

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

FABRICACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO DEL AISLADOR ELÉCTRICO DE CERÁMICA TIPO ANSI 53-2 Y SUS RESPECTIVOS BASTIDORES PARA SUJECCIÓN EN MAMPOSTERÍA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

DIEGO IVAN ORELLANA RIOFRIO

dior_orellana@hotmail.com

JUAN CARLOS POMA QUINCHE

jpomaq@yahoo.es

DIRECTOR: ING. OSWALDO PATRICIO FLOR GARCÍA MSC.

famflorros@andinanet.net

Quito, Noviembre 2014

©Escuela Politécnica Nacional 2014
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Nosotros, DIEGO IVAN ORELLANA RIOFRIO y JUAN CARLOS POMA QUINCHE, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Iván Orellana Riofrio

Juan Carlos Poma Quinche

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por DIEGO IVAN ORELLANA RIOFRIO y JUAN CARLOS POMA QUINCHE, bajo nuestra supervisión.

Ing. Patricio Flor Msc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Patricio Flores Msc.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. German Castro Msc.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre que con su amor y generosidad me enseñaron a actuar con perseverancia y a no claudicar en la vida, que esta meta alcanzada sea una pequeña retribución fruto de su apoyo permanente y esfuerzo.

A mis hermanos y a mi sobrino, mis agradecimientos sinceros por su incondicionalidad, para y por ellos dedico este trabajo.

A mi esposa, por todo su amor, apoyo y comprensión, que esta meta sea una de las muchas que lograremos juntos.

A mis amigos por todos los buenos momentos compartidos.

Diego Orellana

A mi familia, en especial a mis padres que con su amor incondicional y apoyo constante, me llevaron a salir victorioso en cada etapa de mi vida. A mis hermanos y sobrinas que son la cuota de alegría necesaria para nuestro hogar.

A mi sobrino querido Darío, que aunque, ya no está entre nosotros se que comparte todas nuestras alegrías y tristezas; vivirás siempre en mi corazón.

En fin, a mis amigos y compañeros con quienes compartí buenos momentos a lo largo de este camino.

Juan Poma

AGRADECIMIENTOS A:

Escuela Politécnica Nacional por habernos permitido alcanzar esta meta profesional.

A los Ingenieros Patricio Flor, Patricio Flores y Germán Castro por el tiempo brindado para asesorar el presente trabajo.

Todas las personas que de una u otra forma colaboraron para realizar este trabajo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	li
DEDICATORIA.....	lii
AGRADECIMIENTO.....	lv
CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	Xxii
INTRODUCCIÓN.....	xxiv

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. LÍNEAS AÉREAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.....	1
1.1.1. CONDUCTORES O CABLES.....	1
1.1.2. AISLADORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS.....	1
1.1.2.1. MATERIALES DE LOS AISLADORES.....	2
1.1.2.1.1. PORCELANA.....	2
1.1.2.1.2. VIDRIO.....	3
1.1.2.1.3. MATERIALES COMPUESTOS.....	3
1.1.2.2. CONDICIONES GENERALES QUE DEBEN CUMPLIR LOS AISLADORES.....	3
1.1.2.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS QUE DEFINEN UN AISLADOR ELÉCTRICO.....	4
1.1.2.3.1. LÍNEA DE FUGA.....	5
1.1.2.3.2. DISTANCIA DISRUPTIVA.....	5
1.1.2.3.3. TENSIÓN DE CORONA.....	6
1.1.2.3.4. TENSIÓN DISRUPTIVA.....	6
1.1.2.3.5. TENSIÓN DE PERFORACIÓN.....	7
1.1.2.3.6. CARGA DE ROTURA MECÁNICA.....	7
1.1.2.3.7. CARGA DE ROTURA COMBINADA, ELECTROMECAÁNICA.....	7
1.1.2.3.8. ENSAYO CON ALTA FRECUENCIA.....	8
1.1.2.3.9. ENSAYO MECÁNICO DE LARGA DURACIÓN..	8

1.1.2.4. FALLAS EN LOS AISLADORES ELÉCTRICOS.....	9
1.1.3. ACCESORIOS Y SOPORTES (HERRAJES).....	10
1.1.3.1. BASTIDORES O RACKS.....	11
1.1.3.2. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	13
1.1.3.3. ACABADO SUPERFICIAL DE LOS HERRAJES.....	14
1.1.3.4. RESISTENCIA MECÁNICA.....	14
1.1.3.5. PRUEBAS A REALIZAR EN LOS HERRAJES DE SUJECIÓN.....	14
1.2. MATERIAS PRIMAS NACIONALES, USADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS AISLADORES ELÉCTRICOS.....	15
1.2.1. LA ARCILLA.....	15
1.2.2. EL FELDESPATO.....	16
1.2.3. EL CUARZO.....	16
1.3. UBICACIÓN EN EL ECUADOR DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA CERÁMICA.....	17
1.4. PORCELANA ELÉCTRICA.....	18
1.4.1. PROPIEDADES DE LA PORCELANA ELÉCTRICA.....	18
1.5. ESMALTES CERÁMICOS.....	21
1.5.1. FUNCIONES DE LOS ESMALTES EN LA PORCELANA 1.1.1.1 ELÉCTRICA.....	22
1.5.2. PROPIEDADES DE LOS ESMALTES.....	23
1.5.3. APLICACIÓN DEL ESMALTE.....	24
1.6. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LOS AISLADORES CERÁMICOS.....	24
1.6.1. TRATAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.....	24
1.6.2. PREPARACIÓN DE LA PASTA.....	25
1.6.3. FORMADO DE LAS PIEZAS.....	25
1.6.4. SECADO Y ESMALTADO DE LAS PIEZAS.....	26
1.6.5. PROCESO DE COCCIÓN.....	26
1.7. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEFINEN AL AISLADOR ANSI 53-2.....	28
1.7.1. CARACTERÍSTICAS DEL AISLADOR TIPO CARRETE.....	28

1.7.1.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	28
1.7.1.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES.....	28
1.7.1.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	29
1.7.1.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.....	29
1.7.2. ENSAYOS.....	30
1.7.2.1. ENSAYOS TIPO.....	30
1.7.2.2. ENSAYOS DE MUESTREO.....	31
1.7.2.3. ENSAYOS DE RUTINA.....	31

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA CUCHILLA DE FORMADO PARA EL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA CUCHILLA DE FORMADO SEGÚN LA NORMA.....	32
2.2. DISEÑO DE LA CUCHILLA FORMADORA DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.....	32
2.2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROCESO.....	32
2.2.1.1. PASTA CERÁMICA.....	33
2.2.1.2. PROCESO.....	33
2.2.2. PROGRAMACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL TORNO.....	33
2.2.2.1. ESTRUCTURA DEL PULSO DEL RELOJ DEL PROGRAMA.....	35
2.2.3. DISEÑO DE LA CUCHILLA.....	35
2.2.4. ANÁLISIS DEL DISEÑO.....	36
2.2.4.1. AVANCE.....	36
2.2.4.2. FUERZA DE FORMADO.....	37
2.3. FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA FORMADORA DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.....	38
2.3.1. CONDICIONES DEL DISEÑO PARA LA CUCHILLA FORMADORA.....	41
2.3.1.1. CUCHILLA PRINCIPAL.....	42
2.3.1.2. CUCHILLA PARA RANURADO.....	42
2.3.2. ELABORACIÓN DEL CUELLO DEL AGUJERO CENTRAL...	43

2.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FORMADO.....	43
2.3.3.1. ÁNGULO DE INCIDENCIA (α).....	44
2.3.3.2. ÁNGULO DE FILO (β).....	44
2.3.3.3. ÁNGULO DE ATAQUE O SALIDA (γ).....	45
2.3.3.4. ÁNGULO DE FORMADO ($\alpha + \beta$).....	45
2.3.4. SELECCIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FORMADO.....	46
2.4. MONTAJE DE LA CUCHILLA DE FORMADO EN EL TORNO.....	46
2.4.1. ADECUACIONES AL MECANISMO DEL TORNO.....	46
2.4.2. PLANOS DE CONSTRUCCION.....	47
2.4.3. MONTAJE.....	48
2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48

CAPÍTULO 3

3. FABRICACIÓN DEL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2

3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2 SEGÚN LA NORMA.....	51
3.2. ELABORACIÓN DE LA PASTA CERÁMICA PARA EL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.....	51
3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	51
3.2.2. TRITURACIÓN Y MOLIENDA.....	52
3.2.3. TAMIZADO.....	53
3.2.4. SECADO.....	54
3.2.5. PULVERIZADO.....	55
3.2.6. ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	55
3.2.6.1. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	55
3.2.6.2. ELIMINACIÓN DEL HIERRO POR SEPARACIÓN MAGNÉTICA.....	57
3.2.7. FORMULACIÓN DE LA PASTA PARA AISLADORES ELÉCTRICOS.....	58
3.2.8. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD..	63
3.2.9. PRUEBAS DE PLASTICIDAD.....	63
3.2.9.1. LÍMITES DE ATTERBERG.....	63
3.2.9.1.1. LÍMITE LÍQUIDO.....	64

3.2.9.1.2.	LÍMITE PLÁSTICO.....	67
3.2.9.1.3.	ÍNDICE PLÁSTICO.....	68
3.2.9.1.4.	ÍNDICE DE CONSISTENCIA.....	68
3.2.9.1.5.	LÍMITES DE ATTERBERG DE LA MEZCLA....	69
3.2.9.2.	PRUEBAS DE PFEFFERKORN.....	70
3.2.10.	PRUEBAS FÍSICAS.....	73
3.2.10.1.	CONTRACCIÓN LINEAL.....	73
3.2.10.2.	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA....	74
3.2.10.3.	COEFICIENTE DE DILATACIÓN.....	75
3.2.10.4.	POROSIDAD.....	75
3.2.11.	PRUEBAS ELÉCTRICAS.....	76
3.2.11.1.	RIGIDEZ DIELECTRICA.....	77
3.2.11.2.	RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA.....	78
3.2.12.	PRUEBAS MECÁNICAS.....	81
3.2.12.1.	RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y A LA FLEXIÓN.....	82
3.2.12.2.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	85
3.3.	MOLDEO Y ELABORACIÓN DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.....	86
3.3.1.	AMASADO Y MADURACIÓN DE LA PASTA.....	86
3.3.2.	EXTRUSIÓN DE LA PASTA.....	87
3.3.3.	FORMADO DE LOS AISLADORES.....	88
3.3.4.	CICLO DE SECADO PARA LOS AISLADORES FORMADOS.....	92
3.3.5.	DETERMINACIÓN DEL CICLO DE COCCIÓN PARA LOS AISLADORES FORMADOS.....	93
3.3.6.	FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DEL ESMALTE EN LOS AISLADORES FORMADOS.....	95
3.3.6.1.	APLICACIÓN DEL ESMALTE.....	97

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS DEL AISLADOR TIPO ANSI 53-2

