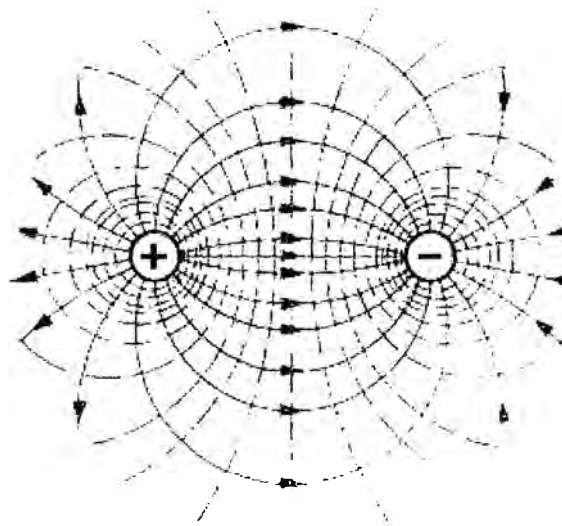


Fig. 2.6 Líneas de campo eléctrico entre dos conductores paralelos

Cualquier punto del material aislante tiene cierta tensión con relación a la tierra o a los electrodos. Si se calculan, o miden, dichas tensiones uniendo luego los puntos de igual tensión por una superficie, se obtiene la superficie de igual tensión o superficie equipotencial o superficie de nivel. En la fig. 2.6 se han indicado, para dos conductores paralelos, las líneas del campo en trazo lleno y las superficies de nivel con líneas de trazos. En el caso de dos cilindros de eje común, las superficies de nivel son también cilíndricas con el mismo eje; si se trata de conductores esféricos concéntricos, las referidas superficies son también esféricas concéntricas; por fin tratándose de dos planos paralelos. Si en el seno de un aislante se intercala una hoja metálica delgada, coincidiendo exactamente con una

superficie de nivel, no varían en el correspondiente campo ni el reparto de intensidades ni el de tensiones.

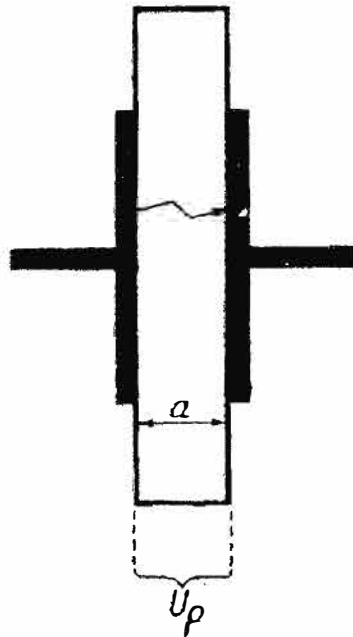


Fig. 2.7 Aislante de espesor a entre placas paralelas

Si se intercala una placa aislante entre dos placas metálicas paralelas (fig. 2.7) y se aumenta gradualmente la tensión entre las placas metálicas, llega un momento en que es perforado el aislante, produciéndose la descarga. La tensión para la cual ocurre la perforación se llama tensión de perforación: U_p . La intensidad del campo en el momento de la perforación es

$$E_p = \frac{U_p}{a} \quad (2.8)$$

En donde E_p se expresa en kV./cm. Cuando U_p viene en kV. y a en cm. Dicha intensidad de campo se designa con el nombre de intensidad de campo de perforación o rigidez dieléctrica.

Siendo U la tensión normal de servicio de una instalación para lo cual ha sido previsto un aislante determinado, y U_p la tensión de perforación de dicho aislante, la relación

$$s = \frac{U_p}{U} \quad (2.9)$$

Constituye el coeficiente de seguridad a que está sometido dicho aislante. De las expresiones (2.2) y (2.8) pueden también deducirse para el citado coeficiente la expresión

$$s = \frac{E_p}{E} \quad (2.10)$$

2.2 Cálculo de la capacidad y de la intensidad de campo en el caso de un aislante ideal compacto

Por aislante ideal se entiende una sustancia aislante cuya rigidez dieléctrica es constante en todas las direcciones, cualquiera que sea la forma del campo y la separación de los electrodos

2.2.1 Condensador de placas

Con dos placas metálicas iguales dispuestas paralelamente, según se indica en las figuras 1 y 7, la intensidad de campo es

$$E = \frac{U}{a}$$

la capacidad del conjunto será

$$C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{a} \quad (2.11)$$

En donde vienen expresados C en F., Q en C., U en V., S en cm^2 , a en cm. Y siendo $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$ y $\epsilon =$ constante dieléctrica del aislante. S es la superficie interna de una placa y Q la cantidad de electricidad de dicha placa.

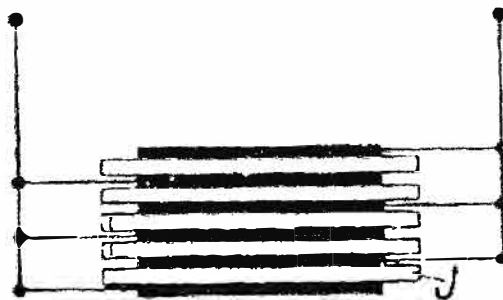


Fig. 2.8 Condensadores en paralelo

La capacidad del conjunto aumenta cuando se reduce la separación a , es decir que aumenta la cantidad de electricidad por voltio. Todo conjunto que se halle en estas condiciones se llama condensador.

Para conseguir una mayor capacidad se conectan varios condensadores en paralelo (fig. 2.8). Las láminas están marcadas con J, la capacidad de este conjunto resulta ser

$$C = n \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{a} \quad (2.12)$$

Expresándose C en F., S en cm^2 , a en cm., y siendo ϵ la constante dieléctrica del aislante, ϵ_0 la constante dieléctrica absoluta y n el número de láminas aislantes.

2.2.2 Dos esferas concéntricas

E_1 y E_2 son dos esferas concéntricas (fig. 2.9) de radios r_1 y r_2 respectivamente. Entre las dos esferas se halla el material aislante de espesor $a = r_2 - r_1$ y constante dieléctrica ϵ . Las líneas del campo son radiales. La capacidad del conjunto es

$$C = \varepsilon \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \quad (2.13)$$

Expresándose C en F., r_1 y r_2 en cm. y siendo ε la constante dieléctrica.

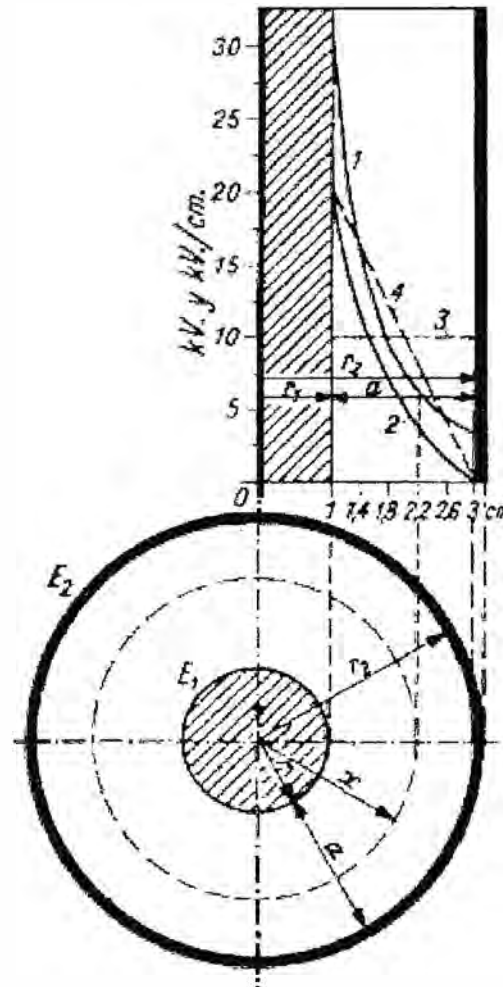


Fig. 2.9 Campo eléctrico en dos esferas concéntricas

Siendo U la diferencia de tensión entre las esferas, la intensidad de campo a la distancia x del centro del condensador será:

$$Ex = \frac{Ur_1 \cdot r_2}{x^2[r_2 - r_1]} \quad (2.14)$$

Expresando Ex en V./cm. Cuando U viene en V.; Ex en kV./cm. Cuando U en kV.; x , r_1 y r_2 en cm. La mayor intensidad de campo se encuentra en la superficie exterior de la esfera interior, es decir, cuando $x = r_1$; la intensidad mínima en la superficie interior de la esfera exterior, o sea donde $x = r_2$. Según las fórmulas (2.6) y (2.14) resulta

$$E = \frac{dUx}{dx} = \frac{Ur_1 \cdot r_2}{x^2 [r_2 - r_1]}$$

La tensión Ux en un punto situado a la distancia x del centro del condensador resulta de la expresión

$$\begin{aligned}
 Ux &= \int_x^{r_2} \frac{Ur_1 \cdot r_2}{x^2[r_2-r_1]} \cdot \frac{dx}{x^2} = \frac{Ur_1 \cdot r_2}{[r_2-r_1]} \left[-\frac{1}{x} \right]_x^{r_2} \\
 Ux &= \frac{Ur_1 \cdot r_2}{[r_2-r_1]} \left[-\frac{1}{r_2} + \frac{1}{x} \right] \\
 Ux &= \frac{Ur_1 \left[\frac{r_2-1}{x} \right]}{[r_2-r_1]} \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

En esta expresión, cuando $x = r_1$, $Ux = U$ y cuando $x = r_2$, $Ux = 0$

2.2.3 Dos cilindros coaxiales

Los cilindros de eje común o coaxiales (figs. 2.10 y 2.11) constituyen un dispositivo de aislamiento empleado prácticamente en muchos casos por ejemplo en cables, aislamientos de conductores, pasos de conductores, etc.

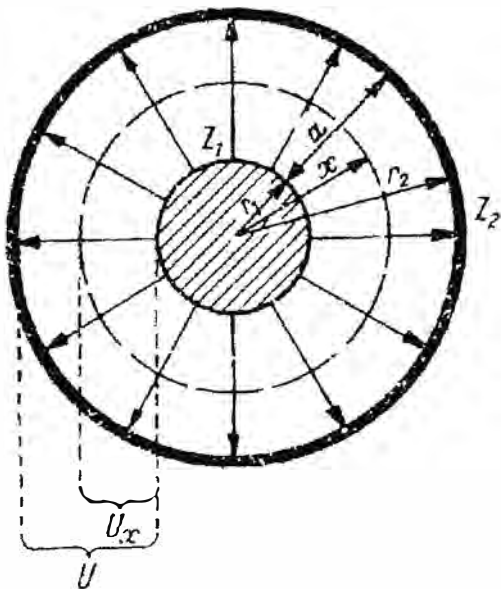


Fig. 2.10 Cilindros coaxiales radios r_1 y r_2 **Fig. 2.11** Cilindros coaxiales vista de perfil

Las líneas de fuerza son radiales (fig. 2.11). Siendo r_1 y r_2 los radios de los cilindros Z_1 y Z_2 respectivamente, la constante dieléctrica del aislante y l la longitud del condensador cilíndrico, la capacidad será:

$$C = \varepsilon \frac{l}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.16)$$

Expresándose C en F.; l , r_1 y r_2 en cm., y siendo ε la constante dieléctrica relativa y $\varepsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$ empleando logaritmos decimales, resulta:

$$C = 2,413 \frac{\varepsilon \cdot l}{\log \frac{r_2}{r_1}} \cdot 10^{-13} \quad (2.17)$$

En el caso de un cable se indica generalmente, la capacidad por kilómetro, siendo así $l = 1 \text{ km.} = 10^5 \text{ cm.}$ entonces

$$C_{km.} = 2.413 \frac{\epsilon}{\log \frac{r_2}{r_1}} \cdot 10^{-8} \quad (2.18)$$

($C_{km.}$. En F./km., r_1 y r_2 en cm., ϵ constante dieléctrica relativa).

La intensidad del campo a la distancia x del eje del cable es

$$Ex = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{U}{x \cdot 2.3 \cdot \log \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.19)$$

(Ex en V./cm. Cuando U este en V. y x , r_1 r_2 en cm.)

U es la tensión entre los cilindros $Z1$ y $Z2$. La mayor intensidad del campo se produce en la superficie exterior del cilindro interior ($x = r_1$); la mínima, en el cilindro exterior ($x = r_2$).

La tensión Ux de un punto situado a una distancia x del eje del condensador, en relación con el cilindro exterior se obtiene de la forma siguiente:

$$Ex = \frac{dUx}{dx} = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$Ux = \int_x^{r_2} \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} [\ln x]_x^{r_2}$$

$$Ux = \frac{U \ln \frac{r_2}{x}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.20)$$

Según puede deducirse fácilmente $Ux = U$ cuando $x = r_1$ y $U = 0$ cuando $x = r_2$

2.3 Cálculo de la capacidad y de la intensidad del campo para una substancia aislante ideal estratificada

Se entiende que las capas o estratos han de estar dispuestas de tal forma que las superficies de separación coincidan con superficies equipotenciales. Las líneas de campo serán por lo tanto, normales a dichas superficies de separación. Según se indicó anteriormente, un aislante ideal es un aislante cuya rigidez dieléctrica es independiente de la forma de los electrodos y del espesor propio.

2.3.1 Condensador de placas con aislante estratificado

En un condensador de placas el aislante está constituido por tres capas de distinto material (fig. 2.12). Dichas capas son paralelas a las placas P_1 y P_2 . Si entre las superficies de contacto de las capas se intercalan sendas hojas metálicas cuya superficie S sea igual al de las placas P_1 y P_2 (fig. 2.13) no se introduce variación alguna en el campo eléctrico por ser equipotenciales dichas superficies de contacto. Una vez hecho esto, pueden considerarse las tres capas de aislante como otros tantos condensadores conectados en serie (fig. 2.14) cuyas respectivas capacidades serian

$$C_1 = \epsilon_1 \epsilon_0 \frac{S}{a_1}; \quad C_2 = \epsilon_2 \epsilon_0 \frac{S}{a_2}; \quad C_3 = \epsilon_3 \epsilon_0 \frac{S}{a_3}$$

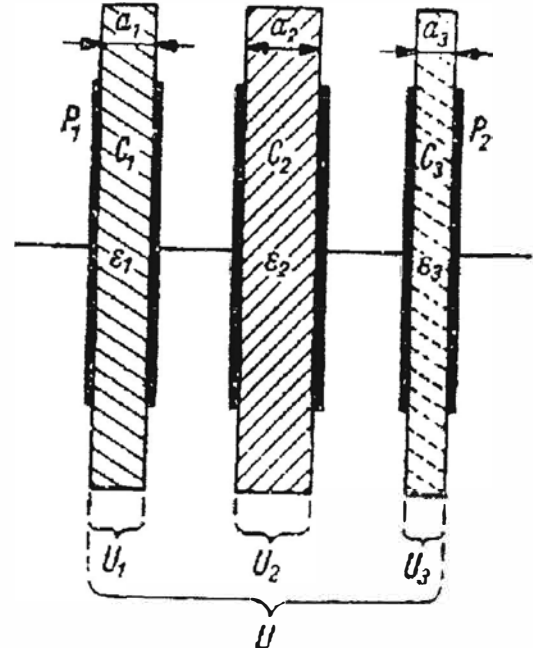
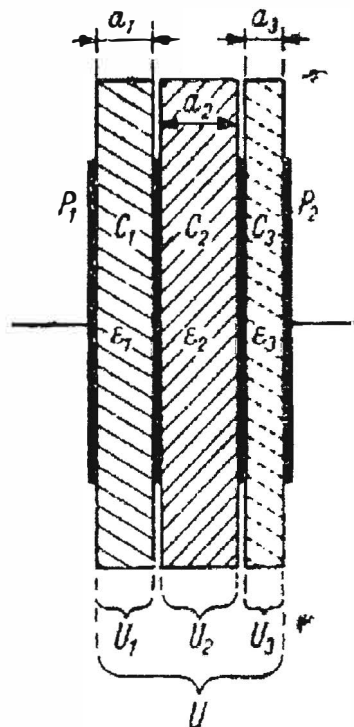
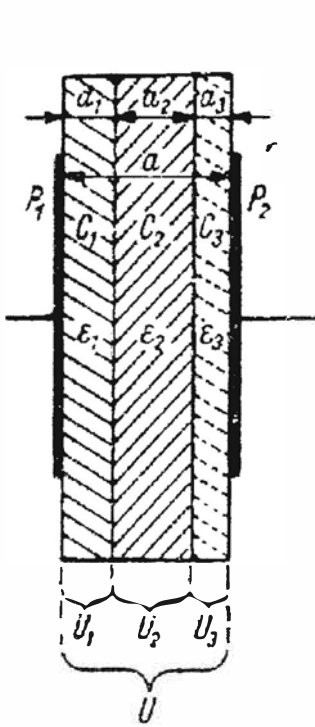


Fig. 2.12 Condensador real Fig. 2.13 Equivalente 1

Fig. 2.14 Equivalente 2

En el montaje de condensadores en serie resulta

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \\ \frac{1}{C} &= \frac{a_1}{S\epsilon_1\epsilon_0} + \frac{a_2}{S\epsilon_2\epsilon_0} + \frac{a_3}{S\epsilon_3\epsilon_0} \\ \frac{1}{C} &= \frac{1}{\epsilon_0 S} \left[\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2} + \frac{a_3}{\epsilon_3} \right] \end{aligned}$$

Designando por K el valor entre paréntesis, resulta en el caso de n capas

$$K = \left[\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2} + \frac{a_3}{\epsilon_3} + \dots + \frac{a_n}{\epsilon_n} \right] = \sum_i^n \frac{a}{\epsilon} \quad (2.21)$$

La capacidad total viene dada por la fórmula

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{K} \quad (2.22)$$

En la cual se expresan C en F., S en cm^2 , y siendo $\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$ y K según fórmula (2.21).

Designando por U_1 , U_2 y U_3 las diferencias de tensión que corresponden, respectivamente, a cada una de las capas aislantes y U la tensión total entre P_1 y P_2 , resulta

$$UC = U_1 C_1 = U_2 C_2 = U_3 C_3$$

De donde se deduce para la primera capa

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{\epsilon_0 S a_1}{K \epsilon_1 \epsilon_0 S} U$$

$$U_1 = \frac{a_1}{\epsilon_1 K} U$$

Análogamente, para la segunda capa

$$U_2 = \frac{a_2}{\epsilon_2 K} U$$

y, en general la de la enésima

$$U_n = \frac{a_n}{\epsilon_n K} U \quad (2.23)$$

Siendo homogéneo el campo eléctrico en cada capa, la intensidad del de la primera será

$$E_1 = \frac{U_1}{a_1} = \frac{U}{\epsilon_1 K}$$

y, en general la de la enésima

$$E_n = \frac{U_n}{a_n} = \frac{U}{\epsilon_n K} \quad (2.24)$$

Siendo para la primera capa

$$E_2 = \frac{U}{\epsilon_1 K}$$

y para la segunda

$$E_1 = \frac{U}{\epsilon_2 K}$$

Resulta

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (2.25)$$

Los esfuerzos dieléctricos de las capas aislantes son inversamente proporcionales a sus constantes dieléctricas.

2.3.2 Cilindros coaxiales con aislante estratificado

Entre dos cilindros coaxiales se disponen concéntricamente al eje común, tres capas aislantes distintas (fig. 2.15). suponiendo que entre sus superficies de contacto se intercale una delgada lámina metálica, no por eso se introduciría variación alguna en la distribución de la tensión o de la intensidad del campo eléctrico, ya que dichas láminas coincidirán con superficies equipotenciales colocadas las referidas láminas puede considerarse el conjunto como una agrupación de tres condensadores en serie, en donde

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

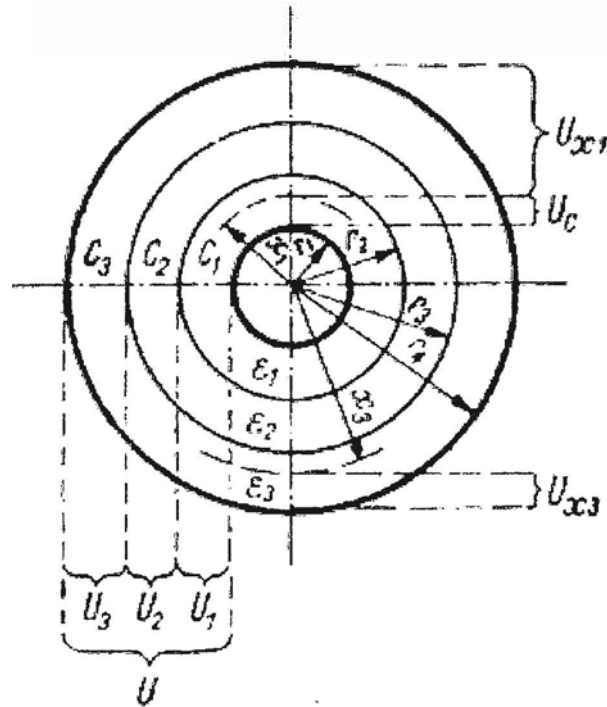


Fig. 2.15 Cilindro coaxial con aislamiento estratificado

Según la fórmula 2.16 es

$$C_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}; \quad C_2 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_3}{r_2}}; \quad C_3 = \varepsilon_3 \varepsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_4}{r_3}}$$

Con lo cual

$$\frac{1}{C} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 \cdot 2\pi l} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_2 \varepsilon_0 \cdot 2\pi l} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{\varepsilon_3 \varepsilon_0 \cdot 2\pi l}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\varepsilon_0 \cdot 2\pi l} \left[\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{r_4}{r_3} \right]$$

Designando por K la cantidad entre paréntesis se obtiene para un conjunto de n capas aislantes

$$K = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{r_4}{r_3} \right] \quad (2.26)$$

Siendo entonces la capacidad total

$$C = \varepsilon_0 \frac{2\pi l}{K} \quad (2.27)$$

Y expresándose C en F., l en cm., y siendo $\varepsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-14}$ y dando a K el valor de la fórmula (2.26).

Siendo U_1 , U_2 y U_3 las diferencias de tensión correspondientes a cada uno de los aislantes y U la tensión total resulta

$$UC = U_1 C_1 = U_2 C_2 = U_3 C_3$$

De lo cual se deduce la tensión en la primera capa aislante

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{\varepsilon_0 2\pi l n \frac{r_2}{r_1}}{K \varepsilon_1 \varepsilon_0 2\pi l} U$$

$$U_1 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_1 K} U$$

y la de la segunda capa

$$U_2 = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_2 K} U$$

En general, para la n -ésima capa

$$U_n = \frac{\ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}{\varepsilon_n K} U \quad (2.28)$$

La intensidad del campo eléctrico en la primera capa, a la distancia x_1 del eje es

$$E x_1 = \frac{U_1}{x_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Sustituyendo U_1 por el valor anteriormente hallado queda

$$E x_1 = \frac{U \ln \frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_1 K x_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{U}{\varepsilon_1 x_1 K}$$

La intensidad de campo en la n -ésima capa, a la distancia x_n del eje será

$$E x_n = \frac{U}{\varepsilon_n x_n K} \quad (2.29)$$

Cuando $x_1 = r_1$, la fórmula da el máximo esfuerzo en la primera capa o sea

$$E r_1 = \frac{U}{\varepsilon_1 r_1 K}$$

Así mismo el máximo esfuerzo en la segunda capa se obtendrá poniendo $x_2 = r_2$,

$$E r_2 = \frac{U}{\varepsilon_2 r_2 K}$$

Si fuese preciso, por ejemplo en un cable con aislamiento estratificado, que los esfuerzos dieléctricos máximos fuesen los mismos en todas las capas, habría que poner

$$\varepsilon_1 r_1 = \varepsilon_2 r_2 = \varepsilon_n x_n$$

o bien

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (2.30)$$

Para que los máximos esfuerzos dieléctricos de los aislantes sean iguales es preciso que las constantes dieléctricas sean inversamente proporcionales a los radios.

La fórmula (2.30) dice que solo podrán conseguirse esfuerzos máximos iguales, y con ello una repartición favorable por capas, cuando $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3 \dots$, etc.; es decir, cuando las constantes dieléctricas vayan decreciendo del centro a la periferia. Si pudiese construirse un cable de número infinito de delgadas capas aislantes cuyas constantes fueran disminuyendo de acuerdo con la fórmula (2.30) dicho cable se comportaría como un condensador de placas con aislante homogéneo.