4.1. PRUEBAS FÍSICAS.....	100
4.2. PRUEBAS MECÁNICAS.....	101
4.2.1. ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA TRANSVERSAL.....	101
4.3. PRUEBAS ELÉCTRICAS.....	102
4.3.1. ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN SECO A BAJA FRECUENCIA.....	103
4.3.2. ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN HÚMEDO A BAJA FRECUENCIA.....	105
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	107

CAPÍTULO 5

5. CONSTRUCCIÓN DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN EN MAMPOSTERÍA DE UNA, DOS Y CUATRO VÍAS, PARA EL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2

5.1. ESTUDIO FUNCIONAL DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN....	108
5.1.1. ABRAZADERAS.....	108
5.1.2. BASTIDORES DE SUJECIÓN O RACKS.....	109
5.2. CÁLCULO DE LAS CARGAS EN LOS AISLADORES Y BASTIDORES DE SUJECIÓN.....	111
5.2.1. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS PARA LOS BASTIDORES.....	111
5.2.1.1. TENSIÓN MÁXIMA DEL CONDUCTOR.....	113
5.2.1.2. PRESIÓN DE VIENTO.....	115
5.2.1.3. SOBRECARGA DE HIELO.....	117
5.2.1.4. ANÁLISIS DE CARGAS EN LOS BASTIDORES.....	118
5.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN, SEGÚN LA NORMA.....	119
5.3.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS ABRAZADERAS.....	120
5.3.1.1. ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	121
5.3.1.1.1. PERNO MÁQUINA.....	121

5.3.1.1.2.	PERNO DE ROSCA CORRIDA TIPO ESPÁRRAGO.....	122
5.3.1.1.3.	ARANDELAS REDONDAS.....	123
5.3.1.1.4.	ARANDELA DE PRESIÓN.....	124
5.3.1.2.	REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DE LAS ABRAZADERAS.....	126
5.3.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS BASTIDORES O RACKS....	127
5.3.2.1.	BASTIDOR GALVANIZADO DE 1 VÍA.....	127
5.3.2.2.	BASTIDOR GALVANIZADO DE 2 A 5 VÍAS.....	129
5.3.2.3.	PERNO PARA RACK.....	130
5.3.2.4.	PASADOR DE SEGURIDAD TIPO HORQUILLA.....	131
5.3.2.5.	REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DE LOS BASTIDORES O RACKS.....	132
5.3.3.	REQUISITOS DEL RECUBRIMIENTO DE CINC PARA LOS BASTIDORES Y ABRAZADERAS.....	133
5.4.	FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SOPORTE METÁLICO DEL AISLADOR 53-2.....	134
5.4.1.	MATERIA PRIMA.....	134
5.4.1.1.	ELEMENTOS NORMALIZADOS.....	135
5.4.2.	PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	135
5.4.2.1.	PROCESO DE TROQUELADO.....	135
5.4.2.2.	PROCESO DE DOBLADO.....	136
5.4.2.3.	PROCESO DE SOLDADURA.....	136
5.4.2.4.	PROCESO DE CINCADO.....	137
5.4.3.	PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.....	137
5.4.4.	HERRAJES FABRICADOS.....	138

CAPÍTULO 6

6. PRUEBAS DE LOS BASTIDORES CONSTRUIDOS PARA MAMPOSTERÍA.

6.1.	ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS SEGÚN LA NORMA ASTM A 153.	140
6.1.1.	HOMOGENEIDAD.....	140

6.1.2. ADHERENCIA.....	141
6.1.3. MASA DEPOSITADA Y ESPESOR DE LA CAPA DE ZINC..	142
6.1.3.1. GROSOR DE CAPA.....	143
6.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	144
6.2.1. PRUEBAS DIMENSIONALES.....	144
6.2.2. ACABADO DE LOS BASTIDORES.....	144
6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	145

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

7.1. CONCLUSIONES.....	146
7.2. RECOMENDACIONES.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1: Número de minas por tipo de material en el Ecuador.....	17
Tabla 1.2: Propiedades generales de la porcelana eléctrica.....	19
Tabla 1.3: Dimensiones principales del aislador ANSI 53-2.....	28
Tabla 1.4: Carga máxima transversal que soporta el aislador tipo ANSI 53-2.....	29
Tabla 1.5: Características eléctricas del aislador tipo ANSI 53-2.....	29

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1: Condiciones de trabajo para el formado de los aisladores tipo ANSI 53-2.....	37
Tabla 2.2: Tabla comparativa de algunas propiedades mecánicas de los aceros inoxidables austeníticos.....	40
Tabla 2.3: Composición Química del acero inoxidable 304.....	40

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1: Equipo actual para la trituración y molienda de las materias primas.....	52
Tabla 3.2: Requisitos para la molienda del feldespato y el cuarzo.....	53
Tabla 3.3: Características de la estufa programable usada en el secado de las materias primas.....	55
Tabla 3.4: Porcentaje de óxidos en las materias primas nacionales.....	56
Tabla 3.5: Características del separador magnético utilizado.....	57
Tabla 3.6: Condiciones de trabajo del separador magnético usado.....	57
Tabla 3.7: Porcentaje de óxido de hierro presente en cada materia prima, luego de pasar por el separador magnético.....	58
Tabla 3.8: Porcentaje de arcilla, feldespato y cuarzo puros en cada materia prima.....	61
Tabla 3.9: Materias primas necesarias para la elaboración de la pasta cerámica.....	62
Tabla 3.10: Resultados de Límite líquido de la pasta.....	65

Tabla 3.11: Resultados del Límite Plástico de la pasta.....	67
Tabla 3.12: Evaluación del Índice de consistencia.....	68
Tabla 3.13: Límites de Atterberg de la mezcla.....	69
Tabla 3.14: Coeficiente de Plasticidad de Pfefferkorn.....	71
Tabla 3.15: Características de los equipos usados en la prueba de rigidez dieléctrica.....	77
Tabla 3.16: Resistividad volumétrica medida a 3 voltajes diferentes.....	81
Tabla 3.17: Módulo de ruptura y módulo de elasticidad.....	84
Tabla 3.18: Características generales del equipo usado en la prueba de resistencia a la compresión.....	85
Tabla 3.19: Resultados de la Prueba de Resistencia a la Compresión.....	85
Tabla 3.20: Comparación de los resultados promedio obtenidos de las pruebas de la pasta con datos bibliográficos.....	86
Tabla 3.21: Tiempo de secado de las barras extruidas.....	89
Tabla 3.22: Condiciones de trabajo óptimas para el torneado.....	90
Tabla 3.23: Ciclo de secado para los aisladores formados.....	93
Tabla 3.24: Características del horno utilizado en la cocción.....	93
Tabla 3.25: Ciclo de cocción para los aisladores formados.....	94
Tabla 3.26: Formulación del esmalte para aisladores.....	95
Tabla 3.27: Composición típica de una frita.....	96
Tabla 3.28: Densidad del esmalte para el aislador ANSI 53-2.....	97
Tabla 3.29: Ciclo de cocción para los aisladores esmaltados.....	98

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1: Valores de las propiedades electromecánicas según la norma ANSI C29.3.....	99
Tabla 4.2: Dimensiones de los aisladores fabricados vs los existentes en el mercado.....	100
Tabla 4.3: Resistencia mecánica transversal de los aisladores.....	102
Tabla 4.4: Valores obtenidos en la prueba de tensión de flameo en seco de los aisladores.....	104
Tabla 4.5: Valores obtenidos del ensayo de tensión de flameo en húmedo de los aisladores, montaje vertical.....	106

Tabla 4.6: Valores obtenidos del ensayo de tensión de flameo en húmedo de los aisladores, montaje horizontal.....	106
--	-----

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1: Composición química del acero ASTM A36 usado en la fabricación de herrajes.....	110
Tabla 5.2: Características básicas del acero ASTM A36.....	110
Tabla 5.3: Especificaciones de conductores utilizados para sistemas de baja tensión.....	113
Tabla 5.4: Tensión máxima de rotura para conductores utilizados para baja tensión.....	114
Tabla 5.5: Presión del viento para conductores de baja tensión.....	116
Tabla 5.6: Sobrecarga del hielo para conductores de baja tensión.....	118
Tabla 5.7: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	118
Tabla 5.8: Características básicas de la varilla de sujeción.....	119
Tabla 5.9: Abrazadera de acero galvanizado simple (2 pernos), 140-160 mm.....	120
Tabla 5.10: Especificaciones técnicas del perno máquina de 1/2 x 2 Pulgadas.....	121
Tabla 5.11: Especificaciones técnicas del perno de rosca corrida 12,7 x 152,4 mm (1/2 x 6 pulgadas).....	122
Tabla 5.12: Dimensiones de arandelas redondas.....	124
Tabla 5.13: Dimensiones para la arandela de presión.....	125
Tabla 5.14: Características generales del Bastidor (rack) de 1 vía.....	127
Tabla 5.15: Especificaciones particulares de los bastidores (Rack).....	129
Tabla 5.16: Dimensiones del perno para rack.....	130
Tabla 5.17: Composición Química del cinc según la norma ASTM B6 (%).....	133

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1: Masa de Cinc depositada en cada elemento.....	143
---	-----

ANEXOS

Tabla I: Análisis químicos realizados a la muestra de Arcilla por el Laboratorio de Análisis Químicos de la FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....	164
Tabla II: Análisis químico realizado a la muestra de Feldespato por el Laboratorio de Análisis Químicos de la FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....	165
Tabla III: Análisis químico para determinar la cantidad de Fe_2O_3 en la Arcilla "Plan Milagro" después de pasar 3 veces por el separador magnético.....	166
Tabla IV: Resumen de los Análisis químicos realizados.....	168
Tabla V: Porcentajes de humedad presentes en las materias primas.....	176
Tabla VI: Datos obtenidos al realizar la prueba de Atterberg a la pasta.....	178
Tabla VII: Datos obtenidos para la mezcla.....	178
Tabla VIII: Coeficiente de Plasticidad de Pfefferkorn para la pasta.....	180
Tabla IX: Resultados de contracción en el diámetro.....	182
Tabla X: Absorción de agua de la pasta cocida a 1160 °C.....	184
Tabla XI: Coeficiente de dilatación térmica.....	187
Tabla XII: Resultados de las pruebas de rigidez dieléctrica y resistividad volumétrica en la pasta reformulada.....	189
Tabla XIII: Resultados de Rigidez Dieléctrica de la pasta cocida a 1160 °C...	190
Tabla XIV: Resultados de Resistividad Volumétrica de la pasta cocida a 1160 °C.....	190
Tabla XV: Resultados obtenidos del Módulo de Ruptura de la pasta cocida a 1160 °C.....	195
Tabla XVI: Resultados obtenidos del Módulo de Elasticidad de la pasta cocida a 1160°C.....	194
Tabla XVII: Resultados obtenidos de la prueba de compresión de la pasta cocida a 1160°C.....	195
Tabla XVIII: Ciclo de secado para aisladores, Garzón, 2001.....	197
Tabla XIX: Pruebas de Secado en los Aisladores, Ciclo N°1.....	197
Tabla XX: Pruebas de Secado en los Aisladores, Ciclo N°2.....	198
Tabla XXI: Ciclo de cocción para aisladores cerámicos.....	201
Tabla XXII: Densidad absoluta del agua Norma INEN 1009.....	203

Tabla XXIII: Ensayo de tensión de flameo en seco.....	206
Tabla XXIV: Ensayo de tensión de flameo en húmedo montaje vertical.....	206
Tabla XXV: Ensayo de tensión de flameo en húmedo montaje horizontal.....	206
Tabla XXVI: Peso de la capa de zinc para diferentes materiales.....	210
Tabla XXVII: Composición química y propiedades mecánicas del Acero A36.	213

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1: Sujeción por medio de bastidores secundarios.....	11
Figura 1.2: Partes de un bastidor de baja tensión de dos vías.....	12
Figura 1.3: Mapa con la ubicación de las minas de feldespato, arcilla y sílice en el Ecuador.....	18
Figura 1.4: Propiedades de la porcelana en función de las materias primas.	20
Figura 1.5: Diagrama de bloques para la elaboración de los aisladores eléctricos por proceso húmedo.....	27

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: Nomenclatura utilizada para la automatización del torno.....	34
Figura 2.2: Esquema del aislador tipo ANSI 53-2.....	41
Figura 2.3: Ángulos de una herramienta de corte.....	44
Figura 2.4: Esquema general del montaje de las piezas de torneado.....	47

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Arcilla después del pasar por el filtro prensa.....	54
Figura 3.2: Diagrama triaxial para porcelanas.....	60
Figura 3.3: Límites de Atterberg.....	64
Figura 3.4: Equipo Casagrande del Laboratorio de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.....	65
Figura 3.5: Número de golpes vs. Porcentaje de humedad.....	66
Figura 3.6: Equipo Plasticímetro Pfefferkorn.....	70
Figura 3.7: Humedad de la muestra (%) versus el coeficiente de Pfefferkorn	72

Figura 3.8: Verificación de porosidad en las probetas de pasta cerámica...	76
Figura 3.9: Equipo usado en la prueba de rigidez dieléctrica.....	78
Figura 3.10: Dimensiones de los electrodos para la Resistividad Volumétrica.....	79
...	
Figura 3.11: Equipo usado en la prueba de resistividad volumétrica.....	80
Figura 3.12: Montaje de las probetas para determinar el módulo de ruptura y de elasticidad de la porcelana.....	83
Figura 3.13: Pasta después del amasado.....	87
Figura 3.14: Barras obtenidas por extrusión.....	88
Figura 3.15: Orificio de la barra extruida.....	90
Figura 3.16: Aislador formado en el torno.....	92
Figura 3.17: Aisladores después del ciclo de cocción.....	94
Figura 3.18: Aisladores ANSI 53-2 terminados.....	98

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Ensayo de resistencia mecánica transversal de los aisladores...	101
Figura 4.2: Momento de la fractura en el ensayo de resistencia transversal	101
Figura 4.3: Equipo usado en el ensayo de tensión de flameo en seco.....	103
Figura 4.4: Montaje vertical para el ensayo de tensión de flameo en	105

húmedo.....	
..	
Figura 4.5: Montaje horizontal para el ensayo de tensión de flameo en húmedo.....	105

CAPÍTULO 5

Figura 5.1: Abrazadera sin salida con dos pernos.....	109
Figura 5.2: Abrazadera simple de una salida con dos pernos.....	109
Figura 5.3: Perno maquina 1/2 x 2 Pulgadas.....	121
Figura 5.4: Perno de rosca corrida 12,7 x 152,4 mm (1/2 x 6 pulgadas).....	122
Figura 5.5: Arandela redonda.....	123
Figura 5.6: Arandela de presión.....	124
Figura 5.7: Bastidor o rack de una vía sin base, con abrazadera sin salida.....	128
Figura 5.8: Bastidor o rack de una vía con base, y abrazadera de una salida.....	128
..	
Figura 5.9: Perno para rack.....	130
Figura 5.10: Pasador elástico de seguridad AISI 304.....	131
Figura 5.11: Abrazadera de diámetro 140-160 mm.....	138
Figura 5.12: Bastidor de una vía sin base.....	138
Figura 5.13: Bastidor de 2 vías.....	139
Figura 5.14: Bastidor de 3 vías.....	139

CAPÍTULO 6

Figura 6.1: Prueba de adherencia de la capa de Zinc.....	142
---	-----

ANEXOS

Figura I: Peso de los aisladores en función del tiempo de secado. Ciclo N°1	198
Figura II: Peso de los aisladores en función del tiempo de secado. Ciclo N°2.....	199
....	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Planos de construcción de los elementos usados en la adecuación del torno semiautomático de la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.....	155
Anexo 2: Dimensionamiento del aislador eléctrico tipo ANSI 53.2.....	161
Anexo 3: Análisis químicos realizados a las materias primas nacionales....	163
Anexo 4: Cálculos mineralógicos realizados a las materias primas nacionales.....	167
Anexo 5: Cálculos para la formulación y dosificación de la pasta cerámica.	172
Anexo 6: Determinación del contenido de humedad de las diferentes materias primas a temperatura ambiente.....	175
Anexo 7: Determinación de los límites de Atterberg para las pastas cerámicas formuladas.....	177
Anexo 8: Determinación de los límites de Pfefferkorn para las pastas cerámicas formuladas.....	179
Anexo 9: Determinación de la contracción lineal de la pasta formulada.....	181
Anexo 10: Cálculo de la absorción de agua de la pasta cerámica cocida a diferentes temperaturas.....	183
Anexo 11: Coeficiente de dilatación térmica de la pasta cerámica.....	186
Anexo 12: Pruebas eléctricas realizadas a la pasta cerámica.....	188
Anexo 13: Pruebas mecánicas realizadas a la pasta cerámica.....	191
Anexo 14: Ciclo de secado de los aisladores tipo 53-2.....	196
Anexo 15: Ciclo de cocción de los aisladores tipo 53-2.....	200
Anexo 16: Densidad del esmalte aplicado al aislador ANSI 53-2.....	202
Anexo 17: Pruebas eléctricas para los aisladores tipo 53-2.....	205
Anexo 18: Características del proceso de galvanizado en caliente de los bastidores eléctricos.....	209
Anexo 19: Características Químicas y Mecánicas del Acero A36.....	212
Anexo 20: El WPS (Welding Processing Specifications) para los bastidores.....	214
Anexo 21: Planos de los bastidores y abrazaderas.....	216

RESUMEN

El proyecto se realiza con el objetivo de culminar el proceso de fabricación de los aisladores eléctricos de porcelana tipo ANSI 53-2, con materia prima nacional y en base a los equipos existentes en la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

El proceso comienza con el estudio de las materias primas nacionales, realizando: análisis físicos, químicos y mineralógicos, para luego ser sometidas a procesos de molienda y purificación, hasta obtener un tamaño de partícula de 45 micras y un contenido de hierro menor a 0,5% en su composición.

En base a los análisis realizados se formula y elabora la pasta cerámica, a la cual se realizan: pruebas físicas, eléctricas y mecánicas, para determinar que cumpla con los requerimientos de una porcelana eléctrica.

La pasta se amasa y deja madurar para pasar al proceso de extrusado, obteniendo barras cilíndricas libres de porosidades, las mismas que son formadas en un torno automático construido específicamente para elaborar los aisladores.

Los aisladores formados, se secan y luego someten a un proceso de cocción y esmaltado, en donde se definen las características finales del aislador.

A los aisladores elaborados, se realizan: pruebas eléctricas y mecánicas bajo la norma ANSI C29.1, con las cuales se determina la calidad del aislador obtenido.

En este proyecto se diseñó el proceso para la fabricación de los herrajes (bastidores y abrazaderas) usados para la sujeción de este tipo de aisladores, a los postes de tendido eléctrico de baja tensión, en base a los equipos comunes que se encuentran en un taller metalúrgico. Se establecieron también los parámetros para un adecuado proceso de galvanizado en caliente en base a la norma ASTM A153.

Al finalizar el proyecto se espera que el método sirva para la industrialización y fabricación de los aisladores eléctricos tipo ANSI 53-2 y de los bastidores correspondientes, para de esta manera satisfacer la demanda nacional de

productos electrocerámicos, a un costo reducido; especialmente la de estos aisladores eléctricos cuya fabricación no se la realiza en el País.

INTRODUCCIÓN

La fabricación de aisladores eléctricos de porcelana tipo ANSI 53-2 y sus respectivos herrajes de sujeción, es la prolongación del proyecto de investigación apoyada por la Fundación para la Ciencia y la Tecnología FUNDACYT, conjuntamente con la Escuela Politécnica Nacional y la Universidad Nacional de Cuenca, desarrollado en la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

Este estudio es la etapa final del Proyecto PIC-098 y constituye la continuación del proyecto P-BID-088 que culmina con la elaboración de un bien comercial, como son los aisladores eléctricos de porcelana, los cuales son de gran utilidad para las Empresas Eléctricas del País.

La Planta Piloto de Cerámica fue construida en base de los fondos del Proyecto P-BID-088, cuya meta es cumplir con el objetivo general del presente proyecto, el cual es fabricar aisladores eléctricos de media y baja tensión mediante un proceso de formación automatizado de torneado en húmedo, debidamente esmaltado y con acabados completos.

El método propuesto de fabricación de los aisladores eléctricos tipo ANSI 53-2, se fundamenta en las propiedades físicas y químicas de las materias primas usadas, en especial, en los índices de contracción y dilatación de la pasta, obteniéndose así un producto capaz de competir en calidad y precio, con los fabricados en el extranjero, evitando con ello, la salida de divisas al exterior por la importación de estos bienes como actualmente se lo viene haciendo.

Este estudio puede significar la base para el diseño y escalado de una planta industrial que satisfaga la demanda actual de aisladores eléctricos, incentivando el desarrollo de la industria electrocerámica y minera del País, aprovechando la abundancia de materias primas que existen en nuestro territorio y que aún no son explotadas. Con esto se logrará evitar la importación tanto de materias primas así como de aisladores eléctricos y consecuentemente la salida de divisas del País.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. LÍNEAS AÉREAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

Se llama línea aérea, a la instalación de elementos de conducción y elementos de soporte, cuya finalidad es la transmisión aérea de energía eléctrica. La conducción de energía se realiza a través de conductores, aisladores y accesorios, y las estructuras de soporte están formadas por postes y cimentaciones.

Todos los elementos constructivos de una línea aérea deben ser: elegidos, conformados y contruidos, de tal manera que tengan un comportamiento seguro en condiciones de servicio; bajo condiciones climáticas que normalmente son de esperar; bajo tensiones eléctricas de régimen; bajo corriente de régimen y bajo condiciones de cortocircuito esperables.