La variación total de tensión desde el conductor hasta el cilindro exterior puede determinarse en la forma siguiente:

La tensión Uc_1 con relación al conductor, en la primera capa y a la distancia x_1 del eje, se deduce de la fórmula

$$Ex_1 = \frac{dUc_1}{dx} = \frac{U_1}{x_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$Uc_1 = \int_{r_1}^{x_1} \frac{U_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{U_1 \ln \frac{x_1}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Dando a U_1 el valor indicado anteriormente, resulta

$$Ec_1 = \frac{U \ln \frac{x_1}{r_1}}{\varepsilon_1 K}$$

La tensión a Ux_1 (fig. 2.15) en la primera capa, a la distancia x_1 del eje, con relación al cilindro exterior, será

$$Ux_1 = U - \frac{U \ln \frac{x_1}{r_1}}{\varepsilon_1 K}$$

$$Ux_1 = U \left[1 - \frac{\ln \frac{x_1}{r_1}}{\varepsilon_1 K} \right]$$

La tensión a Ux (fig. 2.15) en la tercera capa. A la distancia x_3 del eje, con relación al cilindro exterior será

$$Ux_3 = U - U_1 - U_2 - \frac{U \ln \frac{x_3}{r_3}}{\varepsilon_3 K}$$

Y análogamente, la tensión Ux_n en la enésima capa, a la distancia x_n del eje, con relación al cilindro exterior, será también

$$Ux_n = U - (U_1 + U_2 + \dots U_{n-1}) - \frac{U \ln \frac{x_n}{r_n}}{\varepsilon_n K} \quad (2.31)$$

2.4 Cable eléctrico para uso minero.

2.4.1 Dimensionamiento del conductor.

Los cables de uso minero cumplen con las siguientes características:

- a) Los cables que conducen altas corrientes deben de ser recocidos esto origina una perdida en la tensión de ruptura.
- b) Las dimensiones de los cables están dados en AWG, cuyo principio es definir el diámetro formado por una progresión geométrica basado en la especificación de dos diámetros. La base del AWG es el diámetro del N° 4/0 definido como 0.46" y el N° 36 como 0.00050". Los 38 tamaños entre estos dos diámetros son especificados por la relación de un diámetro al diámetro siguiente por la constante: $\sqrt[39]{0.4600/0.0050} = \sqrt[39]{92} = 1.1229322$, es decir por ejemplo dividiendo 0.46 por 1.1229322 hallaremos la siguiente sección que es 0.410 que corresponde al N° 3/0 AWG.
- c) Las conversiones de AWG a circular mil está dada por: Circular mil= Área (pulg.) \times 1,273,240 = Área (mm) \times 1,973.5
- d) Mil es el término usado para expresar el diámetro del cable como una unidad de longitud igual a 1/1000 de una pulgada.
- e) Circular mil es usado para definir el área transversal del conductor. Un circular mil es igual a 0.7854 cuadrado mil (square mil)

2.4.2 Capacidad de conducción

La capacidad de conducción es dada a un valor de temperatura, en cables mineros aislados con EPR (ethylene propylene) son dimensionados para operar continuamente a 90 °C.

Comúnmente se usa las recomendaciones de ICEA (publicación N° S-75-381/NEMA WC 58) especificado para cables aislados con temperatura ambiente de 40° C y con temperatura del conductor de 90° C. La corriente de corto circuito admisible en los conductores de cobre aislados esta dado por las curvas de la fig. 2.16 donde cada curva obedece a un tiempo expresado en ciclos según leyenda indicada en ella.

La resistencia a altas temperaturas del aislamiento es deseable y aumenta el factor de seguridad durante los periodos de emergencia. La estabilidad del aislamiento durante la emergencia es de suma importancia. Como lo señala ICEA “el funcionamiento de temperatura de emergencia no excederá las 100 horas por año. Estas 100 horas no debe de repetirse más de 5 veces durante la vida del cable.”

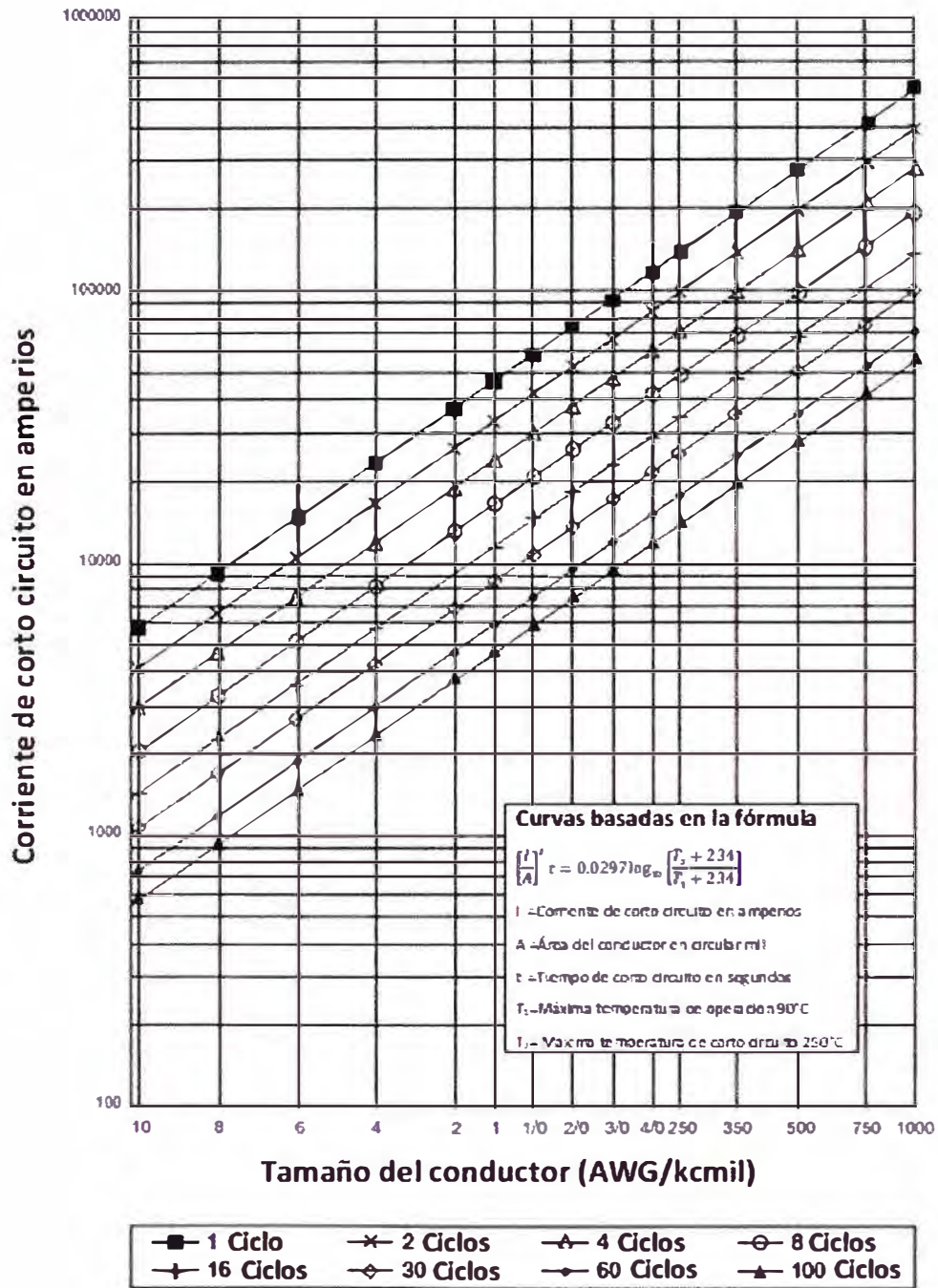


Fig. 2.16 Curvas de calentamiento del cable eléctrico en corto circuito

2.4.3 Regulación de voltaje

La regulación de voltaje depende en medida de la clase de servicio que se suministre. Hay que mantenerse dentro de los límites prácticos para obtener energía adecuada y la eficiencia adecuada, el par, factor de potencia, etc., La regulación de voltaje por lo general puede ser interna y en límites deseables y normalmente no más de 5% . De no ser posible debe de instalarse equipos para la regulación.

El Código Eléctrico Nacional (NEC-USA) recomienda caídas de tensión máxima del 3% para las cargas de energía y el 1% para cargas de alumbrado.

2.4.4 Apantallamiento del conductor.

Un condensador es un dispositivo eléctrico que consta de dos superficies conductoras separadas por un material aislante (dieléctrico), como el aire, papel, aceite o caucho. Un cable blindado funciona como un condensador con el aislamiento como el dieléctrico y la pantalla como otra superficie conductora. Esto debe tenerse en cuenta durante el diseño y aplicación del cable.

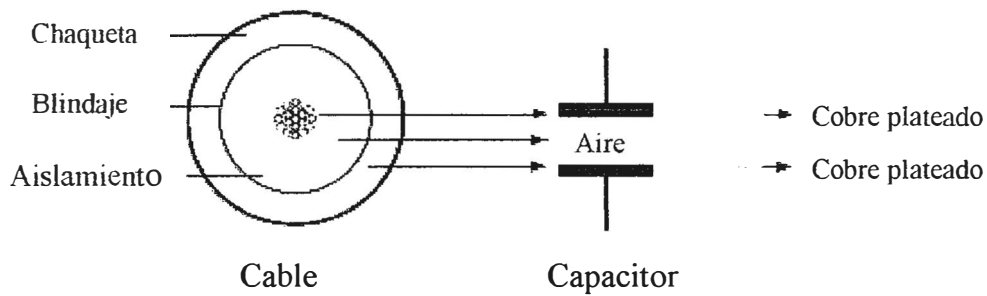


Fig. 2.17 Cable como capacitor

Un condensador almacena energía eléctrica. La constante dieléctrica específica del aislamiento es determinada por comparación del aumento de energía en el aislamiento del cable (capacitor).

Por ejemplo en cierto condensador de aire se tiene una capacitancia de $1 \mu\text{F}$, pero si el aire es reemplazado por un aislamiento la medida de la capacitancia es $3 \mu\text{F}$, esto es directamente referido a la constante dieléctrica, para cables de menos de 600 V. es deseable valores de constante dieléctrica por debajo de 7, para cables de 15 kV. la constante dieléctrica específica debe ser menor de 4 y para cables mayores a 15 kV. dicho valor debe de ser el más bajo posible.

Un condensador permite el flujo de corriente alterna; el aumento del flujo de corriente alterna depende de la constante dieléctrica del aislamiento y la frecuencia de la fuente. En el diseño del cable debe de tenerse en cuenta el flujo de corriente alterna para determinarse el blindaje del cable, el espaciado del conductor y la geometría del cable.

La decisión para seleccionar cables blindados o no-blindados para aplicaciones de arrastre en alto voltaje, es motivo de una extensa discusión. Se debe entender primero los principios operacionales de un cable no blindado y los tipos de problemas de funcionamiento que podrían presentarse.

La función primaria de un conductor eléctrico es conducir voltaje y corriente. La función primaria de un aislamiento es contener el voltaje dentro del conductor. Ningún aislamiento hace esto a la perfección. Todos los aislamientos presentan acumulación de carga en su superficie.

El voltaje electrostático o las tensiones cruzan el aislamiento y se agrupan en la superficie externa del aislamiento intentando encontrar una trayectoria a tierra. Estas cargas electrostáticas emanan del conductor y se llaman tensiones radiales. Visualicemos estas líneas como los rayos de una rueda. Idealmente las líneas de tensión se distribuyen uniformemente.

Las tensiones radiales en un cable de alto voltaje no-blindado se perturban cuando el cable se coloca en la vecindad de una superficie puesta a tierra. (fig. 2.18).

Esto da lugar a tensiones radiales distorsionadas alrededor de la superficie del aislamiento del cable. Si el voltaje de operación del cable es alto por ejemplo 2,400 voltios, y si el cable esta en lugares húmedos o donde la superficie del cable se expone a suciedad, polvo, carboncillo u otro contaminante se presentan trayectorias de descarga a tierra que pueden causar fallas del cable.

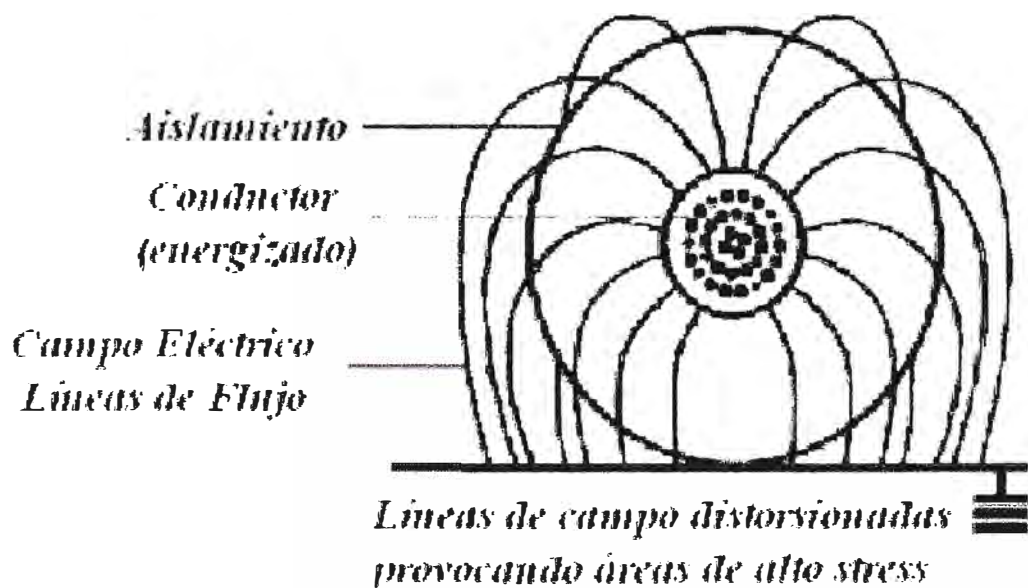


Fig. 2.18 Líneas de campo eléctrico en cable no blindado

Un blindaje puesto a tierra al rededor de la circunferencia del aislamiento del conductor; distribuirá uniformemente las tensiones radiales eliminando la concentración de tensiones y de la ocurrencia de los voltajes superficiales. (fig. 2.19) Debido a que las trayectorias de descarga a tierra, la corona y la ionización no pueden ocurrir, el cable blindado es un diseño intrínsecamente confiable que trabajará en todas las aplicaciones. Blindar o no blindar es un asunto altamente polémico entre diseñadores, ingenieros y usuarios de cables. Existen muchas opiniones contrapuestas sobre la necesidad de blindaje para diversas clasificaciones de voltaje y condiciones operacionales. Los siguientes hechos sobre los cables no-blindados y blindados son aceptados universalmente.

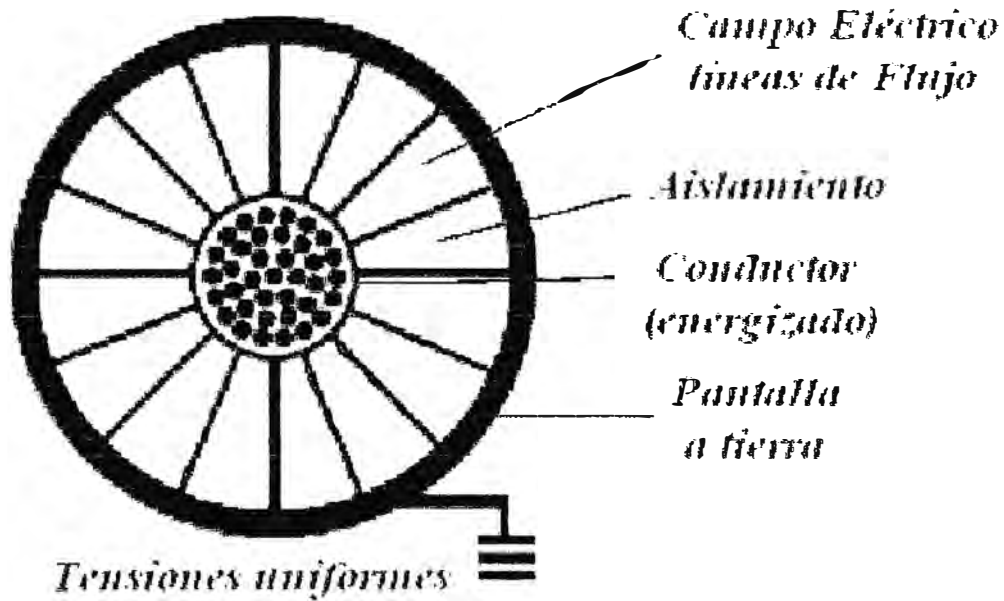


Fig. 2.19 Líneas de campo eléctrico en cable blindado

a) Cable No-blindado

Hay una gran probabilidad de que las tensiones radiales que cruzan el aislamiento y se agrupan en la superficie externa intentando encontrar una trayectoria de descarga a tierra sean perturbadas. Esto da lugar a una distribución no uniforme de las tensiones electrostáticas. La distribución no uniforme de las tensiones electrostáticas, reduce la eficacia del aislamiento.

Si el cable entra en contacto con la tierra, las tensiones electrostáticas en el punto de contacto serán tangenciales. Las tensiones tangenciales pueden dar lugar a: descargas eléctricas, formación de ozono, una fuerte ignición para mezclas de gases explosivos, incremento de temperatura focalizada y deterioro general del aislamiento. Los cables no-blindados que cruzan ambientes húmedos y/o secos, presentarán variaciones de su capacitancia a tierra. Cambios en las condiciones y el tiempo, pueden dar lugar al deterioro del aislamiento.

Cables no-blindados conectados a líneas aéreas pueden presentar ondas transitorias provocadas por descargas atmosféricas (relámpagos) o a la inducción por nubes cargadas eléctricamente y/o nieblas a la deriva. Esto puede dar lugar a picos transitorios de las tensiones electrostáticas y por ende al deterioro del aislamiento.

Cuando la superficie externa del aislamiento o la cubierta aislante del cable no está en contacto con tierra a todo lo largo de la longitud del cable (cable no blindado), una diferencia de potencial considerable puede presentarse entre la cubierta y tierra.

Esta diferencia de potencial puede crear un riesgo y podría ser mortal para cualquier persona que entra en contacto con el cable y podría también dar lugar a chispas que podrían ser fuente de ignición para mezclas de gases explosivos.

b) Cable Blindado

El blindar un cable de energía eléctrica es poner en práctica la confinación de su campo dieléctrico al interior del aislamiento del cable circundando el aislamiento con un medio conductor puesto a tierra llamado blindaje (pantalla).

Algunos medios conductores idóneos para su uso en blindajes son: cintas de metal, trenzas de metal, tubos metálicos, cintas semiconductoras, capas semiconductoras extruidas y capas semiconductoras extruidas sobre filamentos de alambre.

La pantalla actúa como barrera a las tensiones electrostáticas y las confina al aislamiento.

El blindaje correctamente aplicado y puesto a tierra experimentará lo siguiente:

- i. Incrementa la eficacia del aislamiento.
- ii. Tierra mantendrá una distribución homogénea de las tensiones radiales dentro del aislamiento.
- iii. Eliminará las tensiones longitudinales en toda la superficie del aislamiento homologándola con tierra.
- iv. Eliminará las tensiones tangenciales.
- v. Atenuará los transitorios en los cables conectados a líneas aéreas.
- vi. Proporcionará seguridad al personal
- vii. Ayuda a eliminar las fuentes de ignición debidas a chispas por descarga

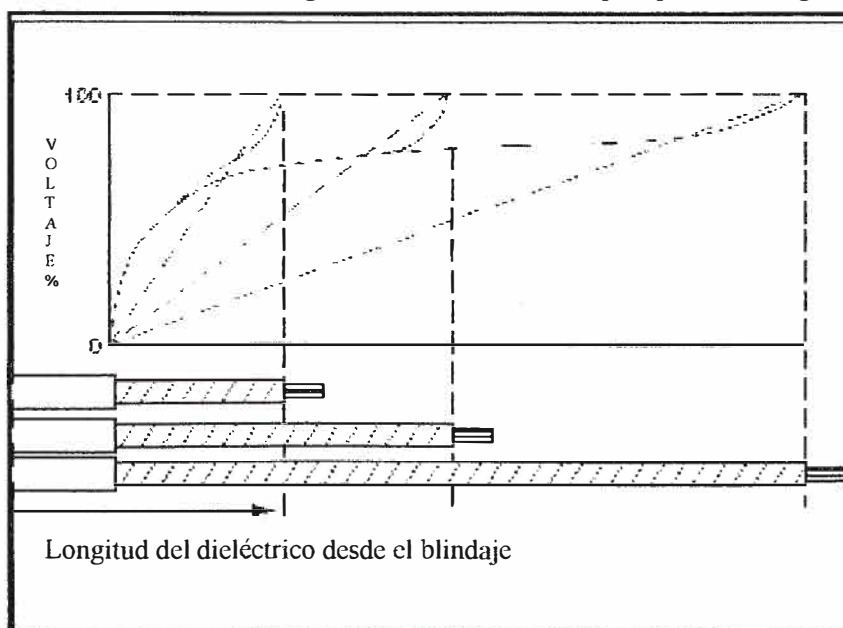


Fig. 2.20 Gradiente de voltaje en el extremo de cable descubierto

c) Gradientes de voltaje en terminaciones

Se presenta tres longitudes de retiro del blindaje en las terminaciones se observa que la gradiente en el borde aislado es el mismo (fig. 2.20)

d) Concentración de esfuerzos eléctricos (Stress)

Las líneas de campo eléctrico desde el extremo del blindaje no es lineal y se presentan líneas fuera del aislamiento luego es necesario que dichas líneas se encuentren dentro del aislamiento por lo que desde el pasado se usan los conos de alivio y hoy existen otras técnicas.