1.7.3. CONDUCTORES O CABLES.

Los conductores o cables de fase utilizados para líneas aéreas de transmisión de energía, son conductores desnudos, usualmente son de aluminio con alma de acero. Para distribución, en la mayoría de los casos, se emplean aleaciones de aluminio y el cobre se utiliza cada vez menos.

1.7.4. AISLADORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS.

Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente el conductor, manteniéndolo aislado de tierra y de otros conductores. Deben soportar la carga mecánica que el conductor transmite al poste a través de ellos, así como aislar eléctricamente el conductor del poste, soportando la tensión eléctrica en condiciones normales, anormales, y sobretensiones.

La tensión eléctrica debe ser soportada tanto por el material aislante propiamente dicho, como por su superficie y el aire que rodea al aislador, por lo tanto surge la importancia del diseño geométrico, para que en particular, no se presenten campos intensos en el cuerpo del aislador, que puedan iniciar una crisis del sólido aislante.

La geometría del perfil de los aisladores tiene mucha importancia en su buen comportamiento: en condiciones normales, bajo lluvia, y en condiciones de contaminación salina, que se presentan en las aplicaciones reales cerca del mar o desiertos, o contaminación de polvos cerca de zonas industriales.

La contaminación puede ser lavada por la lluvia, pero en ciertos lugares no llueve suficiente para que se produzca este efecto beneficioso, o la contaminación es muy elevada y no es eliminada. No hay duda de que la terminación superficial del aislante es muy importante para que la adherencia del contaminante sea menor, y reducir el efecto de deterioro.

1.7.4.1. Materiales de los aisladores.

Históricamente se han utilizado distintos materiales: porcelana, vidrio, y actualmente materiales compuestos, y la evolución ha ocurrido en la búsqueda de mejores características y reducción de costos.

1.7.4.1.1. Porcelana.

Es una pasta de arcilla, cuarzo y feldespato, se le da forma y por horneado se obtiene una cerámica de uso eléctrico.

El material es particularmente resistente a la compresión, por lo que se han desarrollado especialmente diseños que tienden a solicitarlo de esa manera.

1.7.4.1.2. Vidrio.

Se usa vidrio templado, que cumple la misma función de la porcelana, se trabaja por moldeado colándolo, debiendo ser en general de menor costo.

Se puede afirmar que en general la calidad de la porcelana puede ser más controlada que la del vidrio, esta situación es evidenciada por una menor dispersión de los resultados en los ensayos de rotura.

1.7.4.1.3. Materiales compuestos.

Se utiliza fibra de vidrio y resina en el núcleo, y distintas "gomas" en la parte externa, con formas adecuadas, se ha introducido en los años más recientes la tecnología del aislador compuesto.

1.7.4.2. Condiciones generales que deben cumplir los aisladores.

Los aisladores empleados en las líneas eléctricas aéreas, deben cumplir lo siguiente:

- a) Rigidez dieléctrica suficiente, para que su tensión de perforación sea muy superior a la tensión de servicio, con objeto de que soporten las sobretensiones que puedan presentarse en la línea, sin peligro de perforación. La rigidez dieléctrica de un aislador, depende esencialmente del material que lo constituye y del espesor del mismo.
- b) Forma adecuada, para evitar las descargas de contorneamiento entre el conductor en contacto con los aisladores y los soportes metálicos que fijan estos mismos aisladores y que, a su vez se fijan a los apoyos de la línea.
- c) Disminuir la corriente de fuga entre aislador y soporte hasta que su valor sea prácticamente despreciable, en las condiciones más desfavorables como cuando el aislador está sometido a la lluvia.

- d) Resistencia mecánica suficiente, para que trabaje en buenas condiciones de seguridad bajo la acción de los esfuerzos que el conductor transmitirá al aislador. La carga de rotura debe ser por lo menos igual, a la del conductor que debe soportar, aplicada dicha carga en la sección de amarre del conductor al aislador.

1.7.4.3. Características mecánicas y eléctricas que definen a un aislador eléctrico

1

Los ensayos de características mecánicas se hacen con sollicitación eléctrica simultánea.

Al estar sometidos a las inclemencias del tiempo, una característica muy importante es la resistencia al choque térmico (que simula el pasar del pleno sol a la lluvia).

También por los sitios donde se instalan, los aisladores pueden ser sometidos a actos vandálicos (tiros con armas, proyectiles pétreos o metálicos arrojados), es entonces importante cierta resistencia al impacto.

Frente a estas sollicitaciones, el comportamiento de los tres tipos de materiales es totalmente distinto: el vidrio puede estallar, siendo una característica muy importante que la cadena no se corte por este motivo; la porcelana se rompe perdiendo algún trozo, pero generalmente mantiene la integridad de su cuerpo, mecánicamente no pierde características, sólo son afectadas sus características eléctricas; con los aisladores compuestos, por su menor tamaño, es menos probable que la agresión acierte el blanco; los materiales flexibles no se rompen por los impactos y las características del aislador no son afectadas.

¹ MENA, Johnny; Automatización del torno de la planta piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional para la Elaboración de aisladores eléctricos tipo 53-3; EPN; Quito 2008; Pág.1-3, 6-8, 16

Mediante los correspondientes ensayos, se han de comprobar las siguientes características:

- Línea de fuga.
- Distancia disruptiva.
- Tensión de corona.
- Tensión disruptiva en seco a la frecuencia normal.
- Tensión disruptiva bajo lluvia a la frecuencia normal.
- Tensión disruptiva con ondas de sobre tensión de frente recto.
- Tensión de perforación.
- Carga de rotura mecánica (tracción, compresión, flexión, torsión, según cada tipo de aislador).
- Carga de rotura combinada electromecánica.
- Ensayo con alta frecuencia.
- Ensayo mecánico de larga duración.

1.7.4.3.1. Línea de fuga.

Es la distancia medida sobre la superficie del aislador, entre las fuerzas conductoras de las que está provisto el mismo, en las condiciones que se establecen para los ensayos de tensión disruptiva.

1.7.4.3.2. Distancia disruptiva.

Es la distancia en el aire, entre las piezas de las que está provisto el aislador en las condiciones establecidas para los ensayos. También se denomina de contorneamiento.

1.7.4.3.3. Tensión de corona.

Es el valor eficaz de la tensión en cualquier punto del aislador, expresado en kilovoltios, y al que deja de ser visible en la oscuridad toda manifestación luminosa, causada por la ionización del aire o efecto corona.

1.7.4.3.4. Tensión disruptiva.

Se denomina también tensión de contorneamiento y es el valor eficaz de la tensión expresado en kilovoltios, cuando se produce la descarga disruptiva en el aislador. Se produce a través del aire bajo aspecto de una chispa, o conjunto de chispa y arco, que establecen conexión eléctrica entre las piezas metálicas del aislador sometidas a la tensión de servicio.

Para la determinación de la tensión disruptiva en seco a la frecuencia normal, se somete al aislador a un ensayo en atmósfera seca, a una frecuencia de 60 Hz.

Para determinar la tensión disruptiva bajo lluvia a la frecuencia normal, el ensayo también se realiza con una frecuencia de 60 Hz, sometiendo al aislador a los efectos de una lluvia artificial. Las normas establecen que en ambos casos, se debe determinar la tensión mínima disruptiva durante 5 determinaciones sucesivas sobre el aislador, en ensayos de un minuto de duración.

La tensión disruptiva con ondas de sobretensión de frente recto o escarpado, es el valor de cresta de la tensión de la onda expresado en kilovoltios, en que se produce la descarga disruptiva; para los ensayos se utilizan trenes de ondas de choque de frente escarpado de duración 1,2- 50 ms, obtenidas en generadores de ondas, que van aumentando de valor hasta que producen aproximadamente un 50% de descargas de contorneamiento sobre un mismo aislador. Este valor de tensión de choque, es el que se adopta como valor característico del aislador.

1.7.4.3.5. Tensión de perforación.

Es el valor eficaz de la tensión expresado en kilovoltios, en el cual tiene lugar la perforación del aislante. Comprende la destrucción localizada del material, producida por una descarga que atraviesa el cuerpo del aislador. El desprendimiento de un fragmento del borde por efecto del calor de un arco de contorneamiento, no debe considerarse como perforación. Las normas establecen que los ensayos para la tensión de perforación, se realicen a la frecuencia normal de 60 Hz, aumentando el valor de la tensión gradualmente, a razón de 1000 V/seg, hasta llegar a la perforación del aislador.

1.7.4.3.6. Carga de rotura mecánica.

Es la carga expresada en kgf, a la que tiene lugar la rotura del aislador. Para cada tipo de aislador se le aplican diferentes clases de esfuerzos.

- a) Aisladores de apoyo. Tracción aplicada a la altura de la ranura del cuello del aislador.
- b) Aislador de suspensión. Tracción en dirección del eje, aplicada en los puntos de conexión de los herrajes.
- c) Aisladores de polea. Tracción transversal normal al eje, aplicada en la ranura externa de la polea.
- d) Aisladores para vientos. Tracción longitudinal en dirección del eje principal.

Los demás tipos de aisladores generalmente no se someten a ensayos de rotura mecánica.

1.7.4.3.7. Carga de rotura combinada, electromecánica.

Es la carga expresada en kgf, a la cual el aislador deja de cumplir su cometido eléctrico o mecánico, cuando está sometido simultáneamente a un esfuerzo mecánico y a una tensión eléctrica, en las condiciones establecidas en el ensayo.

La carga de rotura combinada, solamente se determina en los aisladores de suspensión, sometiéndolos a un esfuerzo creciente de tracción mecánica y

aplicando simultáneamente una tensión eléctrica a la frecuencia normal, e igual al 90 % de la tensión disruptiva en seco.

Además de los ensayos citados anteriormente y que pueden considerarse obligatorios para la determinación de las características de los aisladores, en ciertos casos se efectúan también ensayos especiales para comprobar alguna característica peculiar del aislador; estos ensayos deben realizarse solamente previo acuerdo entre el fabricante y el comprador.

1.7.4.3.8. Ensayo con alta frecuencia.

Se someten los aisladores durante 10 segundos a una tensión alterna caracterizada por una sucesión de trenes de ondas amortiguadas, de frecuencia comprendida entre 200 kHz y 300 kHz, cuyos trenes de ondas se repiten aproximadamente 100 veces por segundo. El valor de la tensión será tal que provoque una sucesión ininterrumpida de chispas contorneando el aislador. Debe desecharse la partida de aisladores, si el número de éstos que se perforan durante el ensayo es superior al 10%.

1.7.4.3.9. Ensayo mecánico de larga duración.

Los aisladores se someten a un esfuerzo mecánico continuo durante largo período de tiempo. Los valores del esfuerzo y del tiempo se establecen previamente entre el fabricante y el comprador.

Después del ensayo los aisladores se someten durante 1 minuto a una tensión de frecuencia normal, cuyo valor sea tal que provoque descargas disruptivas externas cada 4 ó 5 segundos. Los aisladores deben resistir este ensayo sin perforarse.

Una característica importante es la radio interferencia, ligada a la forma del aislador, a su terminación superficial y a los electrodos.

En las cadenas de aisladores, especialmente cuando el número de elementos es elevado, la repartición de la tensión debe ser controlada con electrodos adecuados,

o al menos cuidadosamente estudiada a fin de verificar que en el extremo crítico, las solicitaciones que se presentan sean correctamente soportadas.

1.7.4.4. Fallas en los aisladores eléctricos.

El paso de la corriente del conductor al apoyo, puede producirse:

- a) Sobre su superficie: cuando "contornean", por la aparición de una sobretensión que ioniza el aire circundante de tal modo que el aire ionizado (eléctricamente conductor) establece (por un periodo corto de tiempo) un cortocircuito, entre el conductor y tierra, o por haber alcanzado el grado de contaminación crítico.

Generalmente, esta falla no los deteriora definitivamente y pueden continuar en servicio.

Esta conductividad recibe el nombre de efecto corona y suele reducirse dando un perfil adecuado a la superficie del aislador.

- b) Por perforación de la masa del aislador: al ser muy difícil mantener la uniformidad dieléctrica de un material en toda su masa, existe el peligro de que se perfore el aislador, sobre todo si el espesor es grande. Por ello los aisladores suelen fabricarse en varias piezas de pequeño espesor unidas por una pasta especial.
- c) Por descarga disruptiva a través del aire: puede producirse un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica a veces no es suficiente para evitar la descarga. Esto suele ocurrir con la lluvia, debido a la ionización del aire, y se puede evitar con un diseño adecuado para aisladores de intemperie, tratando de aumentar la distancia entre aislador y soporte, de forma que la tensión necesaria para la formación del arco sea mayor.

A mayor cantidad de aisladores, mayor es la tensión eléctrica resistida, de modo que las más altas tensiones pueden ser soportadas, con el incremento del número de aisladores que forman la cadena de aisladores.

1.7.5. ACCESORIOS Y SOPORTES (HERRAJES)

Los Herrajes son estructuras metálicas que acompañan la estructura de soporte de las líneas de transmisión aéreas y que poseen muy variadas funciones, las cuales se mencionan a continuación:

- La fijación en suspensión o amarre, de los conductores e hilos de guarda a las estructuras.
- La unión mecánica y/o eléctrica: de los conductores, hilos de guarda y puestas a tierra.
- La protección mecánica: de los conductores, aisladores e hilos de guarda.

Estos herrajes deberán tener suficiente resistencia mecánica, para soportar la tensión máxima resultante de la aplicación de las cargas correspondientes al cableado.

La unión de los conductores con los aisladores y de éstos con los apoyos, se efectúa mediante piezas metálicas, denominadas bastidores

1.7.5.1. Bastidores o Racks.

Los bastidores o Racks, se usan para montar los aisladores tipo carrete y por medio de éstos, fijar los cables aéreos de baja tensión en los postes de la red abierta, en el sistema de distribución de energía eléctrica y éstos van sujetos por medio de

abrazaderas ó cinta metálica tangentes al poste. Se clasifican según el número de puestos o líneas a recibir, que van desde uno a cinco puestos.

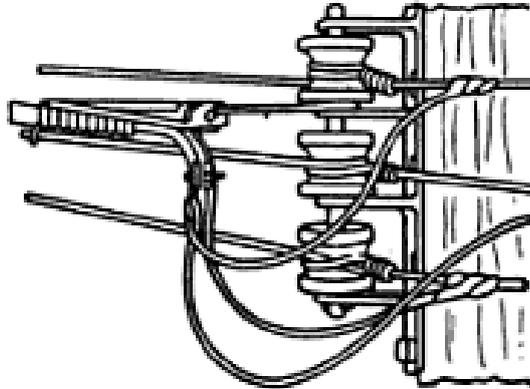


Figura 1.1: Sujeción por medio de bastidores secundarios. ²

Los bastidores o racks son elementos de características geométricas y mecánicas tales, que les permiten adaptarse a las limitaciones impuestas por otros elementos y por los postes, son fabricados de acero galvanizado en caliente y son utilizados en la construcción de líneas eléctricas aéreas de baja tensión, para soportar el aislador tipo carrete.

Los conjuntos típicos de aisladores de polea y de sostenedor de hilo, están formados por algunas piezas que aseguran la sujeción al poste.

Para el presente proyecto, se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas de las principales Empresas Eléctricas del País.

- Quito (Empresa Eléctrica Quito S.A.)
- Ambato (Empresa Eléctrica de Ambato S.A.)
- Riobamba (Empresa Eléctrica Riobamba S.A.)
- Ibarra (Emelnorte S.A.)
- Cuenca (Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.)
- Loja (Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.)

² T, Croft; CLIFFORT L., Carr; JOHN H., Watt; Manual del Montador Electricista; Tercera Edición; Editorial Reverte S.A; España 1994; Pág. 41

- Guayaquil (Empresa Eléctrica de Guayaquil CNEL)

El conjunto bastidor o rack, debe estar conformado por los siguientes elementos:

- Cuerpo base o percha.
- Porta aislador
- Perno para aislador tipo carrete, o Varilla de retención: $\varnothing 5/8"$; cabeza redonda o plana
- Pasador de seguridad.

En la figura 1.2, se puede observar la ubicación y la función de cada uno de los elementos para la sujeción de los cables de la red de baja tensión.

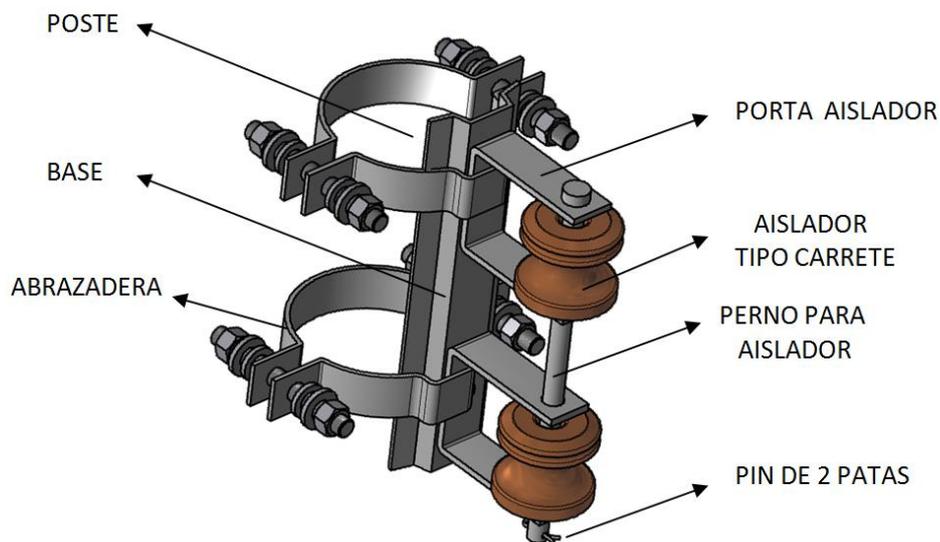


Figura 1.2: Partes de un Bastidor de baja tensión de dos vías.

Elaboración: Propia

La sujeción de bastidor al poste, se lo realiza por medio de abrazaderas o cinta metálica, siendo predominante en el país para este tipo de sujeción, el uso de las abrazaderas.

1.7.5.2. Materiales y Procesos de Fabricación.

Para la fabricación de herrajes eléctricos como son los bastidores o racks y las abrazaderas, se usa principalmente el acero estructural ASTM A36 galvanizado por

inmersión en caliente, también se puede usar el acero al carbono SAE 1020 o 1040, fundición maleable y acero inoxidable para empalmes de hilos de guarda.

Los procesos de fabricación son: el forjado, la extrusión, y la fundición cuando las piezas son de forma compleja.

Los orificios necesarios en el diseño, no deben obtenerse por punzonado o troquelado, porque esta operación produce una gran alteración del metal en la zona inmediata a la perforación. Si se requiere, las piezas se deben someter a recocido para eliminar tensiones internas.

Si alguna solución constructiva en particular no hiciera uso de estos materiales normales, se debe tener presente la posibilidad de que aparezcan juntas galvánicas, que inicien procesos de corrosión y comprometan la integridad de algún componente.

Dadas las elevadas tensiones eléctricas presentes, la buena terminación superficial, es una cualidad importante, los herrajes de buena calidad deben presentar superficies lisas, sin fisuras, ni sopladuras, con contornos redondeados, sin puntas ni aristas vivas que causen concentración de líneas de campo y puedan ser fuentes de radio interferencia y/o efecto corona.

Por último, es importante un diseño que facilite su colocación, armado, desarmado, considerando las necesidades que imponen las modernas técnicas de mantenimiento a líneas de transporte energizadas.

1.7.5.3. Acabado superficial de los Herrajes.

Los elementos ferrosos deben protegerse de la corrosión, la práctica usual es por galvanizado por inmersión en caliente, de tal manera que estén libres de rebabas,

grietas, asperezas, irregularidades, fracturas u otra deformación, y se verificará según lo descrito en la norma ASTM A 153 y ASTM A 123, aunque puede convenirse con el proveedor otro tratamiento conveniente.

1.7.5.4. Resistencia mecánica.

Los herrajes deben soportar el valor mínimo de carga de ruptura particular, sin que se produzcan grietas fracturas u otra deformación.

1.7.5.5. Pruebas a realizar en los herrajes de sujeción.

Para poder garantizar que los bastidores cumplan con los requerimientos especificados en las normas correspondientes y en las especificaciones de las empresas eléctricas del país, se deben cumplir con las siguientes pruebas de verificación:

- Verificación de dimensiones
- Verificación de acabado
- Verificación de rosca (si es aplicable)
- Verificación de tracción
- Verificación de torsión
- Verificación del galvanizado

1.8. MATERIAS PRIMAS NACIONALES, USADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS AISLADORES ELÉCTRICOS.

Para la elaboración de la pasta cerámica utilizada en la fabricación de aisladores eléctricos, se usan los siguientes minerales, los cuales provienen de minas nacionales y cuya ubicación se expone a continuación

1.8.1. LA ARCILLA.

Proveniente de la mina Plan Milagro ubicada en el Cantón Limón- Indaza Parroquia Plan Milagro Provincia de Morona Santiago.

El acceso a la mina se lo realiza por la carretera Cuenca-Plan Milagro a aproximadamente 170 Km de Cuenca. La zona contiene rocas metamórficas y sedimentos de la cuenca amazónica. La mina está formada por rocas metamórficas de bajo grado (filita), observándose también rocas volcánicas intercaladas. Sobre las filitas se han formado capas arcillosas de algunos metros de espesor debido a la intensa meteorización. Estas capas arcillosas son explotadas en muchos pequeños depósitos, cuya ubicación depende de los espesores de las mismas. Los materiales explotados llevan los nombres: Delia Rosa cuando el porcentaje de cuarzo es menor al 10% y Plan Milagro cuando el porcentaje de cuarzo es mayor al 10%.