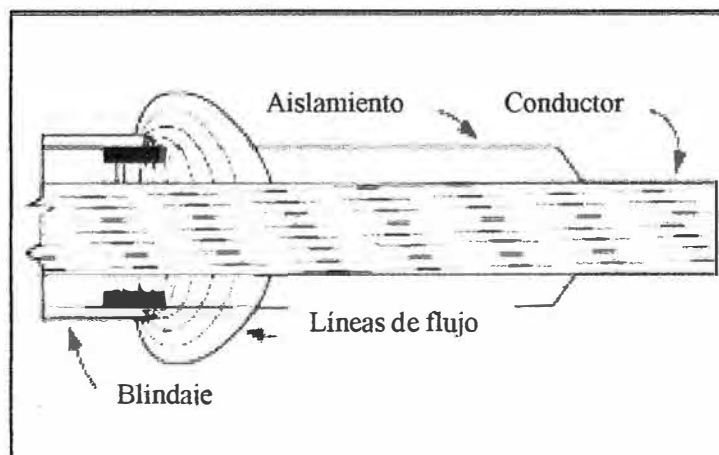
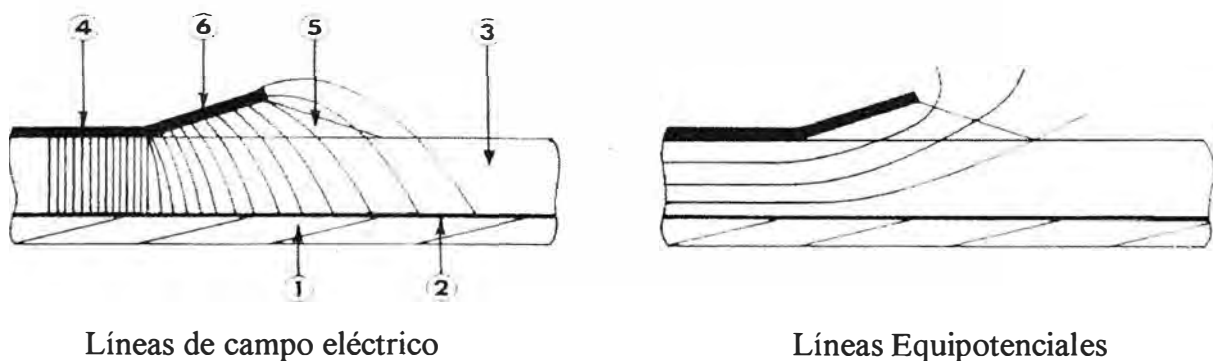


Fig. 2.21 Concentración de líneas de campo eléctrico en el extremo de cable descubierto

2.4.5 Alivio del stress en las terminaciones de cables de uso minero

a) Cono de alivio



Líneas de campo eléctrico

Líneas Equipotenciales

Fig. 2.22 Cono de alivio en terminaciones de cable

1. Conductor
2. Blindaje del conductor
3. Aislamiento
4. Blindaje del aislamiento
5. Cono de aislamiento
6. Prolongación del blindaje del aislamiento

i. Típica terminación de cable blindado con cono de alivio

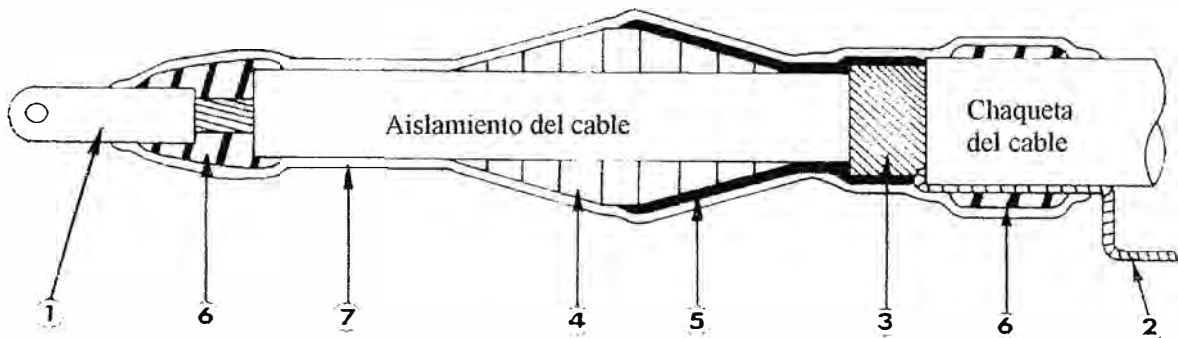


Fig. 2.23 Típica terminación de cable blindado con cono de alivio

1. Terminal
2. Cable de tierra
3. Blindaje del aislamiento
4. Cono de aislamiento
5. Blindaje del aislamiento
6. Aislamiento de silicona
7. Manga contraíble en frío de silicona o cinta de caucho siliconado

ii. Típica terminación de cable blindado con cono de alivio moldeado

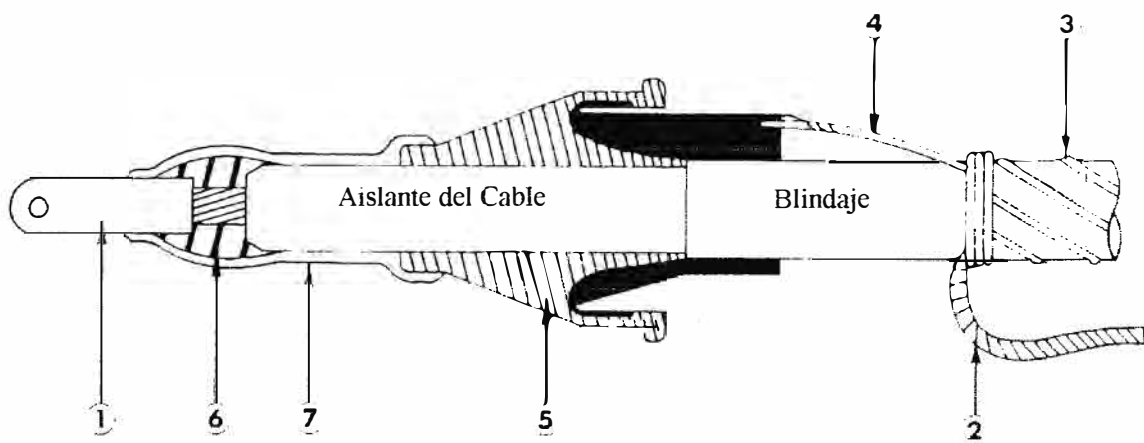


Fig. 2.24 Típica terminación de cable blindado con cono de alivio moldeado

1. Terminal
2. Cable de tierra
3. Cable de neutro concéntrico
4. Conexión de tierra
5. Cono de alivio moldeado
6. Aislamiento de silicona
7. Cinta de EPR

b) Material de control del gradiente de voltaje

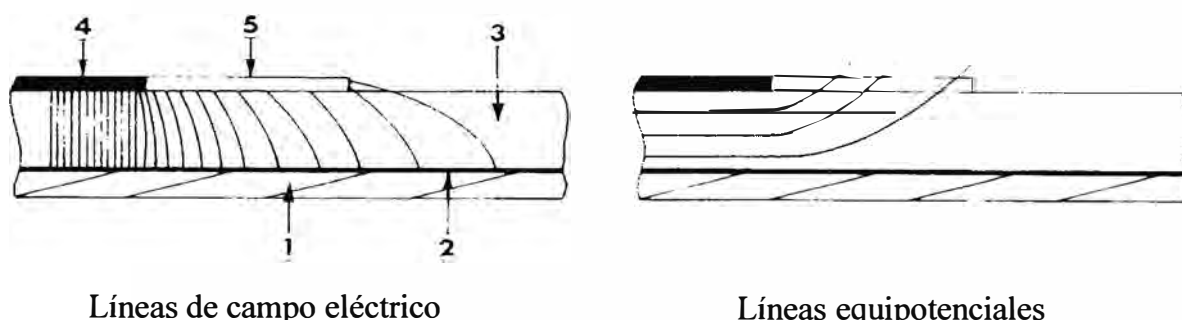


Fig. 2.25 Terminal con material de control de gradiente de voltaje

1. Conductor
2. Blindaje del conductor
3. Aislamiento
4. Blindaje del aislamiento
5. Material para control de gradiente de voltaje (alta constante dieléctrica $\cong 30$)

2.5 Pruebas de terminaciones de cables de uso minero en media tensión

El estándar IEEE 48-1990 cubre las pruebas en terminaciones de cables apantallados con aislamiento laminado o extruido desde 2.5 kV. hasta 500 kV., excepto el aislamiento de conectores separados.

Luego el conector aéreo al ser un componente que da la continuidad de los alimentadores (cable minero) se recomienda ser probados con el estándar IEEE 48-1990 de donde se rescata los siguientes valores los cuales son presentados por los distintos fabricantes de conectores aéreos para uso con cable minero principalmente.

2.5.1 Condiciones estándar de pruebas

a) Condiciones atmosféricas estándares de prueba

Tabla N° 2.1 Condiciones atmosféricas estándares de prueba

Temperatura del aire	20°C	20°C	68°F
Presión Barométrica	101.3 kPa.	760 mmHg.	29.92 inHg.
Humedad	11 g./m. ³	11 g./m. ³	6.867x10 ⁻⁴ lb./ft. ³

b) Prueba de tensión aplicada a frecuencia industrial AC y tensión continua DC

El voltaje inicial no debe de ser más del 20% del voltaje de prueba. La tensión debe de crecer rápidamente hasta el 75% del valor de prueba. Luego el incremento de voltaje se dará entre 15 sg. a 30 sg. hasta alcanzar el valor de prueba .

c) Duración del la tensión aplicada a frecuencia industrial AC y tensión continua DC

El voltaje de prueba requerido será mantenido por el tiempo especificado en la tabla 2.2 según recomendación del estándar IEEE 48-1990.

Tabla N° 2.2 Recomendación del estándar IEEE 48-1990

Clase de aislamiento	5.0 KV. rms	8.7 KV. rms	15 KV. rms
Tensión alterna sostenida en Seco 1 min	25.0 KV. rms	35.0 KV. rms	50.0 KV. rms
Tensión alterna sostenida, en Seco 6 hr.	15.0 KV. rms	25.0 KV. rms	35.0 KV. rms
Tensión alterna sostenida, en Húmedo, 10 seg.	25.0 KV. rms	30.0 KV. rms	45.0 KV. rms
Tensión directa sostenida, 15 min	50.0 KV. avg.	65.0 KV. avg.	75.0 KV. avg.
Tensión de impulso	75.0 KV. crest	95.0 KV. crest	110.0 KV. crest
Tensión de prueba de descarga Parcial (< 3 pC.)	4.5 KV. rms	7.5 KV. rms	13.0 KV. rms

d) Equipos de prueba y medición de voltaje

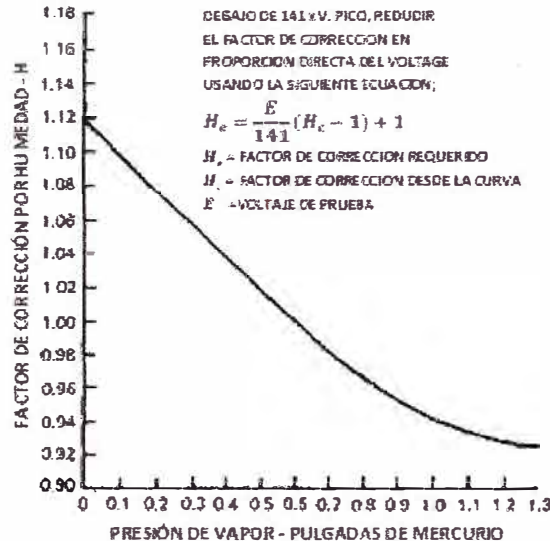
La característica de los equipos de prueba y el método de medición de voltaje será en conformidad al estándar IEEE 4-1978

2.5.2 Factores de corrección

a) las correcciones se dan por variaciones en la densidad relativa del aire D y por la variación de humedad H, serán hechos cuando hay variaciones de las condiciones estándar dadas en 2.5.1 a), los factores de corrección deben ser aplicados solo para las siguientes pruebas:

- i. **Tensión alterna sostenida, en Húmedo, 10 seg.**, El voltaje de prueba aplicado será el especificado multiplicado por D el cual es determinado según 2.5.2 b).
- ii. **Tensión de impulso**, El voltaje de prueba aplicado debe ser el especificado multiplicado por D/H los cuales son determinados según 2.5.2 b) y c) respectivamente.
- iii. **Tensión de impulso en húmedo**, El voltaje de prueba aplicado será el especificado multiplicado por D el cual es determinado según 2.5.2 c).

b) La temperatura del aire en el momento de prueba debe de estar entre 10°C y 40°C (50°F y 104°F)



Factor de Corrección por Humedad
 $1.2 \times 50 \mu s$ impulso

Fig. 2.26 Factor de corrección por humedad

- c) La densidad relativa del aire D en el momento de prueba debe de ser de preferencia entre 0.95 y 1.05 y debe de ser determinada como:

$$D = A \frac{P}{t_0 \pm t}$$

Donde

D = densidad relativa del aire

$A = 2.89$ para P en kilopascales

$A = 0.386$ para P en milímetros de mercurio

$t_0 = 373$ para t en grados centígrados

$A = 17.61$ para P en pulgadas de mercurio

$t_0 = 459$ para t en grados Fahrenheit

- d) El factor de corrección de humedad H por variación de la humedad está dada por la fig. 2.26, la presión de vapor en el momento de la prueba debe de estar de preferencia entre 0.3 pulg Hg. y 0.6 pulg Hg. (7.6 mmHg. y 15.2 mmHg.) (1000 Pa. y 2000 Pa.).

- e) Todos los datos usados en determinar algún factor de corrección debe de ser registrado.

2.6 Configuración del cable de uso minero en media tensión

2.6.1 Cable tipo SHD-GC 3/C (5/8/15 kV.)

Cable de energía reforzado portátil de alta tensión para uso en circuitos que no excedan el voltaje nominal. Estos cables se utilizan para equipo móvil pesado, tal como cables de arrastre, palas, rastras, taladros y para los alimentadores de energía. La temperatura continua máxima recomendada del conductor es 90°C .

Conductores

Cobre estañado flexible

Conductor de verificación de tierra²

Cobre estañado flexible con aislamiento amarillo de polipropileno

Alambres de puesta a tierra

Cobre estañado flexible

Aislamiento

Caucho de etileno-propileno (EPR) de 90°C

Blindaje de aislamiento

Cinta semiconductor

Cubierta³

Cubierta reforzada de polietileno clorado (CPE), de endurecimiento térmico y curada en molde. Cables identificados con marcadores permanentes.

Blindaje de filamentos

Capa semiconductor

Blindaje de aislamiento

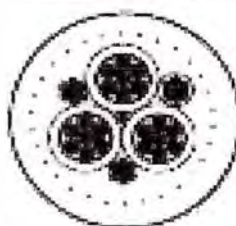
Cobre estañado y trenza de nylon con codificación de colores

Armado

Núcleo encintado

**Las cubiertas.**

También disponible con cubierta de poliuretano termoplástico (TPU) extra resistente para ambientes extremadamente corrosivos. Vea la página 24.



Sección transversal

Fig. 2.27 Cable tipo SHD-GC trifásico**2.6.2 Cable tipo MP-GC 3/C (5/8/15 kV.)**

Las conexiones entre las unidades de los sistemas de distribución de la mina que no excedan el voltaje clasificado cuando está instalado en conducto, tubo-conducto o aire abierto y para enterrarlo directamente en lugares húmedos y secos. La temperatura continua máxima recomendada del conductor es 90°C.

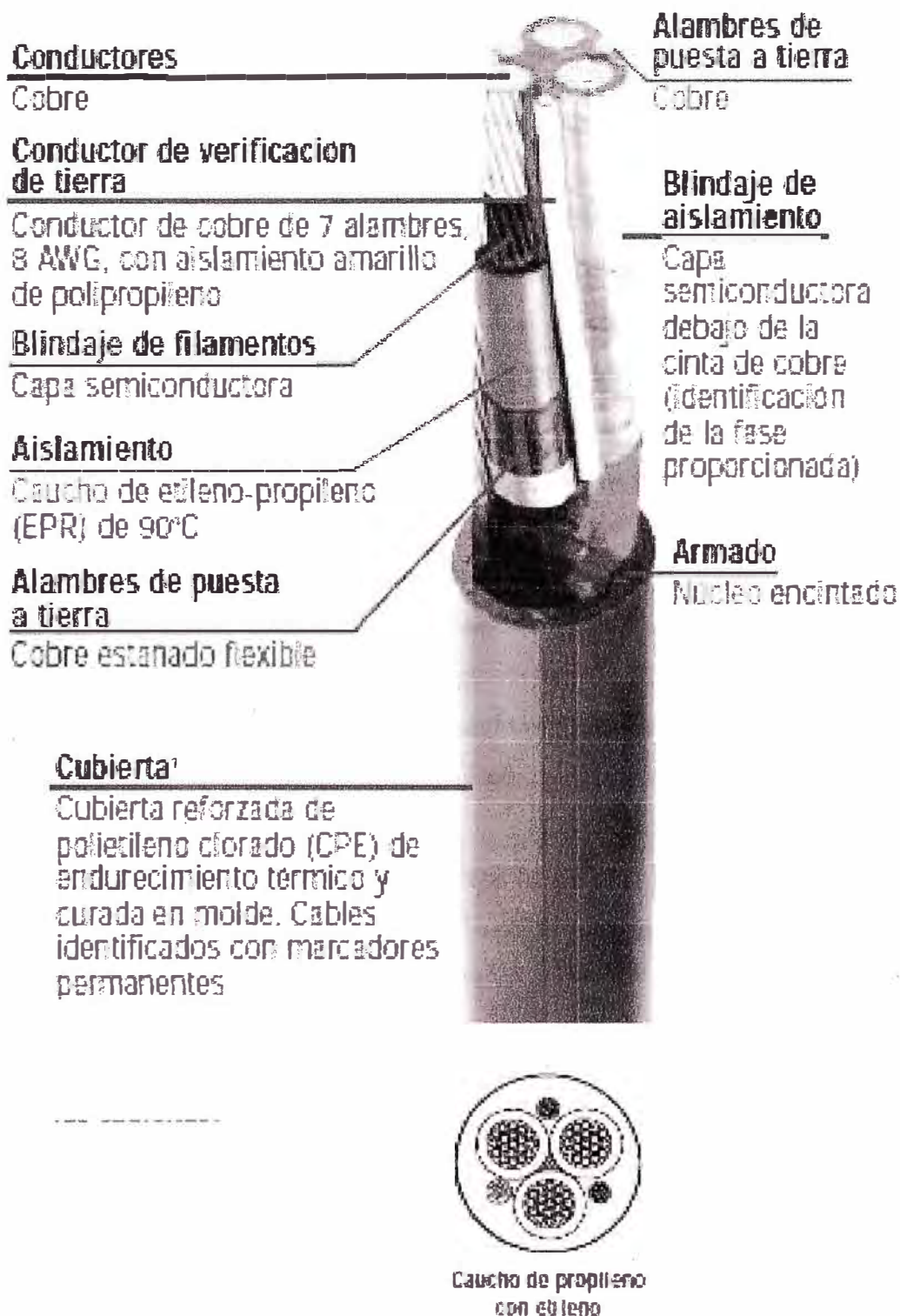


Fig. 2.28 Cable tipo MP-GC trifásico

2.7 Aislamientos usados en conectores aéreos para uso en cables mineros

Los fabricantes de conectores aéreos para uso en cables mineros de media tensión usan principalmente dos tipos de aislamiento:

- a) EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM)
- b) Teflón

En el país es posible el uso de ambos aislamientos, el caso EPDM se usa en la fabricación de aislantes en baja tensión normalmente, pero el tratamiento que se da para fabricaciones de aislamientos en media tensión no dan los resultados adecuados porque el material tiende a contaminarse y la coloración que normalmente se le practica reduce aún más la característica dieléctrica. Principalmente en los pigmentos se presentan partículas metálicas en pequeña cantidad luego actualmente no se cumple con exigencias del IEEE 48-1990 por consiguiente, no recomiendo su utilización hasta que se tenga la técnica local que mejora sus características. Por otro lado, el teflón presenta muy buenas características dieléctricas y mecánicas que es una alternativa vigente para su uso; la diferencia principal frente al EPDM, es la rigidez que presenta. El uso continuo hace que el teflón en los bordes tienda a quebrarse reduciendo el aislamiento por lo que es importante el mantenimiento para cambiarlo oportunamente.

En el mercado peruano hace algunos años ya se usa con bastante éxito el aislamiento de silicona con buenas características eléctricas y térmicas en aislamientos de alta tensión, dando adicionalmente flexibilidad. Luego el conector aéreo que se fabricó el presente año y que es materia de este informe fue realizado con aislamiento de caucho silicona con el cual se cumplieron las exigencias de aislamiento solicitadas por el IEEE 48-1990 que fueron posibles realizarse en el País.

2.7.1 EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM)

Material ampliamente usado como aislamiento en baja y media tensión principalmente. Los fabricantes los usan en aislamientos de terminaciones y conectores aéreos en media tensión.

2.7.2 Teflón

El politetrafluoretileno (PTFE) es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos flúor. La fórmula química del monómero, tetrafluoretileno, es $CF_2=CF_2$.

Bajo el nombre de Teflón, la multinacional DuPont comercializa este y otros cuatro polímeros de semejante estructura molecular y propiedades. Entre ellos están la resina PFA (Perfluoroalcóxido) y el copolímero FEP (Propileno Etileno Flurionado), llamados Teflón-PFA y Teflón-FEP respectivamente.

Los fabricantes de conectores aéreos aún lo usan para las clases de aislamiento de 15 y 25 kV.

Es ampliamente usado para aplicaciones de alta tensión.

2.7.3 Caucho silicona

La silicona, un polímero sintético, está compuesta por una combinación química de silicio-oxígeno. La misma es un derivado de la roca, cuarzo o arena. Gracias a su rígida estructura química se logran resultados técnicos y estéticos especiales imposibles de obtener con los productos tradicionales. Puede ser esterilizada por Oxido de Etileno, radiación y repetidos procesos de autoclave.

Las principales características de la silicona son:

- a) Resistente a temperaturas extremas (-60° a 250°C)
- b) Resistente a la intemperie, ozono, radiación y humedad
- c) Excelentes propiedades eléctricas como aislador
- d) Larga vida útil
- e) Gran resistencia a la deformación por compresión
- f) Apto para uso alimenticio y sanitario

Dada su composición química de Silicio-Oxígeno, la silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, no envejece, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso, no es contaminante y se pueden elegir diferentes y novedosos colores.

Las características principales del compuesto caucho silicona para alto voltaje y que actualmente es ampliamente usado en aisladores de alta tensión y pararrayos.

Tabla N° 2.3 Características EPDM

Método de prueba	Propiedad	Unidad	Valor
ASTM D792	Gravedad específica	grs./cm. ³	1.31
ASTM D2240	Dureza	Shore	A 70
ASTM D412	Resistencia a la tracción	MPa.	7
ASTM D412	Elongación a la rotura	%	300
ASTM D624 Die C	Resistencia al desgarro	kN./m.	20
	Resistividad	Ohm.cm.	2.0x10 ¹⁴
	Permitividad relativa a 50Hz		3.5
	Permitividad relativa a 1 MHz.		3.3
	Tangente de pérdidas a 1 MHz.		0.008
	Rigidez dieléctrica	kV./mm.	35

Tabla N° 2.4 Características del Teflón

Método de prueba	Propiedad	Unidad	Valor
	Color		Gray
ASTM D792	Peso específico	Grs./cm. ³	2.13 A 2.21
ASTM D2240	Dureza	Shore	50 A 55
ASTM D638	Resistencia a la tracción (def. 3% y a rotura)	Kg./cm. ²	70 – 210
ASTM D695	Resistencia a la compresión (def.3% y a 5%)	Kg./cm. ²	44-100
ASTM D257	Resistencia volumétrica	Ohm.cm.	1.0x10 ¹⁷
ASTM D257	Resistencia superficial	Ohms.	1.0x10 ¹⁸
ASTM D150	Constante dieléctrica a 60Hz.		2.1
ASTM D150	Constante dieléctrica a 1MHz.		2.1
ASTM D149	Rigidez dieléctrica en aire	kV./mm. (volts/mil)	59

Tabla N° 2.5 Características de caucho silicona

Método de prueba	Propiedad	Unidad	Valor
	Color		Gray
ASTM D792	Gravedad específica		1.56
ASTM D2240	Dureza	Shore	A 65
ASTM D412	Resistencia a la tracción	MPa. (psi)	4.2 (610)
ASTM D412	Elongación a la rotura	%	280
ASTM D624B	Resistencia al desgarro	kN./m. (ppi)	13 (75)
IEC 60093	Resistividad	Ohm.cm.	2.0x10 ¹⁴
IEC 60250	Constante dieléctrica a 100Hz		3.67
IEC 60250	Factor de disipación		0.017
IEC 60587	Seguimiento de erosión		1A4.5
ASTM 2303	Resistencia a la descarga	kV.	6.0
IEC 60243	Rigidez dieléctrica	kV./mm. (volts/mil)	17.3 (441)

2.7.4 Contaminación de aislamientos.

La contaminación ambiental, es uno de los factores que más pueden influir en la confiabilidad de las instalaciones eléctricas, cuando están ubicadas en zonas contaminadas,

la misma causa serios daños tanto a las partes metálicas como a las partes aislantes y equipos. Las fallas del aislamiento debido a la contaminación se deben al desarrollo de altos gradientes de tensión sobre la superficie de los aisladores a causa de la formación de las bandas secas y al establecimiento de descargas parciales eléctricas a través de ellas.

Para determinar los niveles de contaminación presentes en la zona se implementa el método de la densidad equivalente de sales depositadas (DESD).

a) Proceso de arqueo en aisladores contaminados

1. El aislador se recubre con una capa de contaminación rociada (fertilizantes, niebla, gases contaminantes, entre otros) por acción de fumigación aérea las cuales contienen sales y ácidos solubles. Por lo que si esta contaminación se deposita como liquido en la superficie del aislador la fase siguiente no es necesaria.
- ii. La superficie del aislador es humidificada por condensación, niebla, llovizna, o por acción del fertilizante rociado por las fumigaciones aéreas, por lo que la película contaminante se hace conductora. La lluvia fuerte puede lavar dicha película sin provocar la aparición de otras etapas del proceso de arqueo, o provocar este por cortocircuito entre aletas a través del agua.
- iii. La tensión aplicada hace circular una corriente por la película contaminante conductora, (corriente de fuga) cuyo efecto de calentamiento comienza a secar la parte humedecida en el aislador la cual posee la capa contaminante.
- iv. El secado no es uniforme, por lo que algunos lugares de la capa quedan “cortados” por bandas secas con interrupciones locales de la corriente y una disminución de la corriente de fuga.
- v. La distribución de tensión a través de las bandas secas, con unos pocos centímetros de ancho; genera gradientes que causan arcos produciendo impulsos de corriente.
- vi. Si la resistencia de las partes no secas es baja, los arcos pueden mantenerse continuamente y extenderse a lo largo del aislador hasta el completo arqueo del mismo.