La reserva de arcilla Plan Milagro es de aproximadamente 1500 Toneladas métricas, el método de explotación es de forma artesanal.³

³ TAPIA, Juan; Uso de la automatización para el torneado y proceso de acabado de aisladores eléctricos tipo 53-3; EPN; Quito; 2010; Pág. 1-3

1.8.2. EL FELDESPATO.

Proviene de la mina La Ercilia, ubicada en el sector denominado Tierras Blancas en el cantón Echeandía Provincia de Bolívar, el ingreso a la mina es por un carretero afirmado de unos 6Km que une Echeandía con el sector Tierras Blancas en dirección Norte.

La mina está constituida por una roca intrusiva de textura granoblástica; la roca corresponde a un intrusivo ácido, que fresca es de color gris claro y se halla meteorizada con gran concentración de feldespatos.

La dimensión de la mina es de aproximadamente 300m de largo por 100m de ancho y 50m de desnivel entre los bancos. El método de explotación es a cielo abierto en bancos ascendentes usando pala mecánica, retroexcavadora y volquetas. Las reservas no han sido calculadas. ³

1.8.3. EL CUARZO.

Proviene de la mina Misahuallí, ubicada en el sector Pununo parroquia Puerto Misahuallí cantón Tena provincia del Napo. El acceso se lo realiza por el carretero Tena – Puerto Napo – Puerto Misahuallí, antes de esta última se toma un desvío que conduce al caserío de Pununo, siguiendo más al Norte hasta llegar a una cantera junto al río Misahuallí, a unos 3 km desde el desvío de la Y.

Existe un frente de explotación y una plataforma de carga, el afloramiento tiene 60m de largo, 20m de alto y más de 10m de ancho. La mina muestra un extenso afloramiento de arena silícica de la formación Hollín del Cretáceo. Las capas se encuentran en bancos de posición subhorizontal, el material es de color gris claro a blanco, en sectores se observa bandeamientos oscuros de suelo vegetal, la granulometría es de mediana a gruesa.

El método de explotación es a cielo abierto con el uso de explosivos para remover el material, la producción es de aproximadamente 20 camiones semanales, las reservas no han sido calculadas. ³

1.9. UBICACIÓN EN EL ECUADOR DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA CERÁMICA. ³

La materia prima utilizada por la industria cerámica ecuatoriana proviene de la explotación de recursos naturales del país.

En el país la oferta de materias primas de minerales no metálicos para la industria, está en manos de las propias empresas usuarias así como de terceros. Estas concesiones mineras son solicitadas al Ministerio de Energía y Minas, a través de la DINAMI “Dirección Nacional de Minería”.

Según información oficial de la DINAMI obtenida del 2005, en la tabla 1.1 se muestran el número de minas de feldespatos arcilla y cuarzo existentes en el País.

Tabla 1.1: Número de minas por tipo de material en el Ecuador

Tipo de Material	Numero de Minas
Arcilla y Caolín	39
Sílice	19
Feldespatos	14

En la figura 1.3 se muestra el mapa del Ecuador con la ubicación de las minas.



Figura 1.3: Mapa con la ubicación de las minas de feldespato, arcilla y sílice en el Ecuador

A pesar de los esfuerzos de la DINAMI, existen en el país todavía irregularidades en el sector minero, lo que hace que las estadísticas registradas a esa fecha no reflejen la verdadera situación sobre las minas que están en funcionamiento, al menos en el sector de los minerales no metálicos.

1.10. PORCELANA ELÉCTRICA.

1.10.1. PROPIEDADES DE LA PORCELANA ELÉCTRICA.

Los aisladores eléctricos de porcelana, tanto de baja como de alta tensión deben cumplir con algunas propiedades tanto mecánicas como eléctricas, propiedades que garantizan su correcto funcionamiento.

Entre las más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- Deben ser completamente vítreos para evitar la absorción de agua de la atmósfera. Los aisladores de baja tensión pueden tener una absorción de agua hasta el 0.5%, mientras que para los de alta tensión debe ser nula.
- Gran resistencia mecánica debido a los esfuerzos de tracción y cargas a las que deben estar sometidas.
- La porcelana eléctrica debe tener una constante dieléctrica baja (capacidad de almacenamiento eléctrico); rigidez dieléctrica o resistencia a la ruptura alta (capacidad para resistir un voltaje alto); resistividad volumétrica alta (resistencia eléctrica por unidad de volumen), un aislador cerámico debe tener una resistividad volumétrica mayor a $10^6 \Omega/\text{cm}^3$.

En la tabla 1.2 se muestran algunas propiedades de la porcelana eléctrica.

Tabla 1.2: Propiedades generales de la porcelana eléctrica. ³

Propiedades	Valor
Densidad relativa	1,90-2,48
Absorción de agua (%)	0,2-2,0
Conductividad térmica (W/m.K)	0,0020-0,0039
Resistencia a la tracción (lb/pulg ²)	1500-6000
Resistencia a la compresión (lb/pulg ²)	30000-60000
Resistencia al choque térmico (°C)	370-840
Rigidez dieléctrica (V/mm)	3540-7870
Resistividad volumétrica (Ω/cm^3)	$1,8-18 \times 10^{10}$
Constante dieléctrica (adimensional)	6,0-7,5

“Las porcelanas eléctricas, formadas por arcilla, cuarzo y feldespato, desarrollan sus propiedades útiles al sinterizarse a temperaturas del orden de 1400 °C, hasta lograr un alto grado de vitrificación.”⁴

Cada materia prima aporta una determinada propiedad a la porcelana eléctrica, la figura 1.4 muestra este aporte.

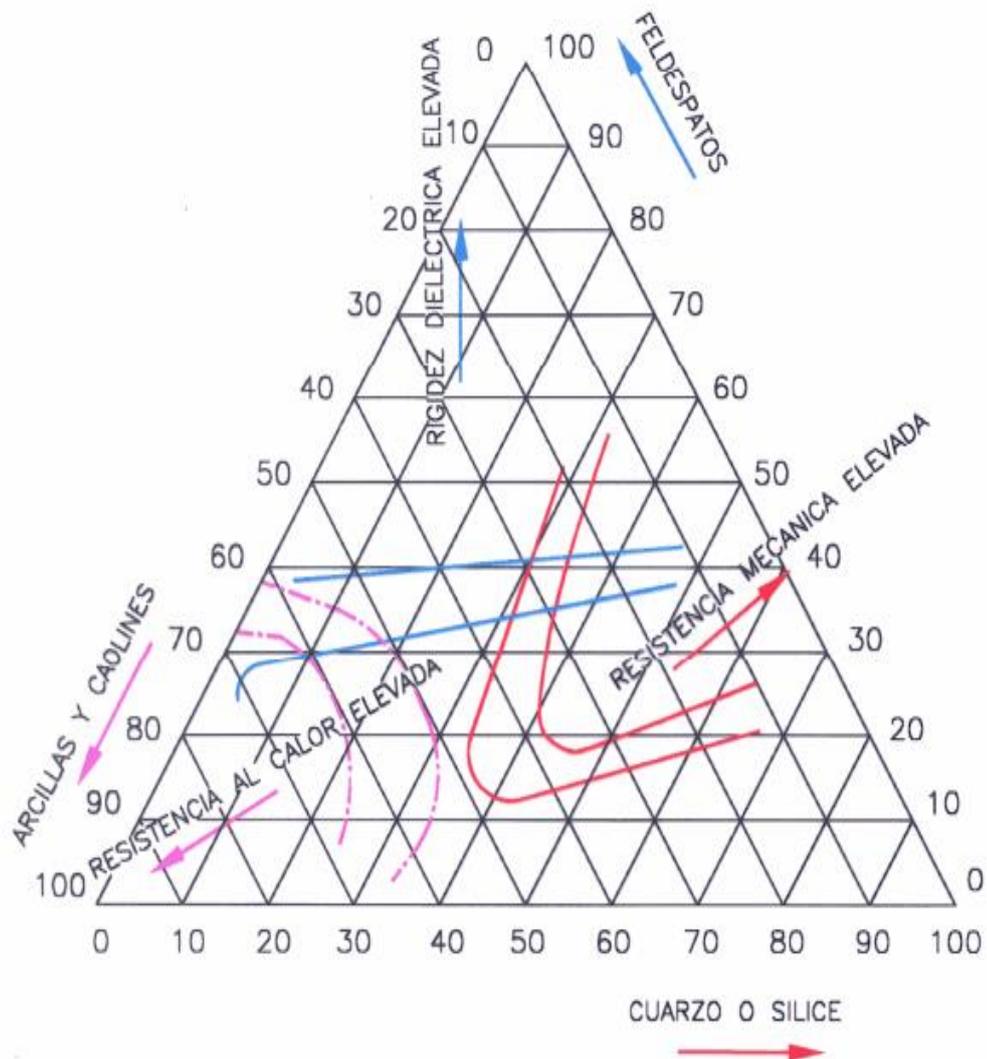


Figura 1.4: Propiedades de la porcelana en función de las materias primas.

⁴ HUANOSTA, A., Guzmán, J., Serrato, J., Bribiesca S.; Propiedades dieléctricas de una porcelana de baja tensión a través de espectroscopía de impedancias; Revista Mexicana de Física; 1999; Pág. 456.

Las propiedades que brindan los materiales constituyentes de las pastas cerámicas son las siguientes:

- Las arcillas dan la plasticidad, permiten la formación de las piezas en estado húmedo y dan una buena resistencia mecánica en seco, la cual es requerida para el manejo de la producción.
- Los caolines dan estabilidad en el proceso de cocción y reducen la tendencia a la deformación pirop lástica.
- Los feldespatos son formadores de vidrio durante el proceso de cocción, aunque las arcillas y el cuarzo también participan en la vitrificación.
- El cuarzo se disuelve parcialmente durante el proceso de cocción, creándose un fuerte enlace entre los cristales remanentes de cuarzo y la fase vítrea que lo rodea.
- El enriquecimiento en Al_2O_3 de la fase vítrea durante la cocción, origina la generación de cristales aciculares de Mullita, mineral que refuerza el sistema, dándole mayor resistencia mecánica y bajando la probabilidad de deformación a las altas temperaturas del horno. ⁵

1.11. ESMALTES CERÁMICOS.

Los esmaltes cerámicos consisten en una capa delgada de vidrio adherida a la superficie de un cuerpo cerámico y tienen como finalidad:

- Mejorar la apariencia de la superficie.
- Asegurar una película uniforme, brillante, suave y tersa que permita su fácil limpieza.