Cuando se humedece la capa contaminante, disminuye la resistencia y la corriente de filtración que pasa a través de esta aumenta. Con este incremento la temperatura de la capa se eleva hasta alcanzar la temperatura de ebullición comenzando así la perdida de humedad.

b) Medición de la severidad a través del método de la densidad equivalente de sal depositada (DESD)

Es el depósito equivalente, (en mg.NaCl/cm^2 .) de la superficie de un aislador, que tiene una conductividad eléctrica igual a la del depósito real disuelto en la misma cantidad de agua y esta correlacionado directamente con la conductividad volumétrica “ σ ” de los depósitos una vez disueltos en agua. El DESD es el parámetro de severidad de varios de métodos de contaminación artificial y por lo tanto puede ser utilizado para evaluar el comportamiento del aislador en un lugar usando alguno de esos métodos.

La Norma IEC 60815 presenta la distancia mínima de fuga en función del nivel de contaminación.

Tabla N° 2.6 Distancia mínima de fuga en función del nivel de contaminación

Grupo	Nivel de contaminación	DESD (mg./cm^2 .)	Distancia mínima de fuga (mm./kV.)
I	Ligera	0.03 - 0.06	16
II	Media	0.1 - 0.2	20
III	Alta	0.3 – 0.6	25
IV	Muy Alta	> 0.8	31

Donde los valores de tensión son los máximos de voltaje del sistema fase - tierra

2.8 Uso de conectores aéreos en cables mineros

En las fig. 2.29 se presenta la aplicación típica de los conectores aéreos en la minería de tajo abierto luego resumimos cada una de las instalaciones.

2.8.1 Subestación (1)

Las subestaciones pueden ser fijas como portátiles, las llegadas normalmente son en alta tensión y las salidas para distribución son 2.4 kV., 4.16 kV. ó 7.2 kV. en algunos casos.

La gran minería hoy en día está usando 7.2 kV. como tensión de utilización de sus equipos; como palas y perforadoras luego aquí hay necesidad de uso de conectores para dicho nivel de tensión.

2.8.2 Tablero de distribución (splitter box) (3)

Son tableros normalmente de una entrada y 2 salidas el cual cuenta con señalización cuando está energizado, aquí tanto en la entrada como en la salida se usan conectores tipo mural para la recepción y distribución de la energía.

2.8.3 Conector aéreo (coupler) (4)

En tensiones de 5 y 8 kV., 15 y 25 kV.

2.8.4 Sala de interruptores (switch house) (5)

Es un tablero de uso exterior fijo o portátil (con ruedas o base tipo skid) el cual contiene en

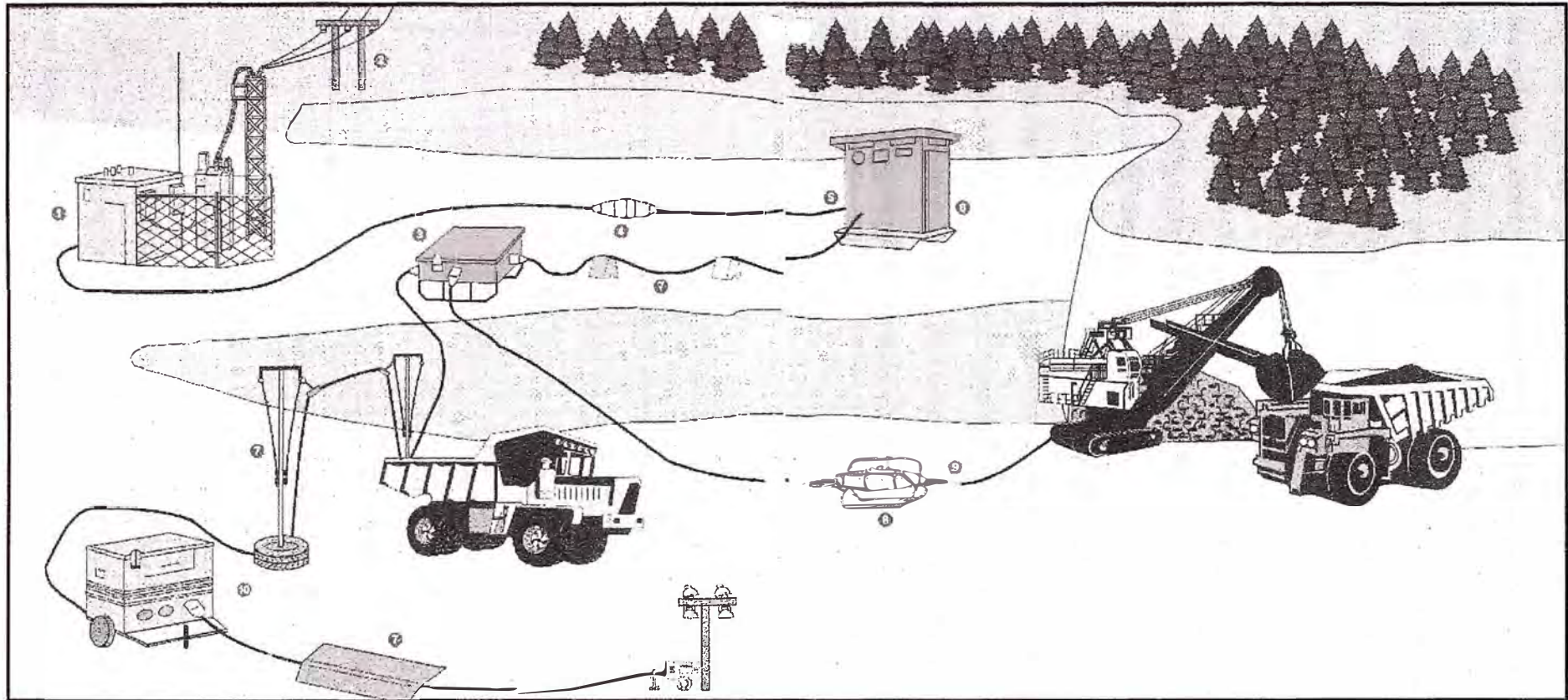


Fig. 2.29 Actividades principales en minas de tajo abierto

su interior los interruptores de distribución que además cuenta con protección por sobretensión atmosférica, sobrecarga instantánea y térmica además de la protección de falla a tierra con control del monitoreo a través de un cable piloto, de acuerdo a la configuración SHD-GC del cable minero y que por razones de seguridad por ningún motivo se podrá cerrar un interruptor mientras el cable piloto no esté correctamente instalado. El no cumplimiento de esta norma podría llegar a ser fatal.

2.8.5 Alimentación (2)

Son alimentadores que llegan con líneas aéreas desde las subestaciones principales en alta tensión. Estas subestaciones pueden ser fijas o portátiles

2.8.6 Relé de monitoreo de tierra y cable piloto (6)

Dicho relé es el encargado de verificar la continuidad del cable de tierra ya que si por algún motivo esta desconectado o no hay continuidad de tierra a lo largo del alimentador bloqueará al interruptor del Switch house impidiendo que se pueda energizar. Por otro lado también si las salidas del switch house no cuentan con los alimentadores éstos no pueden energizarse dado que no hay verificación del cable de tierra.

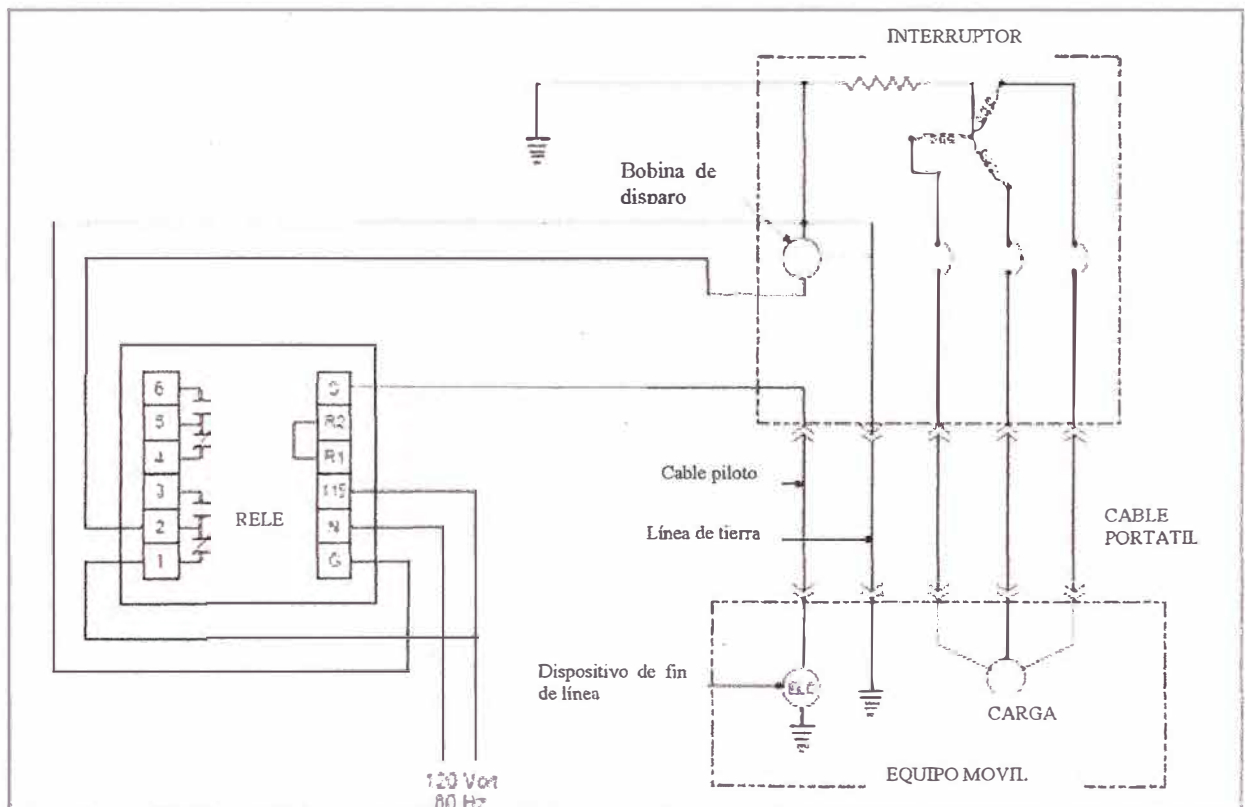


Fig. 2.30 Circuito de control de cable piloto.

En la Fig. 2.30, se observa que de presentarse discontinuidad en el cable portátil (trailing cable) ya sea en la tierra o el cable piloto entonces la corriente que ingresa al relé en el borne s será cero; luego el relé abrirá el contacto NC de los bornes 1 y 2 bloqueando el

interruptor. Aquí también se observa que si no hay cable portátil el interruptor no podrá ser energizado por ningún motivo.

2.8.7 Accesorios del cable portátil (7)

Presentan los accesorios que aseguran el cable en pórticos y pisos para proporcionar un entorno de trabajo más seguro, en la mayoría de aplicaciones es de fabricación casera por los usuarios (fig. 2.31)

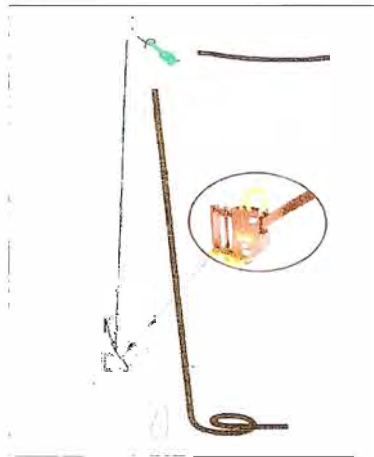


Fig. 2.31 Soportes para cables aéreos

2.8.8 Soporte para conector aéreo (Junction Box) (8)

Soporte fabricado en tubos de fierro con base del tipo skid para uso a intemperie sobre el cual es montado el conector aéreo portátil (fig. 2.32)



Fig. 2.32 Base skid para conector aéreo

2.8.9 Grampa sujetador del cable a soporte para conector aéreo (Strain relief clamp) (9)

Estas grampas son instaladas para el anclaje del cable al soporte del conector aéreo en ambos extremos para evitar que al tironearse el cable por algún motivo se desprenda del conector aéreo destruyendo el conector por corto circuito.

2.8.10 Tablero de distribución móvil (10)

Tablero que cuenta con transformación para brindar servicio auxiliar en baja tensión a la operación minera como es tomacorrientes e iluminación.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y PRUEBAS DEL CONECTOR

3.1 Software de apoyo.

Para la realización de las construcciones mecánicas se hace uso del programa Autodesk Inventor 2009. Este permite todo tipo de construcciones sólidos en tres dimensiones, las cuales se van ensamblando para dar forma al conector aéreo.

3.1.1 Descripción de un boceto (pieza)

La mayoría de las piezas se inician con un boceto. Un boceto consiste en el perfil de una operación y cualquier geometría (como un camino de barrido o un eje de rotación) necesarios para crear dicha operación.

Toda la geometría del boceto se crea y se edita en el entorno de boceto, mediante las herramientas de boceto de la barra del panel. Puede controlar la rejilla del boceto y utilizar las herramientas de boceto para dibujar líneas, círculos, elipses, arcos, rectángulos, polígonos o puntos. También puede empalmar esquinas, alargar o recortar curvas y desplazar o proyectar la geometría de otras operaciones.

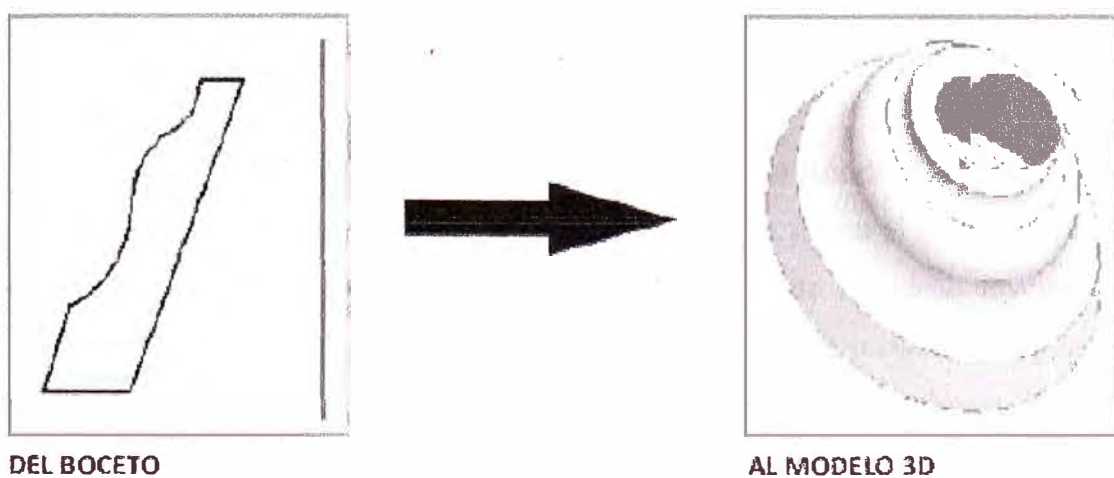


Fig. 3.1 Generación de modelo a partir de la rotación de boceto

Se crea un modelo 3D a partir de un boceto extrayendo el perfil o revolucionándolo alrededor de un eje. (fig. 3.1)

Otra forma de generar los bocetos es a partir de sólidos rectangulares del cual se retiran pedazos que darán forma a la pieza requerida cuya información será almacenada.

El modelo creado en Autodesk Inventor se asocia a sus bocetos subyacentes y a la información del boceto. Si cambia un boceto, el modelo se actualizará automáticamente.

Los bordes del boceto son creados por librerías y generación de líneas rectas y curvas.

3.1.2 Inserción de componentes en ensamblajes

En el entorno de ensamblaje, puede añadir piezas y ensamblajes existentes para crear ensamblajes o nuevas piezas y sub ensamblajes in situ. Un componente (una pieza o un sub ensamblaje) puede ser un boceto no consumido, una pieza, una superficie o una mezcla de ambos.

Se insertan los componentes en el mismo orden en el que ensamblarán en la fase de fabricación.

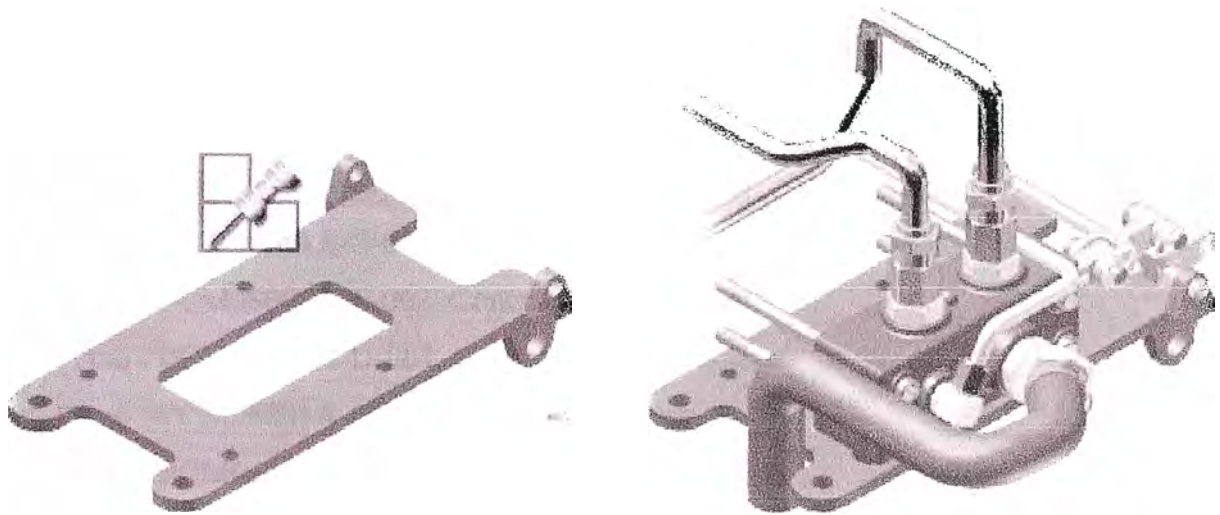


Fig. 3.2 Montaje de piezas en 3D sobre base inicial

3.1.3 Manejo de archivos.

Las piezas son generadas por archivos denominados “pieza de autodesk inventor” y tienen extensión ipt, luego dichas piezas son ensambladas para dar forma al producto parcial o final el cual genera un archivo denominado “Ensamblaje de autodesk inventor” con extensión iam., los ensamblajes son trasladados a planos para su presentación generando archivos denominado “AutoCAD Drawin” con extensión DWG o archivos “Dibujo de autodesk inventor” con extensión idw.

3.1.4 Dimensiones de sólidos generados

Los sólidos generados por defecto están dimensionados en mm. para todos los casos.

3.2 Dimensiones de los conectores aéreos de 5 kV.

Las dimensiones fueron tomadas de valores promedios de los principales fabricantes de conectores aéreos de procedencias USA y Canadá. Como son: Line power, Patton & Cooke Co., PLM, UEE Ltd. y Main Cable Service Corporation. De donde podemos rescatar principalmente dimensiones de la armadura que permitan conseguir pruebas del aislamiento que cumplan con las exigencias de 5 kV., según IEEE 48-1990. Este trabajo fue una recopilación de información de campo de varios años de trabajo del personal de la Empresa Proveedores Mineros S. A. C. ante la exigencia de las empresas mineras de poder contar con fabricación nacional de la alternativa y/o reparaciones de sus conectores aéreos para aplicación en minería de tajo abierto.

Cada una de los componentes del conector fueron desarrollados con el apoyo del software Autodesk Inventor 2009. (punto 3.2)

A continuación se indica la relación de planos principales del desarrollo del conector aéreo los cuales están incluidos en el anexo A, donde se indican dimensiones de los principales componentes y que además pueden ser reemplazados en el futuro dependiendo de las mejoras y/o aplicaciones que puedan ser solicitadas por los usuarios.

1. Plano PPCM08001A. Conector aéreo
2. Plano PPCM08001A-E-001. Conector aéreo hembra
3. Plano PPCM08001A-E-002. Conector aéreo macho
4. Plano PPCM08001A-D-001. Conector aéreo despiece
5. Plano PPCM08001A-001. Contactos de fuerza
6. Plano PPCM08001A-002. Contactos de línea de tierra
7. Plano PPCM08001A-003. Contacto de línea piloto
8. Plano PPCM08001A-004. Armadura aérea hembra-macho
9. Plano PPCM08001A-005. Brida hembra
10. Plano PPCM08001A-006. Brida macho
11. Plano PPCM08001A-007. Guarda posterior del fruto aéreo
12. Plano PPCM08001A-008. Tapa brida macho
13. Plano PPCM08001A-009. Tapa brida hembra
14. Plano PPCM08001A-010. Fruto hembra (aislamiento)
15. Plano PPCM08001A-011. Fruto macho (aislamiento)

3.3 Cálculo del campo eléctrico dentro de las bridas en el conector aéreo

De acuerdo a la fig. 3.3 se dan las distancias (radios del centro de un contacto principal hacia la pared interna de la brida macho) a las paredes del aislamiento y la pared interna de

la brida macho que es la más próxima a tierra desde el contacto de fuerza. Estas dimensiones sirven para aproximar el cálculo del campo eléctrico en los interiores (aire) a manera de confirmar que los gradientes de tensión, no excedan la rigidez dieléctrica del aire y definir el factor de seguridad. La simulación se realiza como si fuese cilindros coaxiales con aislante estratificado.

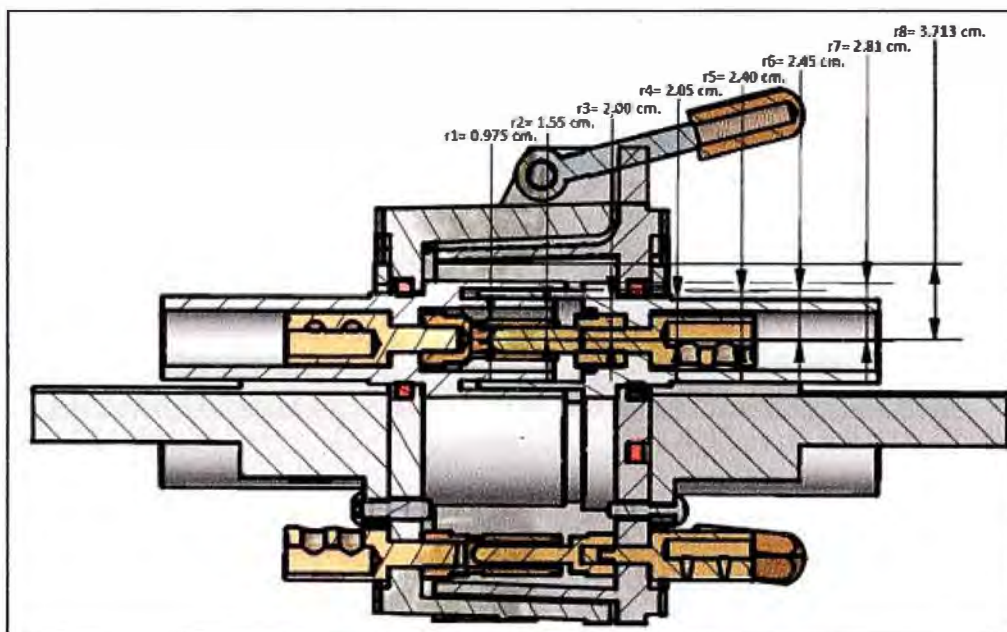


Fig. 3.3 Corte de conector con vista de separaciones

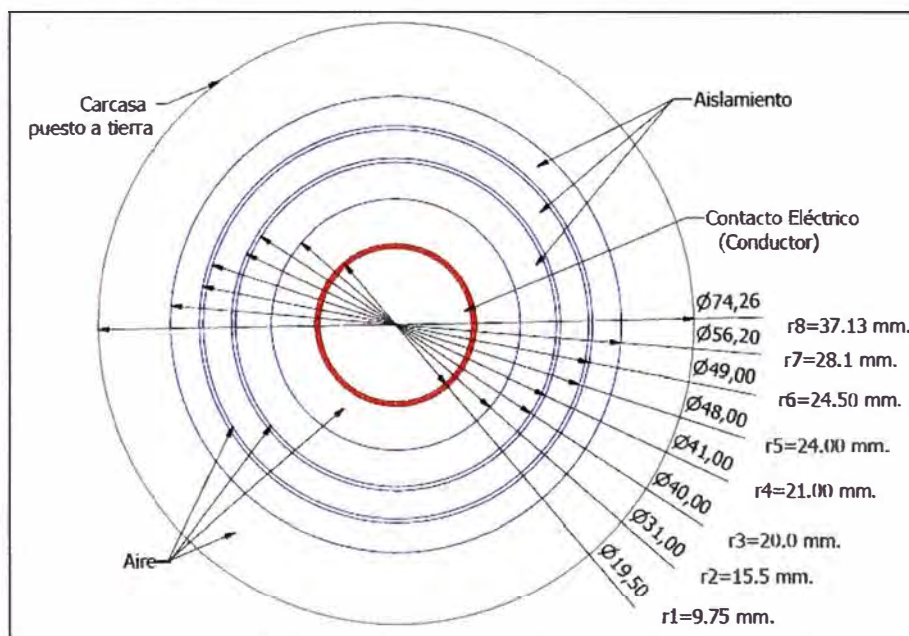


Fig. 3.4 Radios equivalentes a un cilindro coaxial con aislamientos intermedios

Haciendo uso de las formulas del punto 2.3 las cuales volvemos a copiar:

$$K = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{r_4}{r_3} \right] \quad (2.26)$$

$$U_n = \frac{\ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}{\varepsilon_n K} U \quad (2.28)$$

$$Ex_n = \frac{U}{\varepsilon_n x_n K} \quad (2.29)$$

$$Ux_n = U - (U_1 + U_2 + \dots + U_{n-1}) - \frac{U \ln \frac{x_n}{r_n}}{\varepsilon_n K}$$

Se presenta la tabla N° 3.1 con cálculos de Ex_n y Ux_n para la clase de aislamiento de 5 kV.; según la tabla 2 del estándar IEEE 48-1990 el máximo voltaje a tierra de diseño es 3.2 kV. (anexo B), el valor de Ex_n se halla para los valores de r_n en los límites de conductor, aislamiento y aire. Reemplazando los valores de ε ($\varepsilon_{\text{aire}} = 1.00059$, $\varepsilon_{\text{silicona}} = 3.67$ según tabla N° 2.5) y r_n en la fórmula de K (2.26) se tiene el valor de $K=0.937$, indicando que el valor de la tensión pico $Upico = 3.2\sqrt{2} = 4.53 \text{ kV}$.

Tabla N° 3.1 Cálculo Ex_n y Ux_n

n	r_n (cm.)	Aislamiento	ε	Ex_n (kV./cm.)	Ux_n (kv)
1	0.975	aire	1	4.95	4.53
2	1.55	aire	1	3.12	
2	1.55	silicona	3.67	0.85	2.29
3	2.00	silicona	3.67	0.66	
3	2.00	aire	1	2.42	1.95
4	2.05	aire	1	2.36	
4	2.05	silicona	3.67	0.64	1.83
5	2.40	silicona	3.67	0.55	
5	2.40	aire	1	2.01	1.63
6	2.45	aire	1	1.97	
6	2.45	silicona	3.67	0.54	1.53
7	2.81	silicona	3.67	0.47	
7	2.81	aire	1	1.72	1.35
8	3.713	aire	1	1.30	0

De donde se generan las curvas de la fig. 3.5 y fig. 3.6.

De ambos gráficos se puede verificar dos tendencias, la primera en líneas claras respecto al aire como aislamiento y la segunda con líneas oscuras con el compuesto de caucho silicona como aislamiento.

Los gradientes de voltaje indican que para el valor máximo de la clase de aislamiento de 5 kV., en el interior del conector aéreo no se presentarán gradientes que originen descargas en operación es decir $Ex_n < 30.0 \text{ kV/cm}$. Y el factor de seguridad mínimo $S = 6.06$.

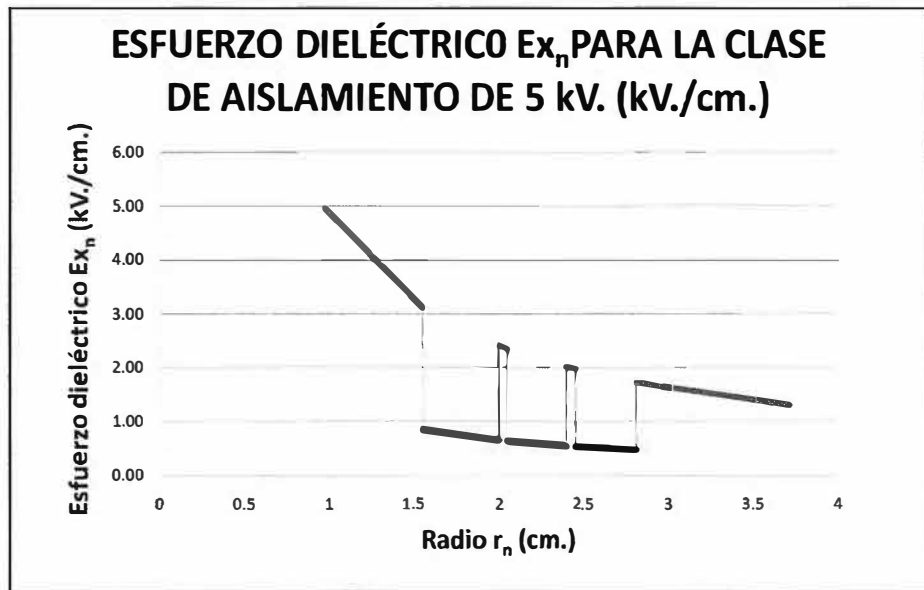


Fig. 3.5 Curva de esfuerzo dieléctrico del aislamiento

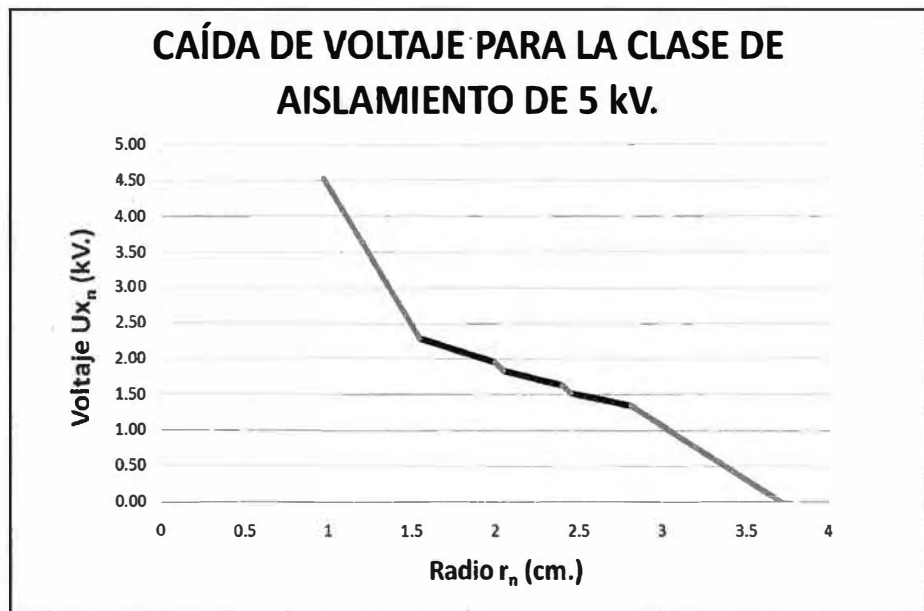


Fig. 3.6 Caída de voltaje en el aislamiento

3.4 Cálculo de la longitud de fuga del aislamiento en el interior del conector aéreo.

Según las dimensiones del contacto (hembra-macho) los aislamientos y la pared más cercana conectada a tierra (fig. 3.7), se encuentran las distancias d_1 (distancia desde la superficie del contacto hembra hacia la pared del aislamiento del conector hembra), d_2 (longitud del espacio de separación entre el labio interior del conector hembra con el aislamiento del conector macho), d_3 (ancho de abertura entre el labio interior y exterior del conector hembra), d_4 (longitud del espacio de separación entre el labio exterior del conector hembra con el aislamiento del conector macho) y d_5 (menor distancia del aislamiento a la pared de la brida del conector) igual a:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 109.32 \text{ mm.}$$

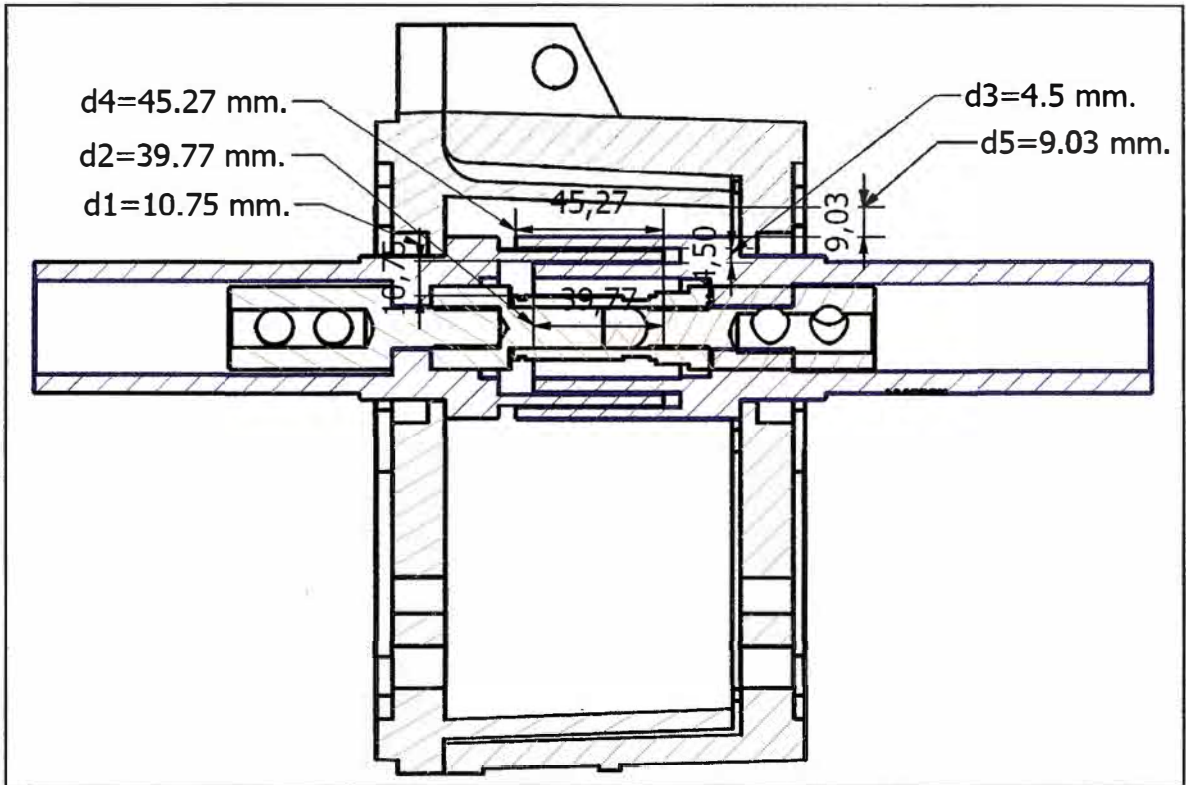


Fig. 3.7 Corte de conector para el cálculo de longitud de fuga mínima del aislamiento

Según la tabla N° 6, (Norma IEC 60815) se presenta la distancia mínima de fuga en función del nivel de contaminación para aisladores de uso exterior en líneas aéreas. Podríamos usar como referencia la opción de muy ligera toda vez que los conectores permanecen siempre cubiertos o acoplados en forma hermética y a prueba de inmersión en agua. Cuando están fuera de servicio cuentan con tapas tanto el conector hembra como el macho y cuando están en operación el acople es hermético. También se puede indicar que el mantenimiento de los conectores aéreos se realiza con mucha mayor frecuencia que en una línea aérea.

Considerando el nivel de contaminación como ligera se tiene una distancia mínima de fuga de 16 mm./kV_{L-L} . a partir de esto se hace la tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.2 Longitud de fuga calculada del aislamiento según IEC 60815

Clase de aislamiento (kV.)	Distancia mínima de fuga (mm.)
5.0	88.68
8.7	152.42
15.0	263.27

De los resultados y el tipo de aplicación de los aislamientos, referencialmente podríamos asegurar que la distancia mínima que presenta el conector no tendrá inconvenientes para poder trabajar con la clase de aislamiento de 5 kV.

3.5 Capacidad de conducción.

Los contactos principales y de tierra tienen como diámetro 12.70 mm. Luego la sección es 126,61 mm.² el área de contacto es con bastante aproximación 1,163 mm.², aprox. 9 veces el área de conducción. Luego el conector está diseñado para conducir como máximo 400 amperios nominales. Con lo que se tendría una densidad máxima de 3.16 amp./mm.²

3.6 Pruebas de laboratorio practicados al conector aéreo en la FIEE de la Universidad Nacional de Ingeniería. (en el anexo D se adjunta informe N° LABUNI-150/2009)

Como resultado de las pruebas se indican

Muestra 1 conector hembra, modelo PCH08001A

Muestra 2 conector macho, modelo PCM08001A



Fig. 3.8 Conector Aéreo PC08001A. Desarrollo y Producto terminado



Fig. 3.9 Pruebas iniciales de laboratorio

3.6.1 Prueba de aislamiento con megómetro

Se consiguieron los siguientes resultados

Tabla N° 3.3 Prueba de aislamiento entre fases

Muestra	Fases R-S (MΩ)	Fases S-T (MΩ)	Fases T-R (MΩ)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa %
1	28,800	26,600	26,800	20	65
2	27,500	26,700	25,750	20	65

Tabla N° 3.4 Prueba de aislamiento entre fase y tierra

Muestra	Fases R-Tierra (MΩ)	Fases S-Tierra (MΩ)	Fases T-Tierra (MΩ)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa %
1	14,300	14,000	14,300	20	65
2	13,200	14,100	14,200	20	65

3.6.2 Prueba de tensión aplicada

Se realizaron las pruebas de tensión aplicada en AC y DC respectivamente. La prueba se realizó tal como se indica en la fig. 3.10 donde se retiró la armadura del conector hembra.

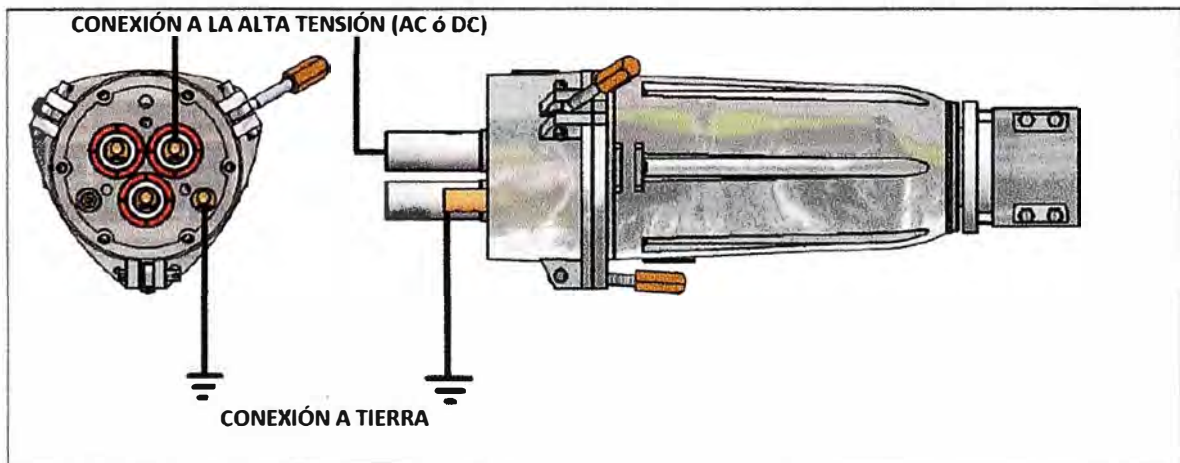


Fig. 3.10 Esquema para pruebas de tensión aplicada

a) Prueba de tensión aplicada en AC.

Se aplicó las tensiones de la tabla N° 3.5, según recomendación del estándar IEEE 48-1990. (Tabla N° 2, anexo B) Para las clases de aislamiento 5 y 8.7 kV., por un tiempo de un minuto de sostenimiento.

El equipo de prueba fue una fuente de 100 kV., 60 Hz., FERRANTI.

b) Prueba de tensión aplicada en DC

Se aplicó las tensiones de la tabla N° 3.5, según recomendación del estándar IEEE

48-1990. (Tabla N° 2, anexo B) Para las clases de aislamiento 5 y 8.7 kV., por un tiempo de un (1) minuto de sostenimiento. (No fue posible la aplicación de 15 minutos por limitaciones en el equipo de prueba).

El equipo de prueba fue una fuente de 100 kV., DC FHENIX TECHNOLOGIES.

Tabla N° 3.5 Tensión aplicada según IEEE 48-1990

Clase de aislamiento	5.0 KV. rms	8.7 KV. rms
----------------------	-------------	-------------

Tensión alterna sostenida en 25.0 KV. rms 35.0 KV. rms

Seco 1 min.

Tensión directa sostenida, 50.0 KV. avg 65.0 KV. avg

15 min.

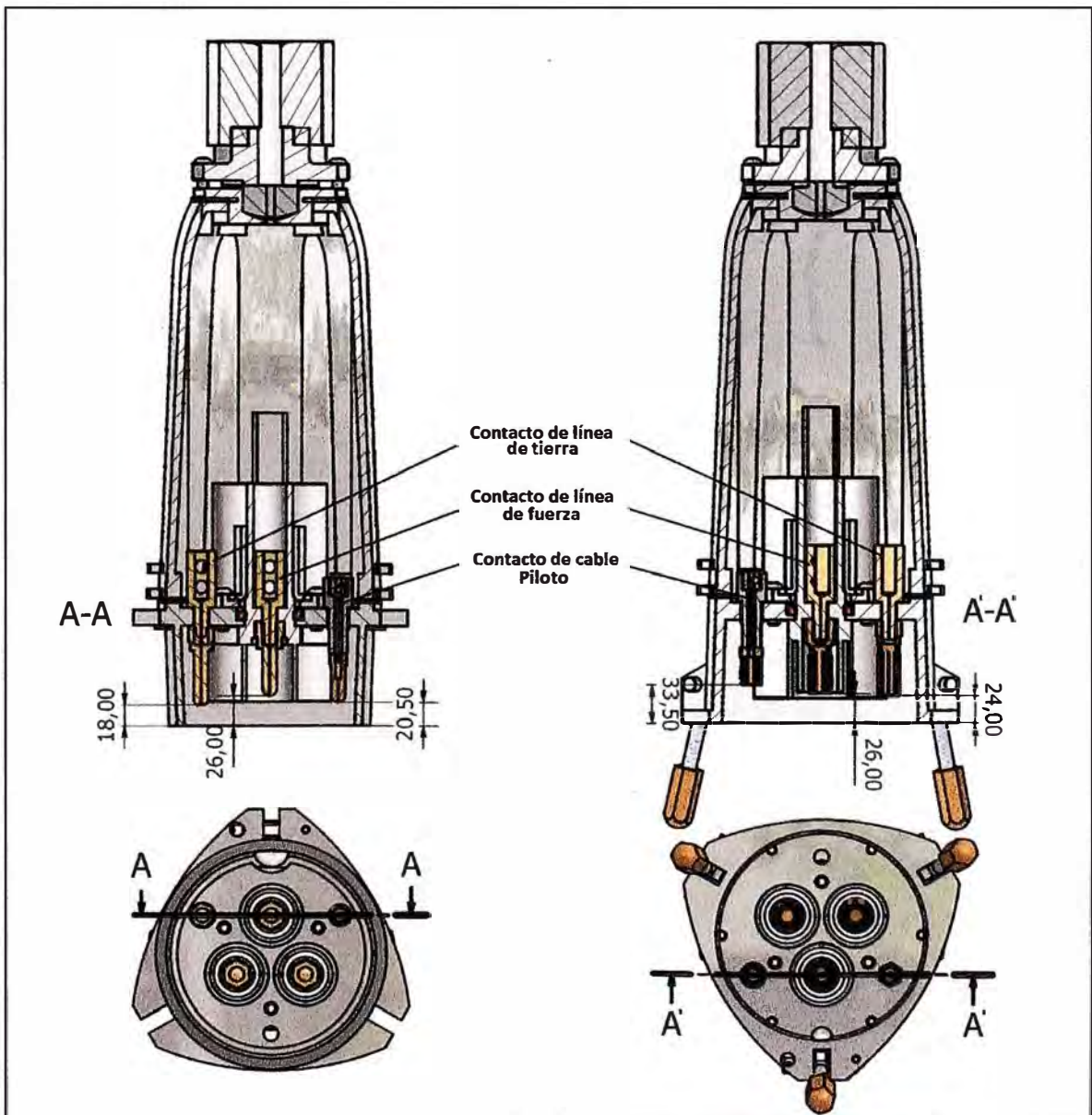


Fig. 3.11 Separación de contactos del conector aéreo

3.7 Separación de contactos y secuencia de conexión

En la fig. 3.11 se puede observar que la separación entre los contactos guardan un orden, el cual asegura que cuando el conector aéreo se conecta entonces; el primer contacto en cerrarse es el contacto de tierra, luego el contacto de fuerza y finalmente el contacto del cable piloto. Cuando se realiza la operación de desconexión del conector aéreo el primer contacto que se abre es el del cable piloto, el segundo es el de fuerza y finalmente el cable de tierra.

El contacto de tierra es el primero en cerrarse y el último en abrirse, el contacto de cable piloto es el último en cerrarse y es el primero en abrirse.

Esta configuración es para la correcta operación del relé de monitoreo del cable de tierra mediante cable piloto, que asegurará la correcta operación del conector por temas de seguridad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Diseño y dimensiones

El diseño y el dimensionado del conector aéreo Power Conector fueron realizados en un 100%, por Proveedores Mineros SAC. Y que actualmente sigue invirtiendo en desarrollos de conectores de 15 kV. y 25kV., el siguiente paso como empresa es la homologación del producto bajo el estándar IEEE 48-2009.

4.2 Problemas encontrados en el desarrollo del aislamiento

Inicialmente se uso el EPDM con pigmentación lo que produjo perforación del aislamiento al aplicarle las pruebas de tensión aplicada en AC y DC para la clase de aislamiento de 5 kV., luego del cual se trabajó en la mejora del EPDM, no logrando resultados favorables debido a que el problema principal es que dicho aislamiento no está correctamente usado por empresas que realizan el vulcanizado o inyectado del mismo, se pasaron varios meses haciendo pruebas sin mejorar resultados.

Luego tomando como partida el éxito de la silicona en los aisladores de alta tensión se hicieron pruebas con el material usado por la empresa nacional Silicon Technology SAC quienes vienen fabricando los aisladores y otros aislamientos con el compuesto Caucho – silicona (hoja técnica en el anexo C).

4.3 Partes y piezas del conector aéreo Power Conector PCM08001A

La totalidad de piezas es de fabricación local y un ensamble partiendo de cero no demora más de 1 semana. Tomado en cuenta que las partes en aluminio se hacen en fundiciones locales y el acabado en la planta de Proveedores Mineros al igual que todas las demás piezas a excepción del fruto aislante que se fabrica en la empresa Silicon Technology SAC.