⁵ SINGER, F. Y SINGER, S.; Cerámica Industrial, Principios Generales de la Fabricación de Cerámica, Enciclopedia de la Química Industrial, Volumen II; Tomo 10; Primera Edición; Ediciones Espartero; Bilbao, España; 1976; Pág. 146.

- Aumentar la resistencia mecánica y la resistencia al rayado.

Contrario a lo que piensa el común de la gente, los esmaltes no tienen nada que ver con la prevención de la absorción de agua en la porcelana. Por su característica de “cero porosidad”, la porcelana eléctrica misma, no debe absorber agua.

Normalmente los esmaltes se preparan en forma de suspensión de los materiales constitutivos en agua y se aplican por inmersión o por rociado sobre la porcelana cruda, para lograr una superficie uniforme. Durante el proceso de cocción, los materiales reaccionan y funden, para formar una capa delgada de vidrio sobre la superficie.

Los esmaltes pueden ser coloreados o incoloros, transparentes, translúcidos u opacos. El esmalte opaco produce el color más uniforme, al mismo tiempo que conserva excelentes propiedades de resistencia

Existen innumerables composiciones de esmaltes, debido a que se aplican a pastas de naturalezas química y física variables, maduran a una diversidad de temperaturas y poseen variadas propiedades específicas en el acabado de la pieza a elaborar; lo cual hace que sea muy difícil clasificarlos sistemáticamente.

1.11.1.FUNCIONES DE LOS ESMALTES EN LA PORCELANA ELÉCTRICA.

Las funciones esenciales que el esmalte cumple en un aislador de porcelana son básicamente dos:

- Proporcionar un mejor acabado superficial, debido a que por sus características vítreas, puede mantenerse libre de polvo y contaminación, debidas a la acción de las lluvias y el viento.
- Ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de la porcelana, ya que durante el proceso de cocción, el esmalte hace parte integral de la

porcelana mediante un entrelazamiento molecular, robusteciendo mecánicamente toda la pieza.

1.11.2. PROPIEDADES DE LOS ESMALTES ³

- La fusibilidad debe ser tal que se forme el máximo de vidrio líquido a la temperatura de maduración deseada.
- La viscosidad debe ser moderada a la temperatura máxima de cocción, de tal modo que las superficies de la pieza y el esmalte queden igualadas.
- La tensión superficial debe ser baja, para evitar desigualdades en la superficie del esmalte y para evitar la formación de burbujas.
- La volatilización de los componentes del esmalte debe ser mínima, para evitar que se altere su composición y evitar la contaminación del horno.
- La reacción con la pasta debe ser moderada, a fin de lograr una buena aceptación sin demasiado cambio en la composición.
- El coeficiente de expansión y el módulo de elasticidad de Young, deben guardar tal relación con los de la pasta, que se consiga la máxima resistencia
- Dureza alta para resistir la abrasión y rayado
- Elevada resistencia al ataque químico en ambientes contaminados.

1.11.3. APLICACIÓN DEL ESMALTE. ¹

Antes de aplicar el esmalte a la porcelana cruda (porcelana sin quemar), la superficie debe estar completamente libre de polvo, de modo que el esmalte pueda adherirse y se logre una superficie suave ininterrumpida. El esmalte se aplica a la porcelana cruda por inmersión, o haciendo correr el esmalte sobre el aislador. En esta etapa del proceso, la porcelana cruda es porosa y al absorber agua de la suspensión de esmalte, se deposita sobre su superficie una delgada capa de sólidos del esmalte.

Una capa de aproximadamente veinte a veinticinco centésimas de milímetro, es la capa normal esperada del esmalte.

1.12. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LOS AISLADORES CERÁMICOS.

1.12.1. TRATAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.

La recepción y clasificación de las materias primas de las distintas minas del País, se la realiza en la Planta Piloto del Área de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional

Una vez clasificadas, se debe realizar una limpieza inicial antes de pasar al proceso de triturado y molienda, en los cuales se debe obtener un tamaño de partícula óptima de 45 micrones (malla #325 ASTM).

Una vez molidas y secas las materias primas, se debe eliminar el hierro presente en su composición lo que se logra por medio de separación magnética.

Para la formación de aisladores de media y baja tensión, las propiedades que se deben cumplir son las siguientes:

- Tamaño de partícula malla #325 ASTM.
- El porcentaje de hierro no debe ser mayor al 0,5% en su composición.
- Estar totalmente libre de impurezas.

1.12.2. PREPARACIÓN DE LA PASTA.

Las materias primas se deben mezclar con agua, conformando una mezcla de consistencia cremosa denominada “barbotina”. Logrando así una completa homogeneidad que permita la mezcla íntima de los materiales constitutivos. Los posibles aglomerados de partículas se desintegran con la ayuda de dispersores de alta velocidad.

Este proceso de preparación de la mezcla de los materiales por vía húmeda, es denominado porcelana por proceso húmedo y es exigido en las normas ANSI C29.1 a C29.9, con el propósito de asegurar calidad y homogeneidad del producto final.

Una vez obtenida la mezcla o barbotina, se procesa a través de tamices y separador magnético, con el fin de remover partículas gruesas y materiales ferrosos; esta mezcla se bombea por un filtroprensa para reducir el contenido de agua del 50% al 22% aproximadamente y conformar una masa plástica llamada “Galleta”.

1.12.3. FORMADO DE LAS PIEZAS.

Para la formación de las piezas se pueden utilizar métodos tales como: el prensado en caliente, prensado isostático, vaciado y torneado en seco o en húmedo.

En la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, se utiliza el método de torneado en húmedo, con la ayuda de un torno de alfarero semiautomático, el cual facilita el moldeado de la pieza, eliminando las fallas causadas en el moldeo manual de los aisladores.

1.12.4. SECADO Y ESMALTADO DE LAS PIEZAS.

Una vez formadas las piezas se secan, para posteriormente esmaltar su superficie con el fin de obtener un producto final con una superficie vitrificada, que constituye el revestimiento protector de la porcelana, el que aumenta notablemente su resistencia mecánica (hasta 25% de resistencia a la tracción y a la flexión), aunque no tiene influencia sobre las propiedades dieléctricas, pero permite la autolimpieza del aislador.

1.12.5. PROCESO DE COCCIÓN.

Para poder obtener el acabado superficial requerido después del esmaltado de las piezas, éstas se someten al proceso de cocción en hornos túnel o en hornos discontinuos, en los cuales se dan lugar las reacciones termoquímicas y la formación de fases amorfas y cristalinas, que permiten lograr la densificación y vitrificación de la porcelana.

Las características principales de esta porcelana obtenida son:

- Porosidad nula.
- Alta resistencia mecánica.
- Excelentes propiedades aislantes.
- Químicamente inerte.
- Elevado punto de fusión
- Alta estabilidad.

La figura 1.5 muestra el diagrama de bloques del proceso completo necesario para la elaboración de los aisladores eléctricos de porcelana.

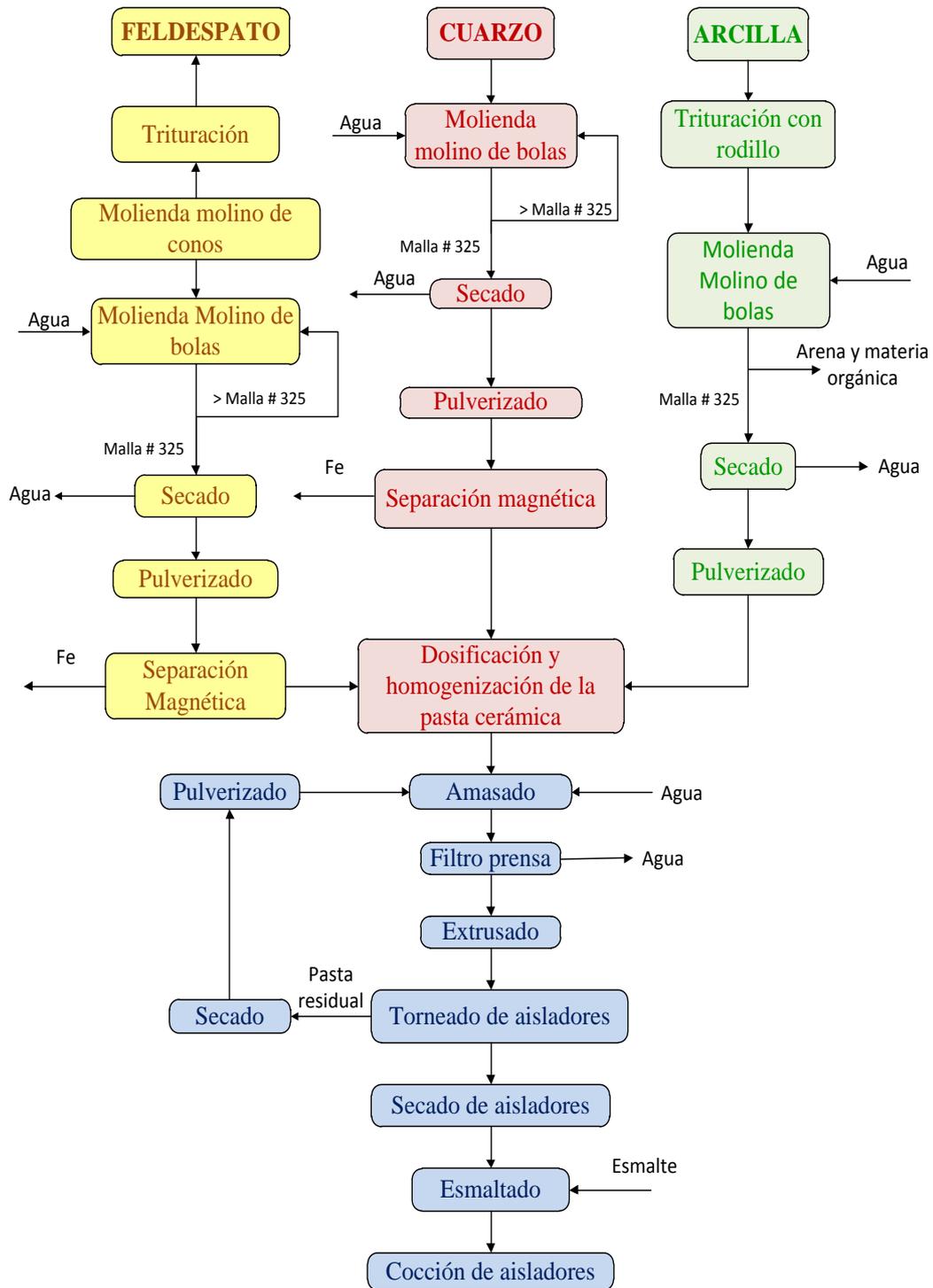


Figura 1.5: Diagrama de bloques para la elaboración de los aisladores eléctricos por proceso húmedo.

Elaboración: Propia

1.13. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEFINEN AL

AISLADOR ANSI 53-2.