4.4 Resultados de las pruebas realizadas

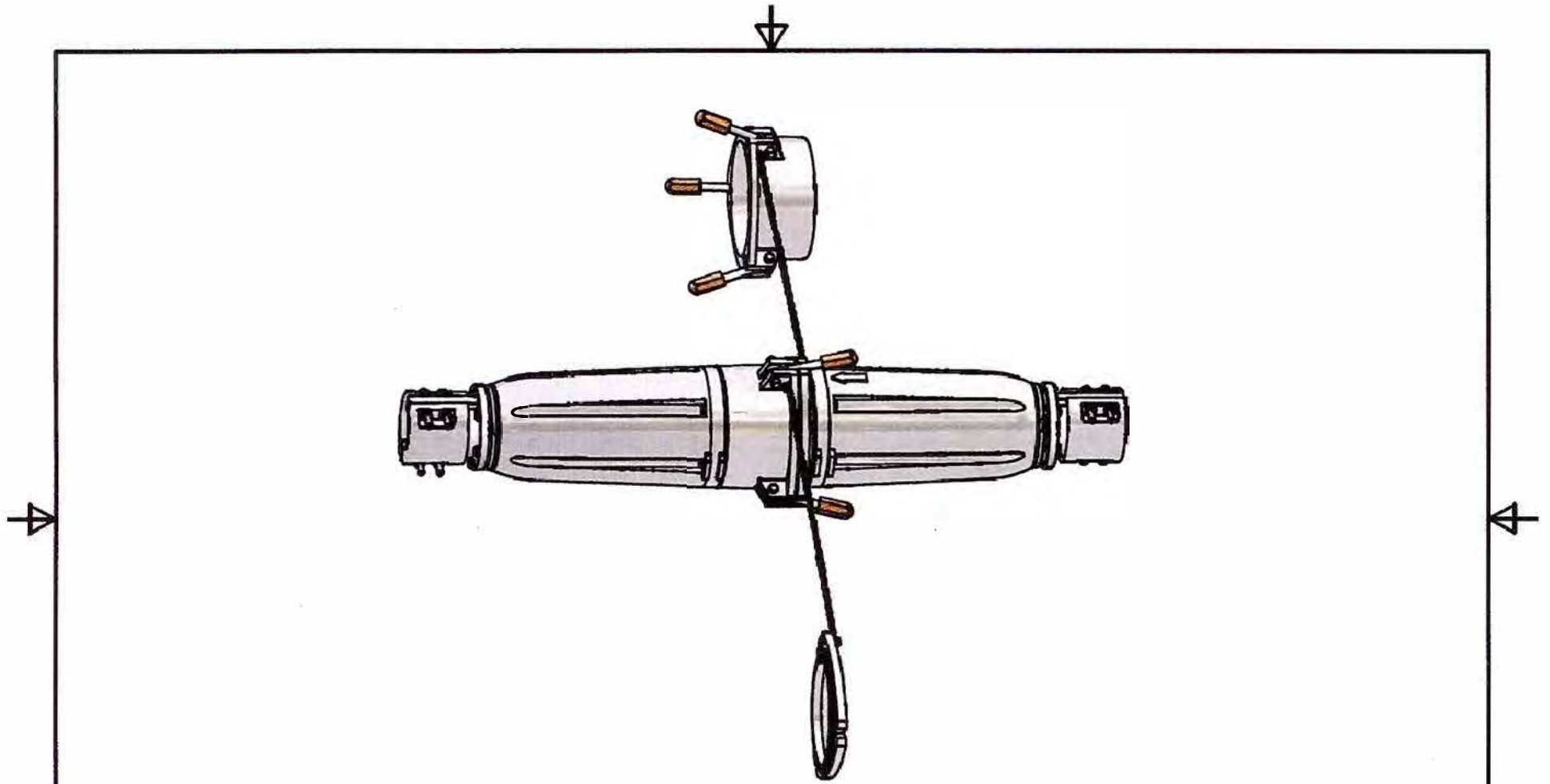
Las pruebas principales realizadas en la FIEE de la Universidad Nacional de Ingeniería nos dan la seguridad para su uso en el mercado nacional, tal como se viene realizando desde el año 2009, a la fecha se viene usando en empresas como Sociedad Minera Cerro Verde S. A. A.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los alcances del siguiente proyecto están sujetos a variaciones en el desarrollo del aislamiento ya que es posible en el futuro retomar el tema del uso del EPDM para lo cual se están haciendo las coordinaciones necesarias con los fabricantes del producto. Con lo que se espera mejorar aún el tema de costos además de mejorar las fabricaciones de conectores en baja tensión.
2. Los fabricantes existentes en el mundo poseen características propias no compatibles entre ellas. La fabricación del conector demanda inversión considerable por lo que si se requiere reparar o reemplazar componentes de otros fabricantes, sus costos no serán competitivos.
3. Mediante visitas continuas a las instalaciones donde están trabajando los conectores ya comercializados se hace un seguimiento de la correcta operación.
4. El presente desarrollo será considerado como producto final por el fabricante una vez sea sometido a prueba por una institución internacional como el IEEE. Esto sucederá cuando se terminen con las pruebas previas de cumplimiento para la clase de aislamiento de 8.7 kV.
5. El aislamiento para 5 kV. no considera el uso de compuestos siliconados para uso como relleno toda vez que no es necesario, por lo que no se hace mención del producto, estos compuestos son usados por todos los fabricantes cuando se aplican en las clases de aislamiento de 8.7 y 15 kV.
6. Finalmente el presente conector cumple con las exigencias mínimas para la clase de aislamiento 5 kV. según ANSI a cualquier altitud de trabajo dentro del territorio nacional toda vez que nuestra geografía es única en este aspecto. Con lo que se logra cumplir el objetivo del tema del presente informe de suficiencia.

ANEXOS

ANEXO A: Planos del conector aéreo PCM08001A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

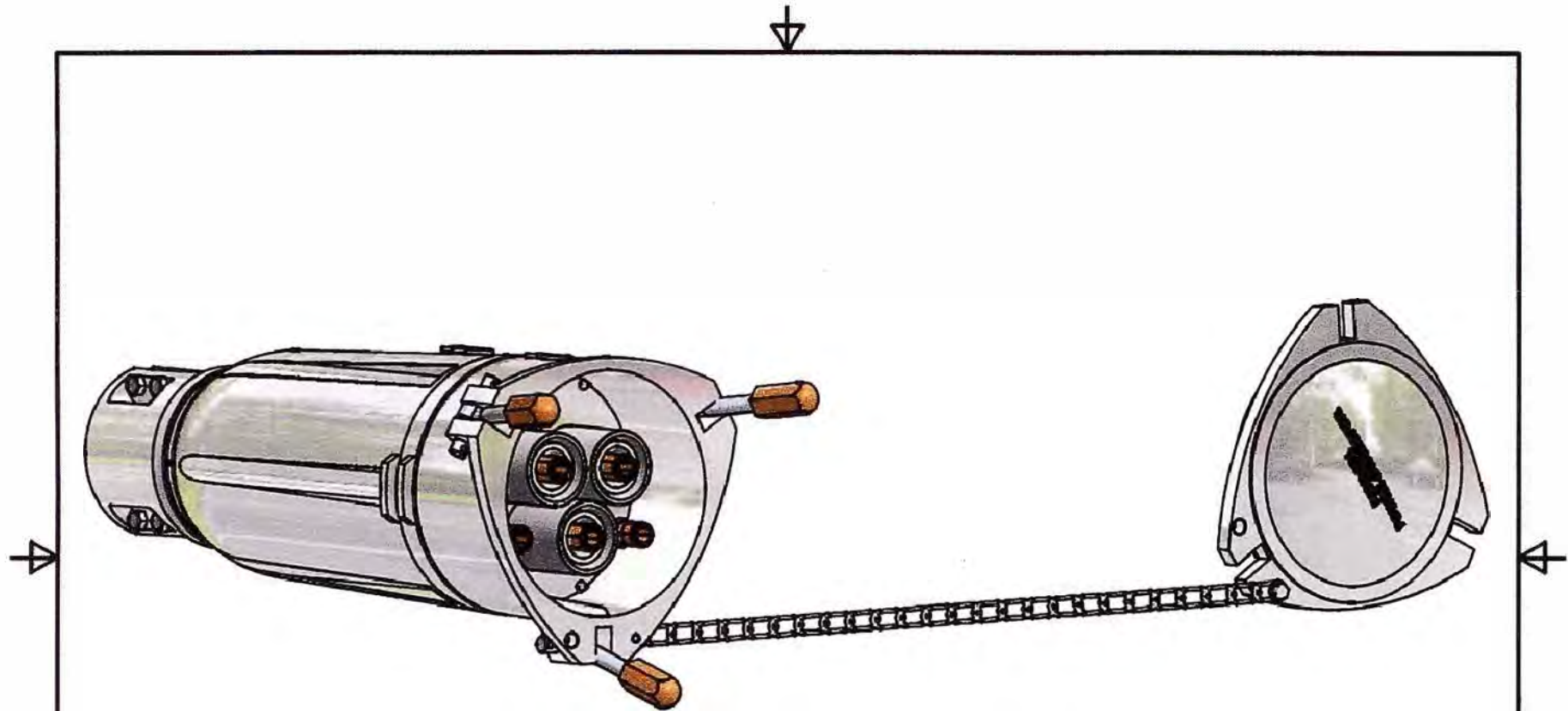
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORT. 5KV."

Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing' J. Yanque	CONECTOR AEREO	PPCM08001A	MILÍMETROS	1/1





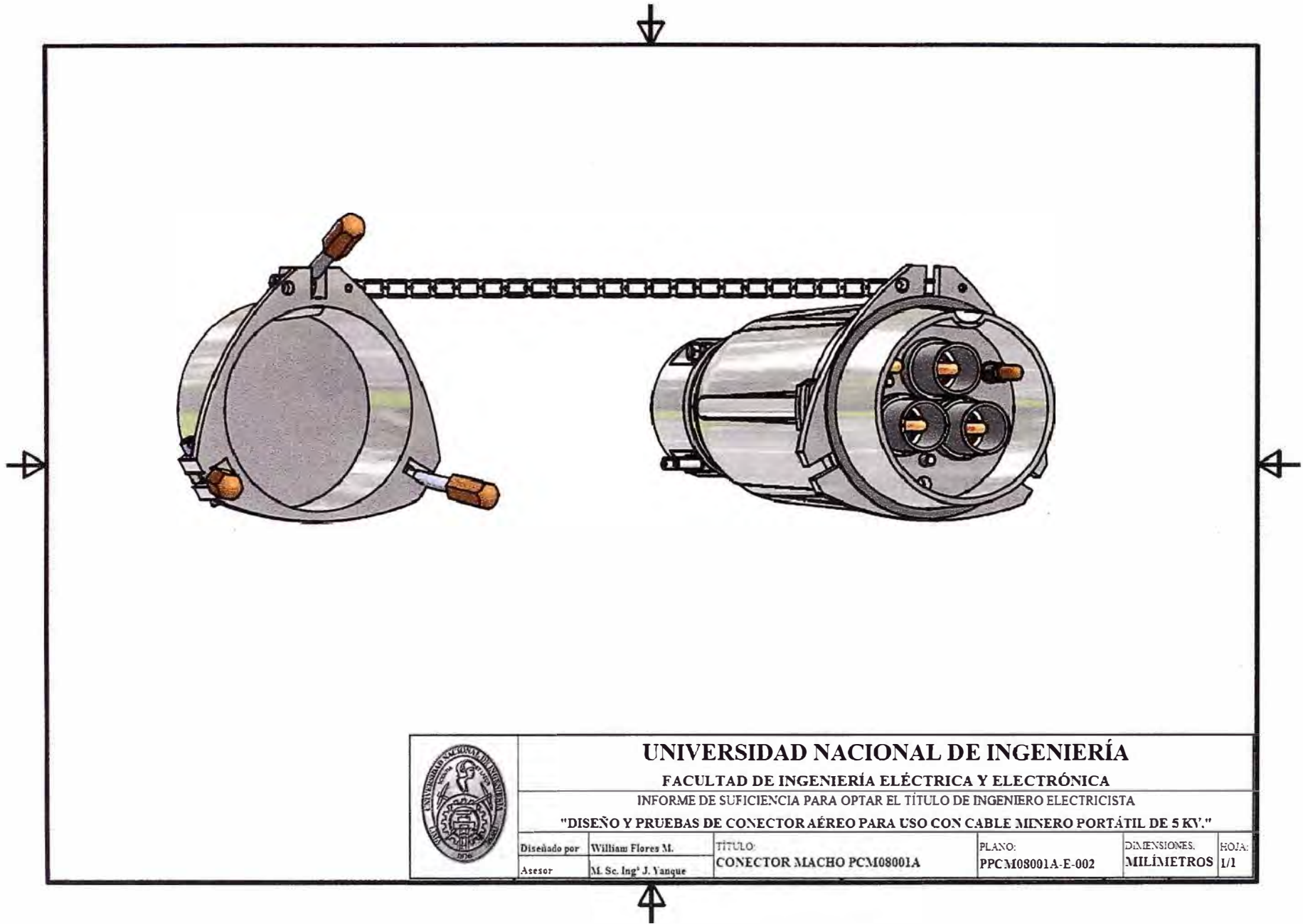
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA


FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

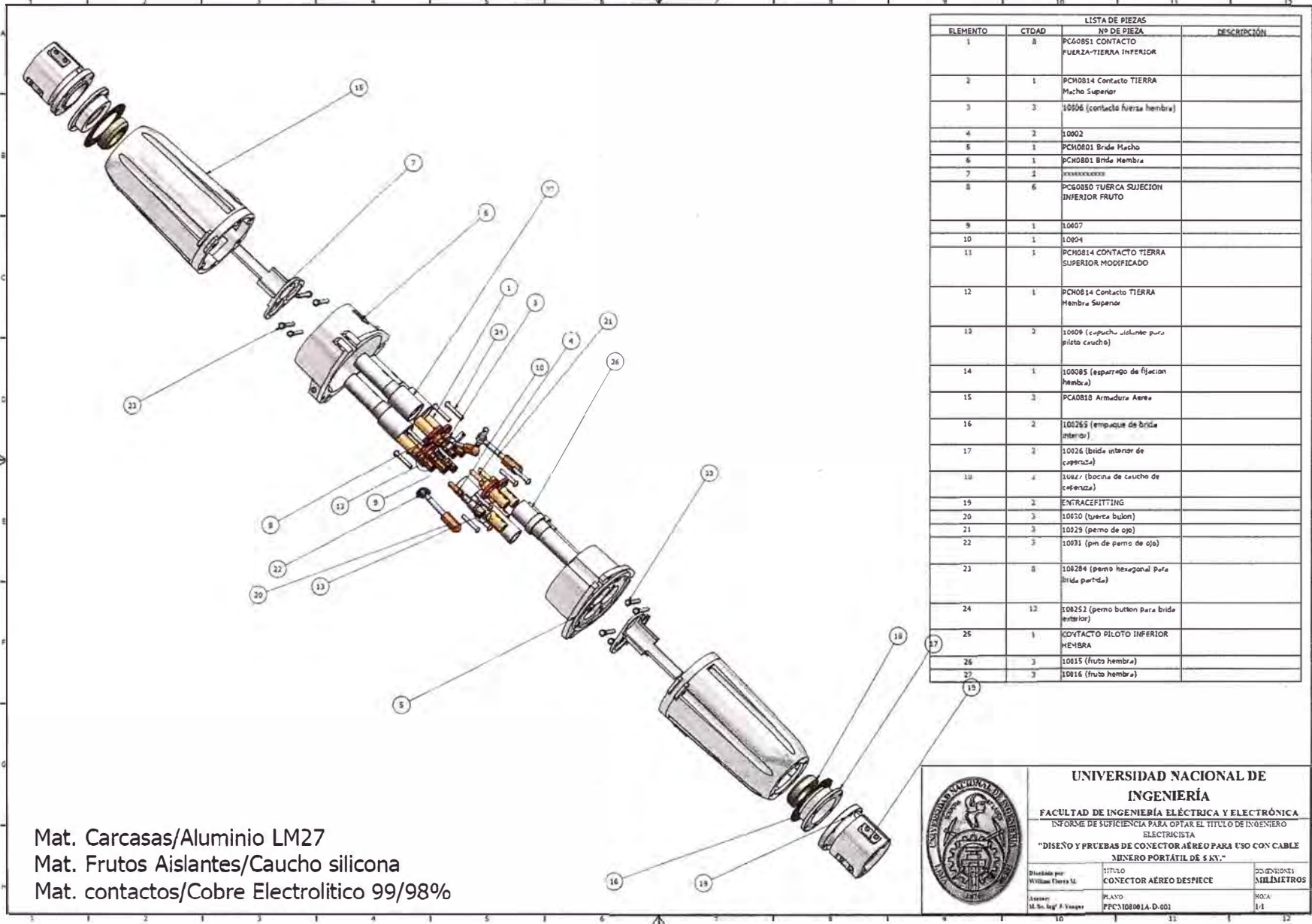
INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."

Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO:	CONECTOR HEMBRA PCH08001A	PLANO:	PPCM08001A-E-001	DIMENSIONES	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque					MILÍMETROS	1/1



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA				
	INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA				
"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."					
Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Acesor	M. Sc. Ing ^a J. Yanque	CONECTOR MACHO PCM08001A	PPCM08001A-E-002	MILÍMETROS	1/1



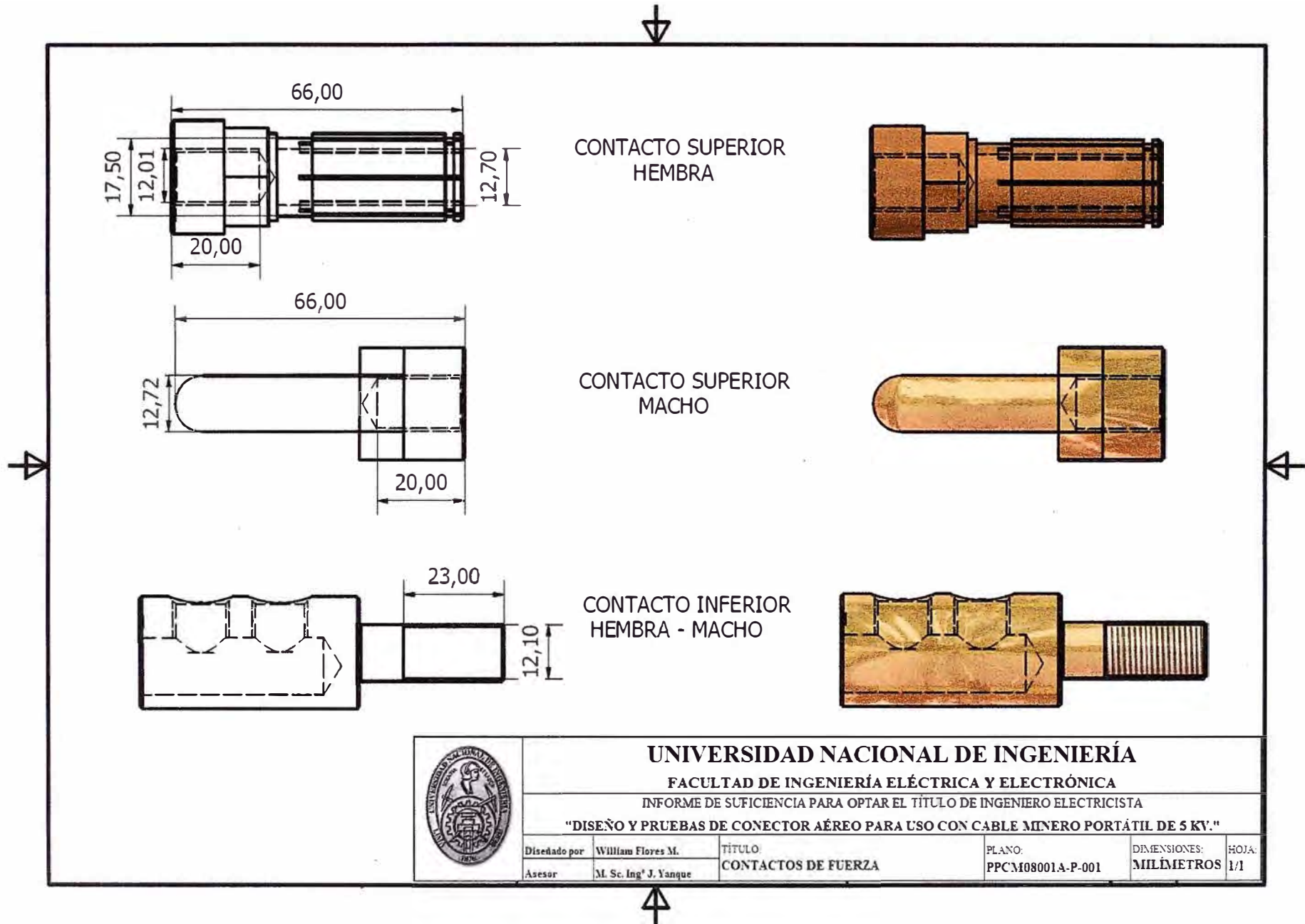
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTOAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	8	PC60851 CONTACTO FUERZA-TIERRA INFERIOR	
2	1	PC08014 Contacto TIERRA Macho Superior	
3	3	10006 (contacto fuerza hembra)	
4	2	10002	
5	1	PC08081 Brida Macho	
6	1	PC08081 Brida Hembra	
7	2	XXXXXXXXXXXX	
8	6	PC60850 TUERCA SUJECION INFERIOR FRUTO	
9	1	10007	
10	1	10004	
11	1	PC08014 CONTACTO TIERRA SUPERIOR MODIFICADO	
12	1	PC08014 Contacto TIERRA Hembra Superior	
13	3	10009 (capucho aluminio para piloto caucho)	
14	1	100085 (esparrago de fijacion hembra)	
15	2	PCA0810 Armadura Aerea	
16	2	100265 (empaque de brida interior)	
17	2	10026 (brida interior de caperuza)	
18	4	10027 (bocina de caucho de caperuza)	
19	2	ENTRACEFITTING	
20	3	10030 (tuercas buhon)	
21	3	10029 (perno de ojo)	
22	3	10031 (pin de perno de ojo)	
23	8	100284 (perno hexagonal para brida partida)	
24	12	100252 (perno button para brida exterior)	
25	1	CONTACTO PILOTO INFERIOR HEMBRA	
26	3	10015 (fruto hembra)	
27	3	10016 (fruto hembra)	

Mat. Carcasas/Aluminio LM27
 Mat. Frutos Aislantes/Caucho silicona
 Mat. contactos/Cobre Electrolitico 99/98%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
 INFORME DE SUFFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICISTA
 "DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."


Diseñado por: William Torres M.	TÍTULO: CONECTOR AÉREO DESPIECE	ESCALA: MILÍMETROS
Asesor: M. Sc. Ing. F. Vargas	PLANO: PPCN08081A-D-001	HOLLA: 1:1

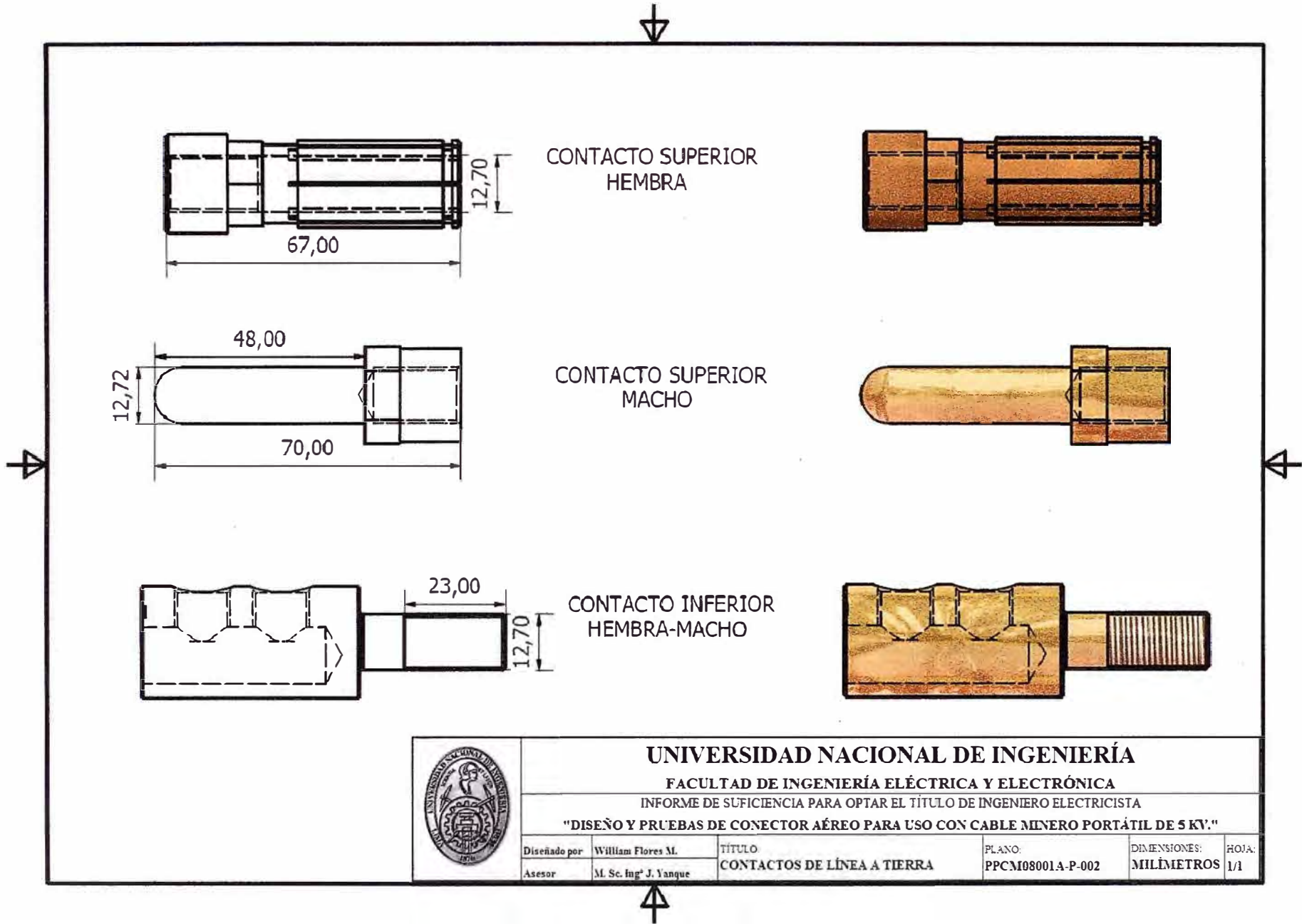


CONTACTO SUPERIOR HEMBRA

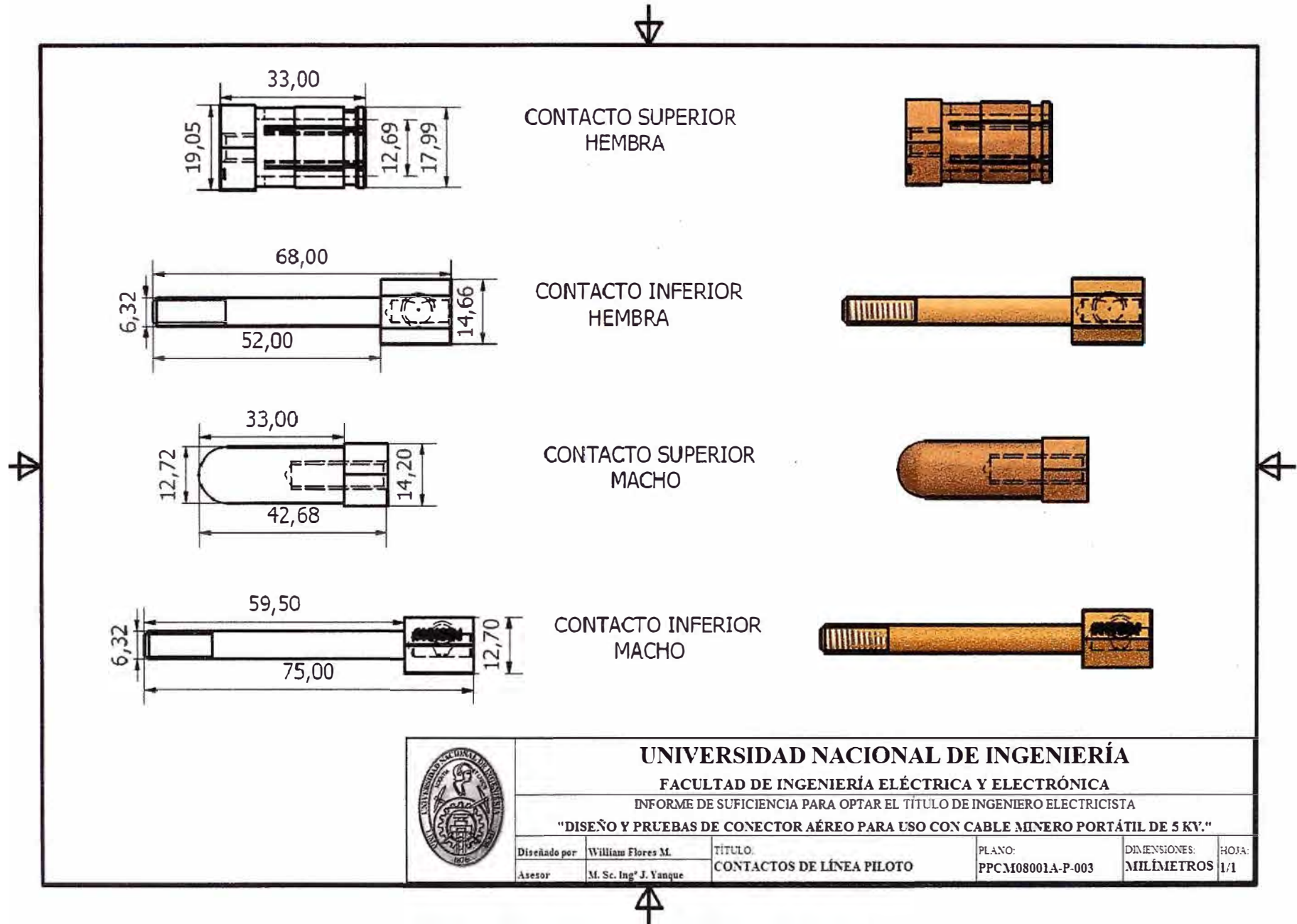
CONTACTO SUPERIOR MACHO


CONTACTO INFERIOR HEMBRA - MACHO

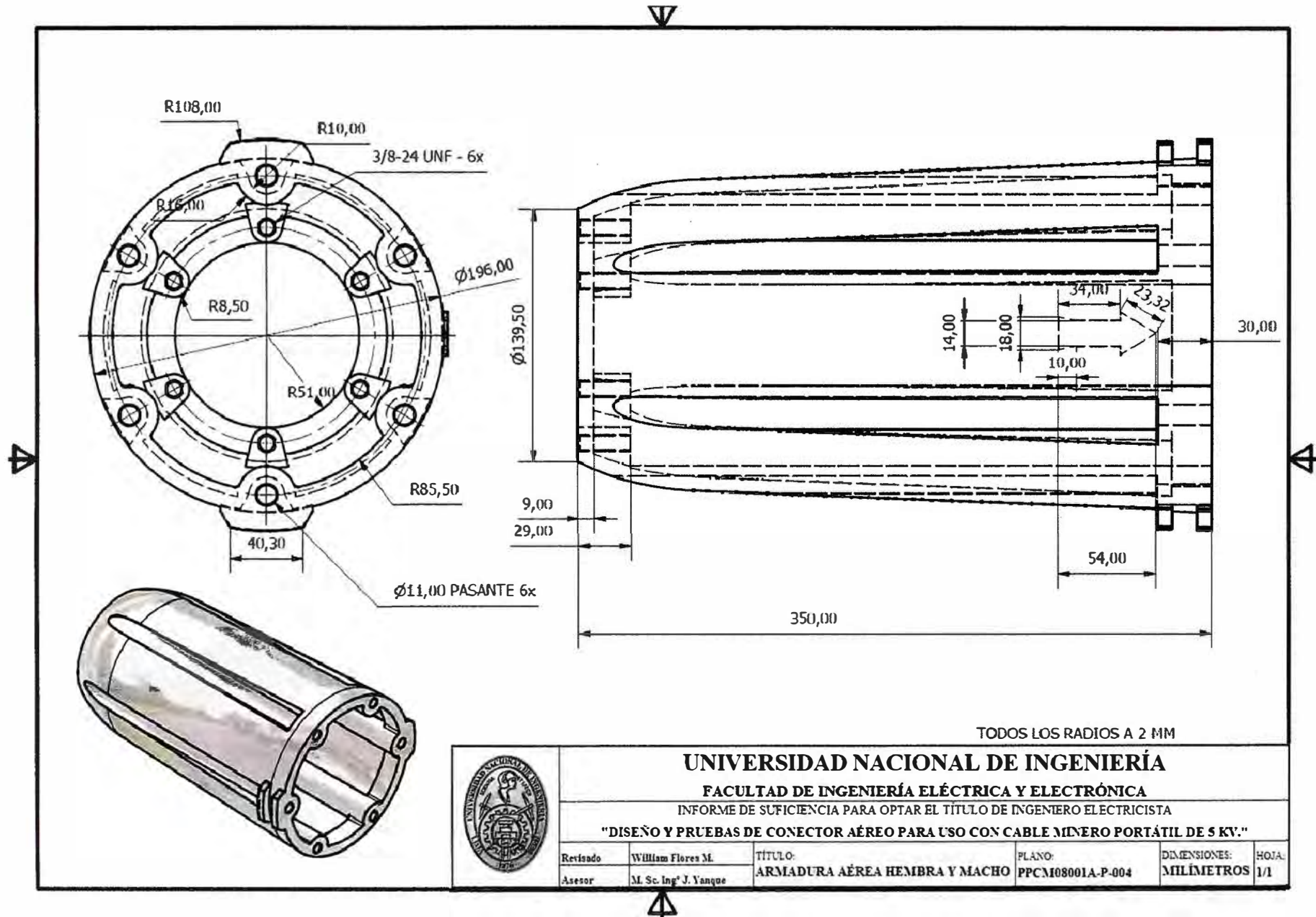
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA			
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			
	INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA			
"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."				
Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO	PLANO:	DIMENSIONES:
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	CONTACTOS DE FUERZA	PPCM08001A-P-001	MILÍMETROS
				HOJA:
				1/1




	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA								
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA								
	INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA								
"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."									
Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO	CONTACTOS DE LÍNEA A TIERRA	PLANO:	PPCM08001A-P-002	DIMENSIONES:	MILÍMETROS	HOJA:	1/1
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque								

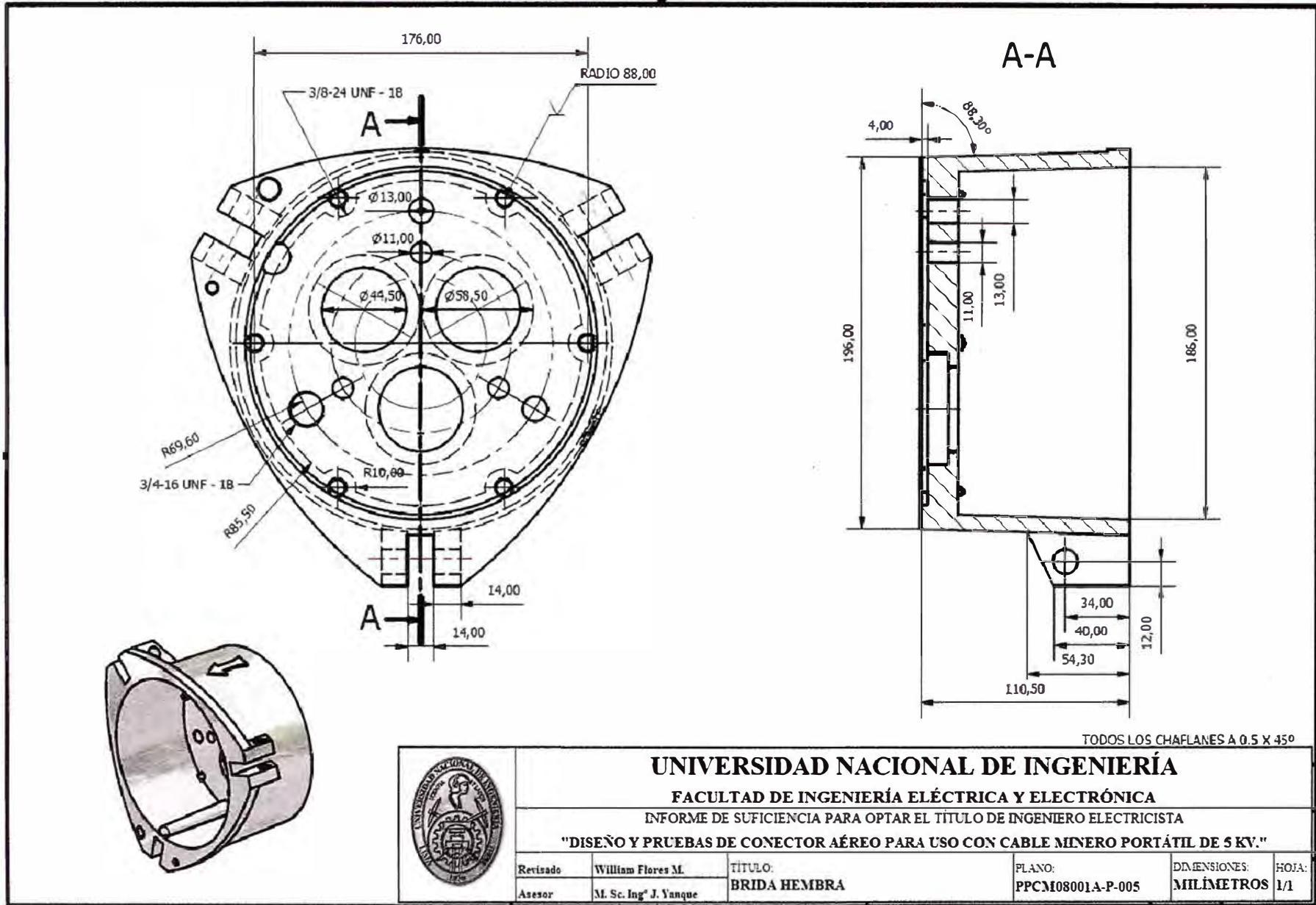


	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA				
	INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA				
	"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."				
Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	CONTACTOS DE LÍNEA PILOTO	PPCM08001A-P-003	MILÍMETROS	1/1




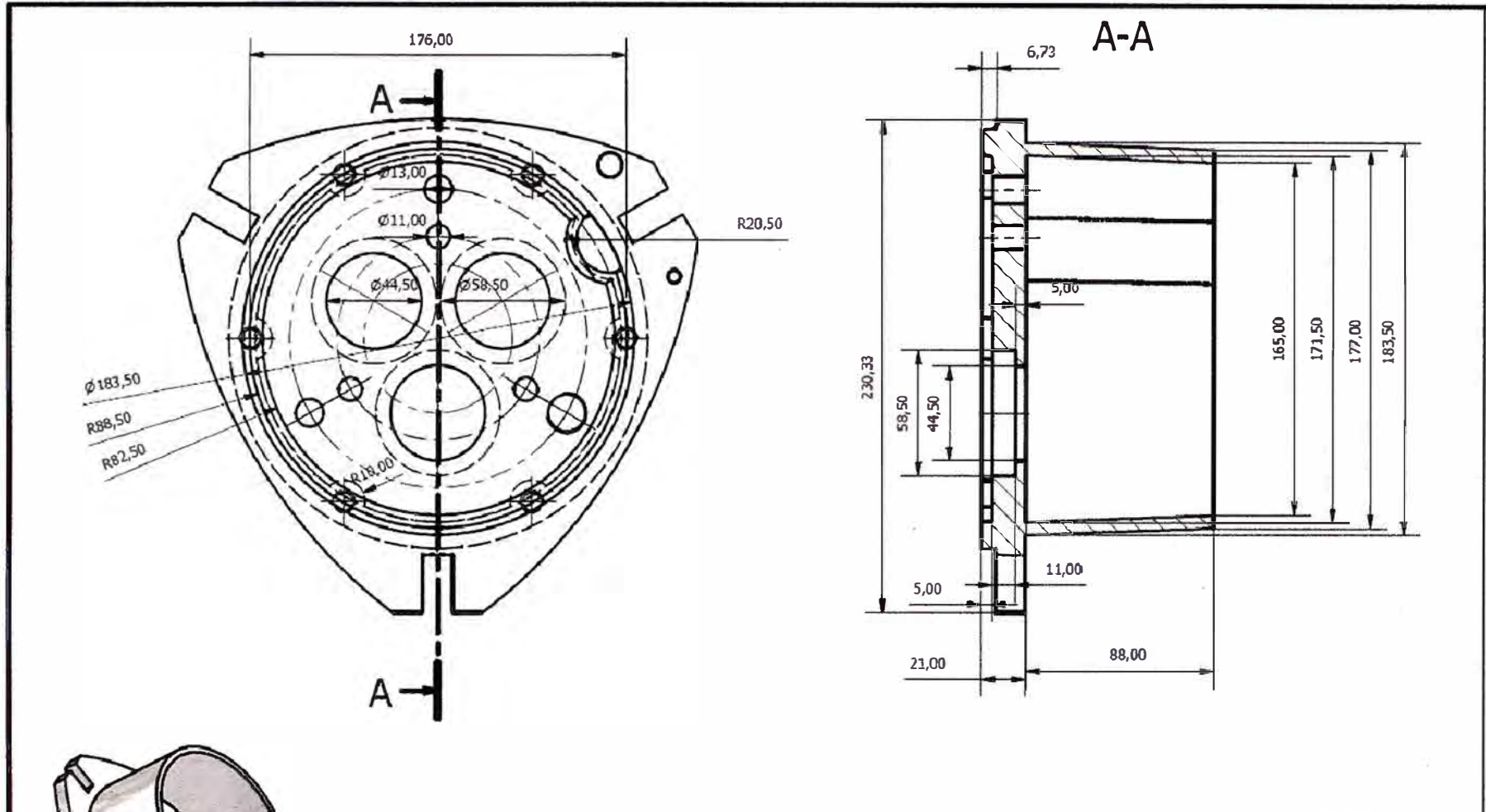
TODOS LOS RADIOS A 2 MM

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA "DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."									
	Revisado	William Flores M.	TÍTULO:	ARMADURA AÉREA HEMBRA Y MACHO	PLANO:	PPCM08001A-P-004	DIMENSIONES:	MILÍMETROS	HOJA:	1/1
	Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque								




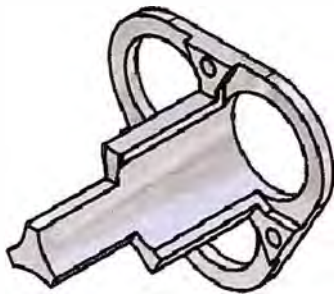
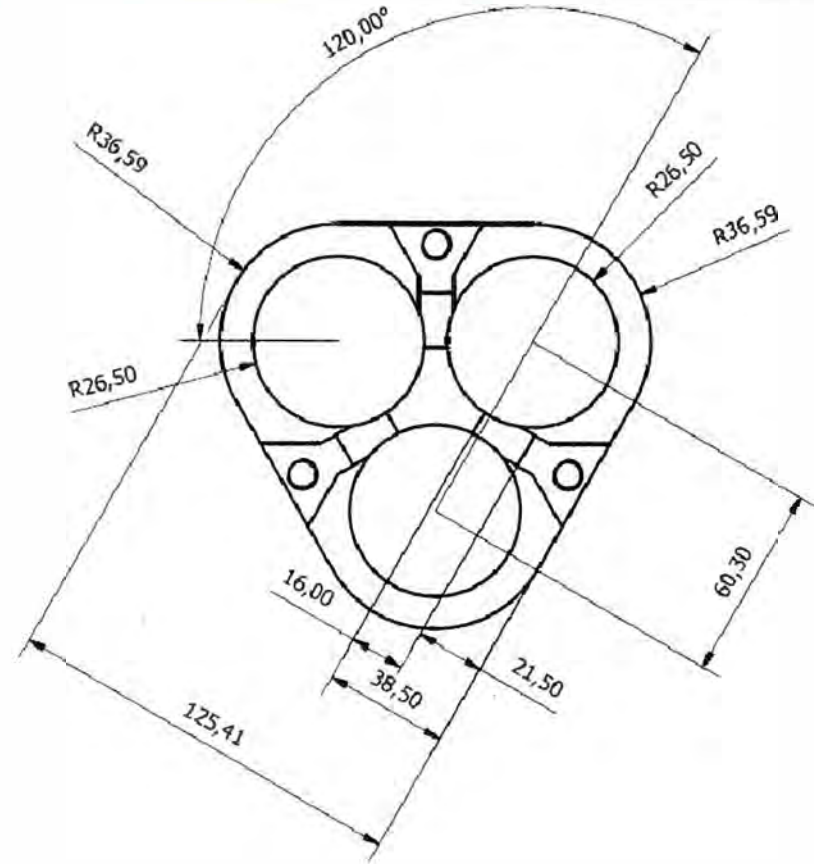
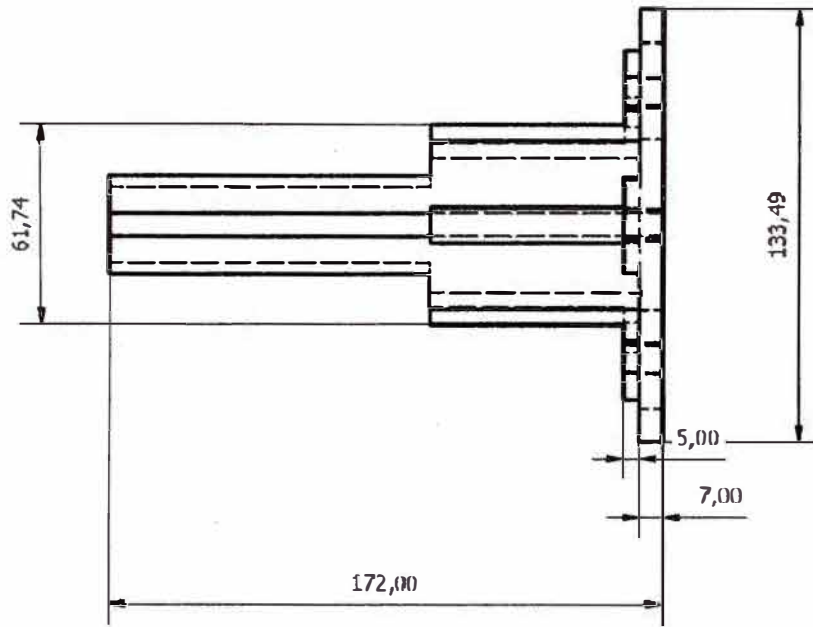
TODOS LOS CHAFLANES A 0.5 X 45°

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA				
	INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA				
	"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."				
Revisado	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	BRIDA HEMBRA	PPCM08001A-P-005	MILÍMETROS	1/1



TODOS LOS CHAFLANES A 0.5 X 45°

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA "DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."					
	Revisado	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
	Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	BRIDA MACHO	PPCM08001A-P-006	MILÍMETROS	1/1



TODOS LOS CHAFLANES A (1.5 X 45°)



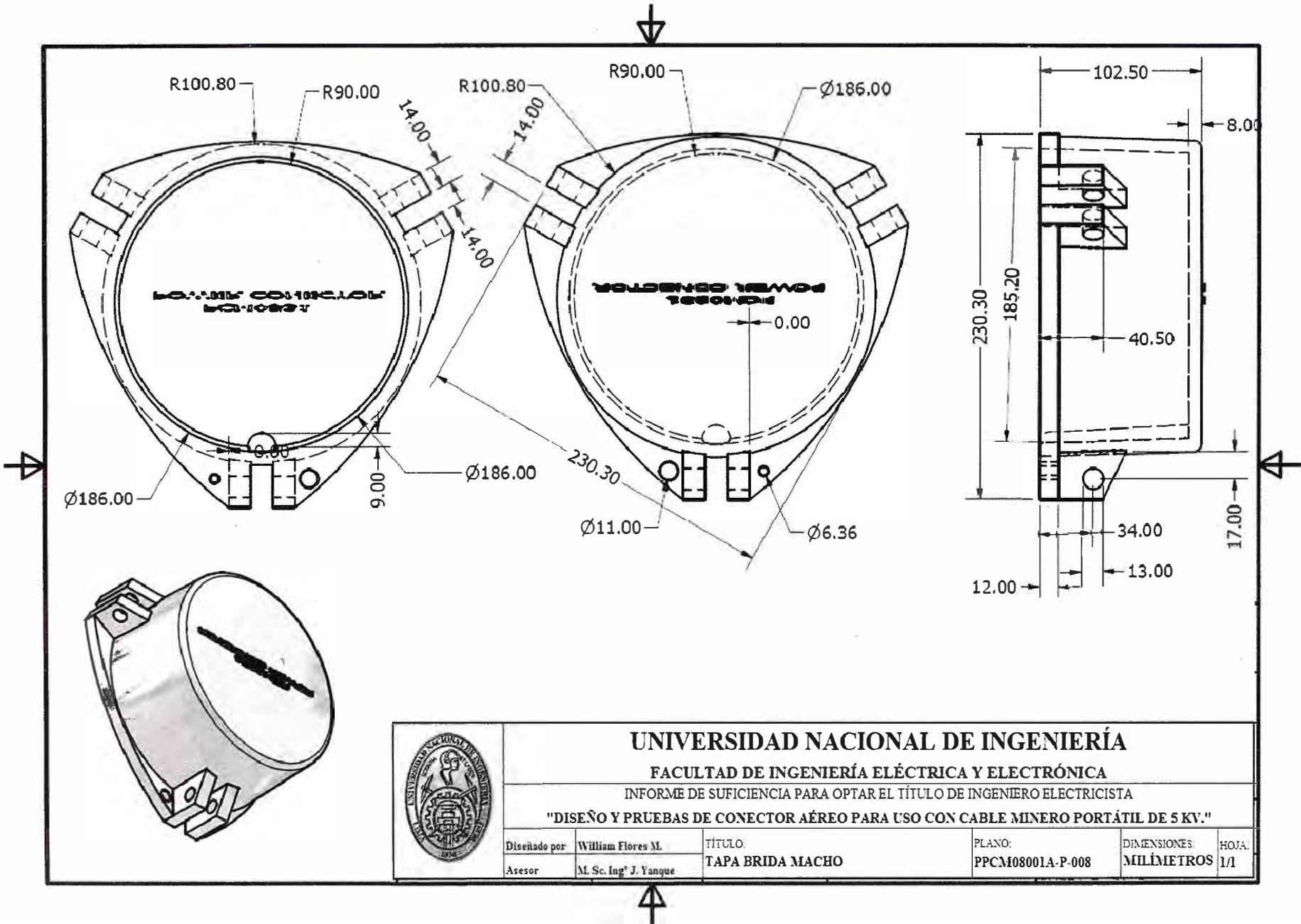
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA


FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

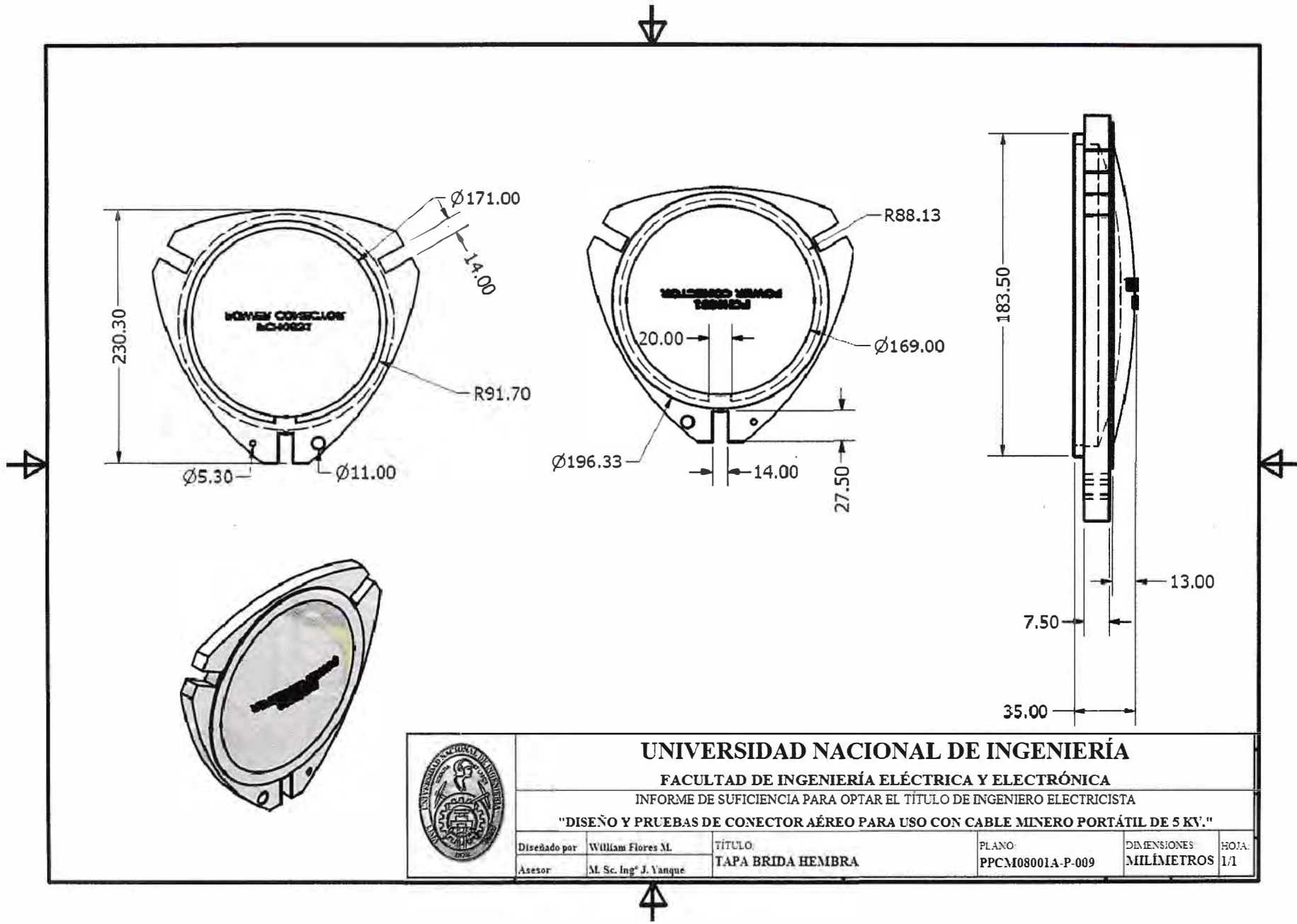
INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."

Revisado:	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Asesor:	M. Sc. Ing ^e J. Yanque	GUARDA POSTERIOR DE FRUTO AÉREO	PPCM08001A-P-007	MILÍMETROS	1/1



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA				
	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA				
INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA					
"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."					
Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing' J. Yanque	TAPA BRIDA MACHO	PPCM08001A-P-008	MILÍMETROS	1/1



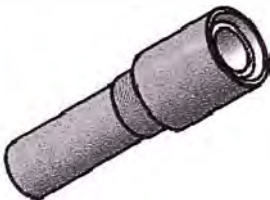
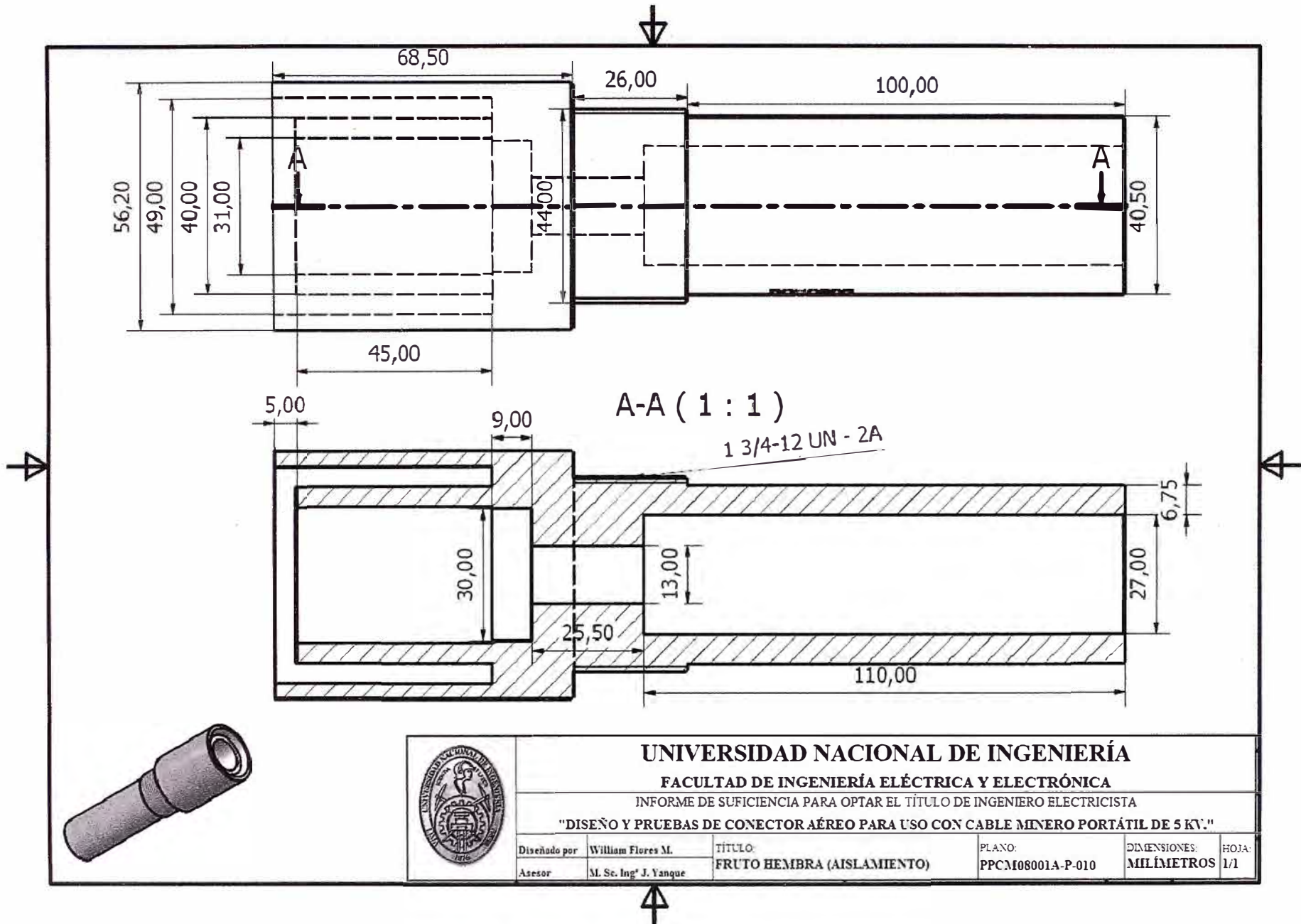
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."

Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO	PLANO	DIMENSIONES	HOJA
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	TAPA BRIDA HEMBRA	PPCM08001A-P-009	MILÍMETROS	1/1



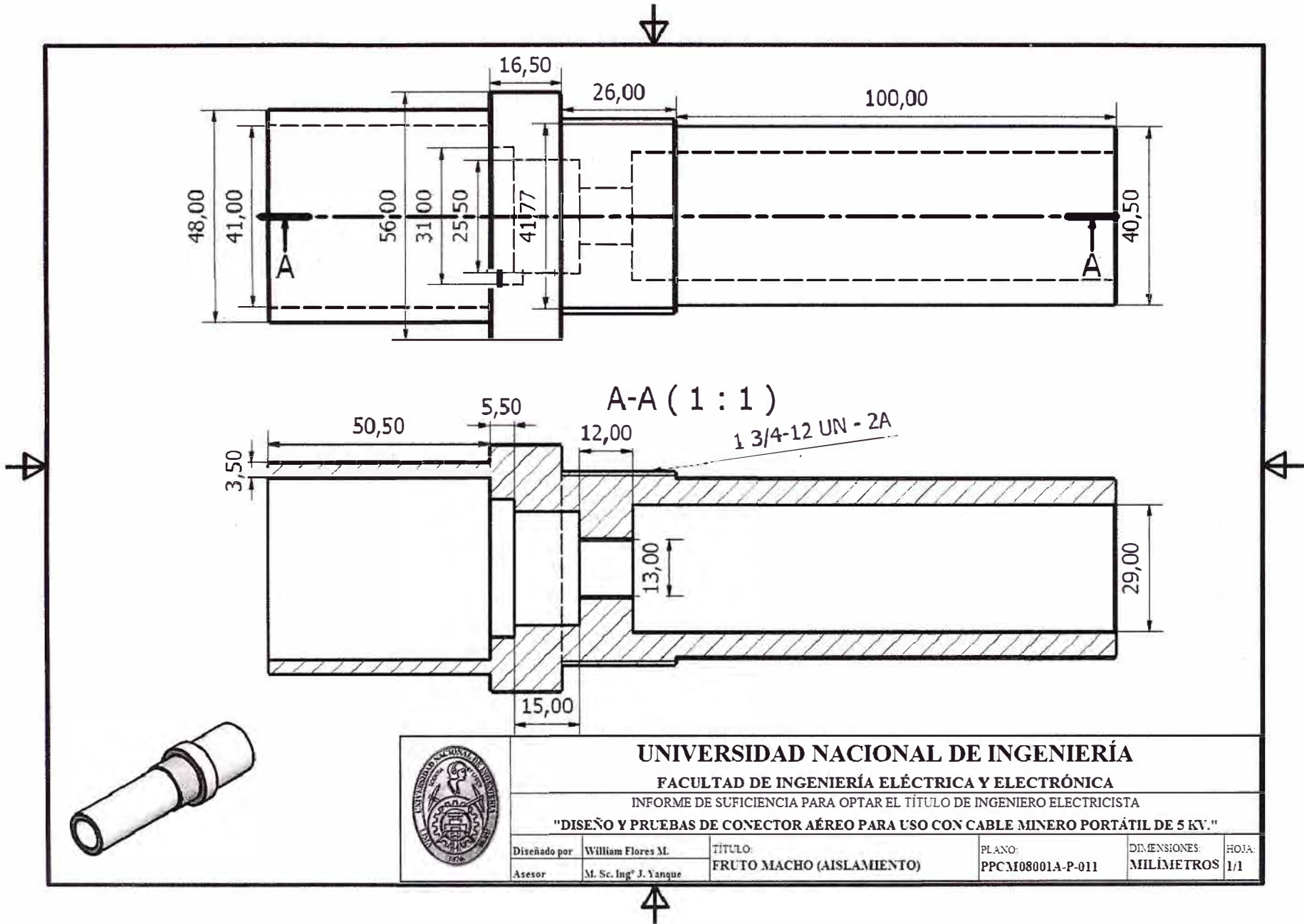
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."

Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO:	PLANO:	DIMENSIONES:	HOJA:
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	FRUTO HEMBRA (AISLAMIENTO)	PPCM08001A-P-010	MILÍMETROS	1/1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

"DISEÑO Y PRUEBAS DE CONECTOR AÉREO PARA USO CON CABLE MINERO PORTÁTIL DE 5 KV."



Diseñado por	William Flores M.	TÍTULO	PLANO	DIMENSIONES	HOJA
Asesor	M. Sc. Ing° J. Yanque	FRUTO MACHO (AISLAMIENTO)	PPCM08001A-P-011	MILÍMETROS	1/1

ANEXO B: Tabla N° 2 del estándar IEEE 48-1990

**Standard Dielectric Tests for High-Voltage Extruded Dielectric Cable Terminations
Assembled and Ready for Service**

Insulation Class (kV) Column 1	Max Design Voltage to Ground (kV) Column 2	Power Frequency Voltage Tests (1)					Radio Influence Voltage Dry (MV) Column 7	Partial Discharge (Corona) Extinction Voltage (U) (kV rms) Column 8	Impulse Voltage Tests (4)			Direct Voltage Test (9) 15 min Dry Withstand (kV Avg) Column 11
		1 min Dry Withstand (kV rms) Column 3	10 s Wet Withstand (3) (kV rms) Column 4	6hDry Withstand (kV rms) Column 5	Cyclic Aging Dry (kv rms) Column 6	Lightning Impulse (BIL) Dry Withstand (kV crest) Column 9			Switching Impulse (BST) (Wet (Dry) Withstand (kV crest) Column 10			
2.5	1.6	20	20	10	4.5	50	2.0	60			40	
5.0	3.2	25	25	15	9	60	4.5	75			50	
8.7	5.5	35	30	25	15	50	7.5	95	—		65	
15	9.5	50	45	35	26	50	13	110	—		75	
25	16.0	65	60	55	43	100	21.5	150	—		105	
34.5	22.0	90	80	75	60	150	30	200	—		140	
46	29.5	120	100	100	53	200	40	250	—		170	
69	44.0	175	145	120	80	300	60	350	—		245	
115	73.0	205	190	146	133	400	80	460	—		275	
120	73.0	260	230	175	140	450	100	650	—		320	
138	88.0	310	275	200	160	500	120	650	—		355	
161	102.0	365	315	230	186	500	140	750	—		395	

NOTES:

- (1) Power frequency includes any frequency from 25 Hz to 60 Hz.
- (2) All withstand values are test voltages without negative tolerance but may include an atmospheric correction factor.
- (3) Indoor cable terminations are not subjected to the wet test. Indoor terminations rated 345 kV and higher shall withstand dry switching impulse voltage tests as noted in brackets in Column 10. See 7.4.1.7.
- (4) The required lightning and switching impulse voltage values shall be met with both positive and negative polarity tests.
- (5) On assembled multiple conductor cable terminations, the tests shall be made between each conductor and ground with the terminals on adjacent conductors grounded.
- (6) The values in this table are for general use. It is recognized that cable terminations of higher or lower insulation class or BIL may be used where conditions warrant and when specified and agreed upon.
- (7) When the dielectric strength of the cable termination is dependent upon taping or the use of auxiliary insulation, such insulation shall be used when any design tests are made.
- (8) When a cable termination is assembled with cable for its dielectric test in the equipment or in the apparatus in which it will operate, the applied test voltages shall be determined by the tests required for the equipment or apparatus if these voltages are lower than the values listed in this table.
- (9) The direct voltage test shall be made with negative polarity on the conductor. Refer to 6.3 of this standard for comments regarding the direct voltage test values.
- (10) Certain types of resistance- or capacitance-graded cable terminations are sensitive to prolonged overvoltage testing and may not be able to withstand some of the power frequency and direct voltage tests, although they are perfectly satisfactory for service. In such cases the manufacturer shall so specify and shall perform such other special tests as agreed upon by the user.
- (11) The minimum detector sensitivity shall be 3.0 pC. Extinction voltages have not been established at 230 kV, 345 kV, and 500 kV,

ANEXO C: Hoja técnica del aislamiento usado en el coupler PC08001A

Product Information
Silicone Rubber
Compound

**DOW CORNING® HV1660/65****FEATURES**

- 65 Shore A hardness
- Superior wet electrical properties
- Excellent tracking resistance
- Mold release
- Sustained hydrophobicity

65 Durometer, gray, peroxide cure, high voltage grade Silicone Rubber Compound**APPLICATIONS**

- High voltage insulators.
- Weather shed insulators.
- Surge arrestors.

TYPICAL PROPERTIES

Specification writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local Dow Corning sales representative prior to writing specifications on this product.

Test method*	Property	Unit	Value
	Color		Gray
D792	Specific gravity		1.56
D2204	Hardness	Shore A	65
D412	Tensile strength	MPa (psi)	4.2 (610)
D412	Elongation at break	%	280
D624B	Tear strength	kN/m (ppi)	13 (75)
IEC 60093	Volume resistivity	Ohm.cm	2.0x10 ¹⁴
IEC 60250	Dielectric constant at 100Hz		3.67
IEC 60250	Dissipation factor		0.017
IEC 60587	Tracking resistance		1A4.5
ASTM 2303	Tracking resistance	kV	6.0
IEC 60243	Dielectric strength	kV/mm (volts mil)	17.3 (441)

Properties obtained on test slabs: Press cured 10 minutes at 171°C (340°F).

*ASTM: American Society for Testing and Materials.
 IEC: International Electrotechnical Commission

Materials were tested according to Dow Corning Corporate Test Methods (CTM), which in most cases are similar to the ASTM standards listed above. Copies of CTMs are available on request.

HOW TO USE

DOW CORNING HV1660/65 is ready to use and fully formulated. Cure and processing conditions should be verified by the fabricator and will depend on the processing equipment used.

ANEXO D: Informe de laboratorio FIEE Universidad Nacional de Ingeniería

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Laboratorio N° 06 - Electricidad

**INFORME TÉCNICO DE PRUEBAS
ELECTRICAS A CONECTORES**

FACTURA N° 002-037996
 FECHA: 27-08-2009

N° LABUNI – 150 / 2009

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1. RAZON SOCIAL : PROVEEDORES MINEROS S.A.C.
 1.2. RUC : 20497219940
 1.3. DIRECCIÓN : Av. Del Alre 1589 – SAN LUIS

2. CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

- 2.1. Muestra 1: De conector Hembra, modelo PCM08001A, marca POWER CONECTOR.
 2.2. Muestra 2: De conector Macho, modelo PCM08001A, marca POWER CONECTOR.

3. PRUEBAS SOLICITADAS

- 3.1. Tensión Aplicada de 35 / 50kV – 60Hz.
 3.2. Tensión Aplicada de 65 / 75 kV – D.C.

**4. EJECUCIÓN**

Las pruebas se han efectuado en el Laboratorio de Electricidad N° 06 de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería el día 04 de Agosto de 2009.

Las pruebas han sido realizadas por el personal Técnico Calificado de la FIEE-UNI:

- ❖ Ing. Alberto Sandoval Rodríguez.
- ❖ Eleodoro Agreda Vásquez.

En presencia de:

- ❖ William Flores Mendoza – PROVEEDORES MINEROS S.A.C.
- ❖ Johny Agüero Pablo – PROVEEDORES MINEROS S.A.C.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Laboratorio N° 06 - Electricidad

5. NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS COMO REFERENCIA

- 5.1. Norma Técnica IEEE48 / 1990 Método de Pruebas Eléctricas.
- 5.2. Norma Técnica ANSI c119.4 - 1998
- 5.3. Norma Técnica IEE – STD - 48
- 5.4. Norma Técnica Luz del Sur DNC-106A
- 5.5. Norma Técnica Luz del Sur DNC-107A

6. EQUIPO EMPLEADO EN LAS MEDICIONES

- 6.1. Fuente de 100 kV – 60HZ – FERRANTI
- 6.2. Fuente de 100 – D.C. PHENIX TECHNOLOGIES.
- 6.3. Girómetro marca BEHA.



7. PRUEBA DE CICLO TÉRMICO

Esta prueba se ha efectuado aplicando 5 ciclos, donde el ciclo se compone de 1 hora en calentamiento y 1 hora en enfriamiento

Cabe resaltar que la norma ANSI C-119-4, indica que la cantidad de ciclos debe 500 ciclos para un método de ensayo tipo CCT (Ciclo de corriente de prueba)

De acuerdo a la norma ANSI C-119.4, las máximas variaciones permitidas son las siguientes.

- ❖ Máxima variación de resistencia = +/- 5%
- ❖ Máxima variación de temperatura = 10°C

7.1 Resultados de las Muestras

Medición de la resistencia de aislamiento entre las fases R, S, T.

- ❖ Marca POWER CONECTOR

CUADRO N° 01

Muestras	Fases R - S (MΩ)	Fases S - T (MΩ)	Fases R - T (MΩ)	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa (°C)	Resultado
1	28600	26600	25800	20	65	Cumple con la Norma
2	27500	26700	25750	20	65	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Laboratorio N° 06 - Electricidad

7.2 Resultados de las Muestras

Medición de la resistencia de aislamiento entre fases y tierra

CUADRO 02

Muestras	Fases R + Tierra (MΩ)	Fases S + Tierra (MΩ)	Fases T + Tierra (MΩ)	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa (°C)	Resultado
1	14300	14000	14300	20	65	Cumple con la Norma
2	13200	14100	14200	20	65	

8. OBSERVACIONES

Los valores obtenidos corresponden a las muestras enviadas por PROVEEDORES MINEROS S.A.C.

9. CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas y los valores obtenidos de los Conectores de acero marca: POWER CONECTOR se concluye: **CUMPLEN** con las Normas Técnicas utilizadas como referencia en el ítem N° 5.

Lima, 01 de Setiembre de 2009



Ing. Roberto Sandoval Rodríguez

CIP: 47698

Jefe Laboratorio de Electricidad N° 06

NOTA: Cualquier error u Omisión en la Redacción por parte del Laboratorio N° 6 devolver el Original para ser reemplazado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Técnica de la alta tensión por Ing. Hans von Beeren 6^a reimpresión, 1970
- [2] Mining cable engineering handbook, General Cable, 2nd edition
- [3] Fundamentals of terminating and splicing high voltage extruded dielectric cables, Plymouth electrical tapes.
- [4] ANSI/NEMA WC 58 ICEA S-75-381, Portable and power feeder cable for use in mines and similar applications.
- [5] IEEE Std 48-1990. Standard test procedures and requirements for high-voltage alternating-current cable terminations.
- [6] 5 or 8 kV Couplers C80 series, Patton & Cooke Co.
- [7] Cigre WG C4.303, Guide for the selection of insulator with respect to contamination conditions.
- [8] Contactos eléctricos en los interruptores de potencia de MT y AT., revista Electric Energy T&D, Enero-Febrero 2007.
- [9] Software Autodesk Inventor 2009., © 2009 Autodesk, Inc. All rights reserved.
- [10] Norma Técnica "Uso de la Electricidad en Minas", RESOLUCION MINISTERIAL N° 308-2001-EM/VME