1.13.1. CARACTERÍSTICAS DEL AISLADOR TIPO CARRETE.

1.13.1.1. Características constructivas.

Los materiales empleados en la construcción, se deberán ajustar a lo establecido en la norma ANSI C29-3. Su superficie estará libre de defectos que puedan afectar negativamente al aislador.

El fabricante de aisladores deberá estar en posesión de un certificado de aseguramiento a la calidad ISO 9000.

1.13.1.2. Características dimensionales.

Los aisladores se deberán ajustar a las dimensiones y tolerancias establecidas en la norma ANSI C29-3

Las características dimensionales más significativas son las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 1.3: Dimensiones principales del aislador ANSI 53-2

Aislador	ANSI Clase 53-2
Longitud (mm)	76±1,5
Diámetro exterior(mm)	79±1,5
Diámetro de la garganta(mm)	45±3
Diámetro taladro interior (mm)	18 ^{+1,5} ₋₀

1.13.1.3. Características mecánicas.

Las características mecánicas que deberán satisfacer los aisladores, se deberán ajustar a lo establecido en la norma ANSI C29-3 y están indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 1.4: Carga máxima transversal que soporta el aislador tipo ANSI 53-2

Aislador	ANSI Clase 53-2
Carga máxima transversal(kN)	≥13,35

1.13.1.4. Características eléctricas

Las características eléctricas de los aisladores serán como mínimo las indicadas en la norma ANSI C29-3 y se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1.5: Características eléctricas del aislador tipo ANSI 53-2

Aislador	ANSI Clase 53-2
Tensión de contorno a impulso	≥25(kV)
Tensión de contorno a frecuencia industrial bajo lluvia vertical	≥12(kV)
Tensión de contorno a frecuencia industrial bajo lluvia horizontal	≥15(kV)

1.13.2. ENSAYOS.

Los aisladores deberán satisfacer las siguientes tres clases de ensayos que establece la norma ANSI C29-3. Cuando así se requiera, se realizarán los ensayos tal y como se describe en la norma ANSI C29-1

- Ensayos de Diseño o de Tipo
- Ensayos de calidad o muestreo
- Ensayos de Rutina o Individuales

1.13.2.1. Ensayos Tipo.

- Determinación de la constante dieléctrica (según ASTM D150-98).
- Voltaje de radio-interferencia.
- Flameo a 60 Hz en seco.
- Resistencia en voladizo (cantilever).
- Choque térmico.
- Impulso positivo y negativo.
- Flameo a 60 Hz en húmedo.
- Prueba del plano inclinado: Permite verificar el comportamiento del material frente al tracking y la erosión (debe realizarse según norma ASTM D2303).
- Tensión de flameo crítico a la onda de ensayo de exposición acelerada a la intemperie (según ASTM G154-98).

1.13.2.2. Ensayos de Muestreo.

- Inspección visual y dimensional.
- Resistencia mecánica transversal.
- El tamaño de la muestra dependerá del tamaño del lote producido.

1.13.2.3. Ensayos de Rutina.

- Inspección visual y dimensional.
- Ensayo de perforación.
- Resistencia en voladizo (cantilever).
- Ensayo de porosidad.
- Los ensayos de rutina se aplican para cada lote de aisladores.

CAPÍTULO 2

3. DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA CUCHILLA DE FORMADO PARA EL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2.

2.6. DIMENSIONAMIENTO DE LA CUCHILLA DE FORMADO SEGÚN LA NORMA.

La forma de los aisladores eléctricos de porcelana tipo carrete, constituye una geometría simétrica formada como un sólido de revolución, es por ello que el método más usado en la industria cerámica debido a la rapidez y resultados obtenidos, es el torneado a partir de barras de pasta cerámica extruidas, completamente libres de porosidades. En la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, se ha venido desarrollando como derivado del proyecto P-BID-088, la implementación del proceso de fabricación de aisladores, por medio del torneado de cilindros extruidos de pasta cerámica.

Las herramientas de formación se caracterizan por dar forma a la pieza a fabricar, por lo que para el dimensionamiento de la cuchilla, se deben tener en cuenta las dimensiones del aislador ANSI 53-2 que se detalla en el punto 3.1 del siguiente capítulo.

2.7. DISEÑO DE LA CUCHILLA FORMADORA DEL AISLADOR CERAMICO TIPO 53-2.

2.7.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROCESO.

Previo al diseño y selección del material adecuado para la fabricación de la cuchilla, es necesario señalar sus características y las del proceso de formado donde interviene.

2.7.1.1. Pasta cerámica.

La pasta cerámica está constituida por minerales duros como son el feldespato y el cuarzo, cuya dureza es similar a la de los aceros comunes (6 y 7 en la escala Mohs; 150 Brinell aproximadamente), la presencia de estas partículas en la pasta durante el proceso de formado del aislador aumenta el desgaste por abrasión de la cuchilla.

2.7.1.2. **Proceso.**

En el proceso se debe garantizar un ambiente húmedo para facilitar el formado que asegure el acabado final del aislador, ya que se ha comprobado que presenta un ambiente de trabajo muy corrosivo.

El cilindro de pasta extruida debe tener un porcentaje de humedad aproximado de 22%, para garantizar buenas condiciones en el formado.

El formado del aislador se lo realiza a temperatura ambiente (15°C); por lo que la cuchilla siempre trabajará en frío.

Durante el formado existe desprendimiento de material de la barra extruida, por lo que la cuchilla debe tener un ángulo de incidencia que facilite el proceso de formado y la salida del material desprendido, ángulo que se ha determinado mediante pruebas en el Laboratorio de Cerámica.

La norma ANSI C29.1 establece que la cantidad de óxido de hierro presente en la composición del aislador no debe exceder el 0.5% por lo que en el material empleado en la fabricación debe respetarse este porcentaje.

2.7.2. **PROGRAMACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL TORNO.**

La automatización del torneado mecánico de los aisladores en la Planta Piloto de Cerámica, fue realizada con un Controlador Lógico Programable (PLC) marca Siemens de la familia S7 200, CPU 224, con un módulo de expansión de salidas digitales a transistor EM222, con software de programación STEP 7 Micro Win;

como proyecto de titulación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

En la figura 2.1 se indica la referencia de los movimientos de los carros y la denominación de los motores.

Así se denomina motor y movimiento FRONTAL, si el movimiento del carro es en dirección al cilindro; es decir, se nombra ADELANTE si se acerca al cilindro caso contrario es ATRÁS. De igual forma se llama motor y movimiento LATERAL si el carro va a la IZQUIERDA o a la DERECHA con referencia al cilindro.

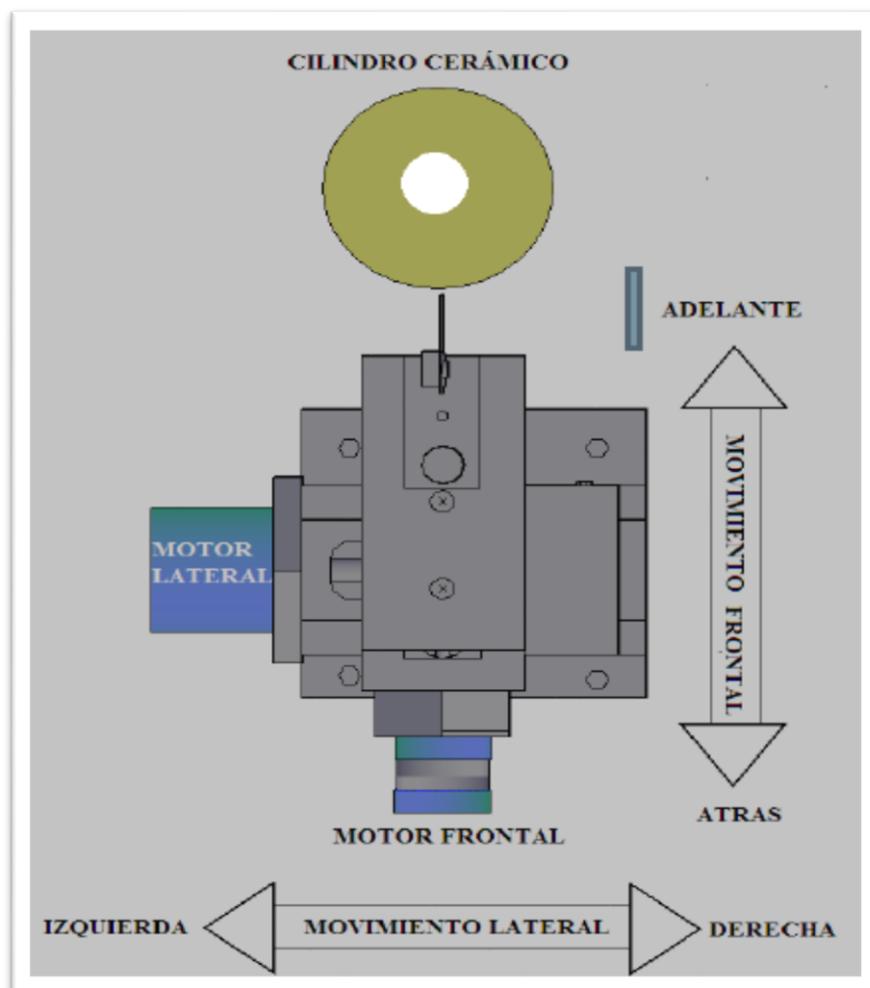


Figura 2.1: Nomenclatura utilizada para la automatización del torno. ⁶

⁶ MENA, Johnny; Automatización del torno de la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, para la elaboración de aisladores tipo 53-3; EPN; Quito; 2008; Pág. 91

2.7.2.1. Estructura del Pulso del reloj del programa.

De la estructura del pulso que se genera en el PLC, para ordenar a la entrada de reloj del registro de desplazamiento, depende la velocidad de los motores de los carros; y por ende, las velocidades de avance de los mismos. Se estructura un pulso asignando variables a cada una de sus partes (pausa y pulso).

Para el pulso del motor lateral se establece:

$VW52 = VW 60 + VW 62$, este es el valor que se carga al timer.

Para el pulso del motor frontal se establece:

$VW 56 = VW 60 + VW 58$, este es el valor que se carga al timer.

Los valores VW62 (6ms) y VW58 (8ms) están determinados y son fijos en el PLC del programa para este caso. ⁶

2.7.3. DISEÑO DE LA CUCHILLA.

El diseño de la cuchilla para formar aisladores es importante para garantizar un funcionamiento óptimo del torno de formado.

Los aspectos que hay que tomar en cuenta en el diseño de la cuchilla son: la geometría, el tamaño, el material y sus propiedades, el proceso de fabricación y condiciones de trabajo.

Debido a que la materia prima con la cual está elaborada la pasta cerámica tiene partículas de minerales muy duros, el material para la fabricación de la cuchilla debe poseer una resistencia al desgaste igual o mayor al de las partículas que están presentes en la pasta cerámica. La resistencia al desgaste depende principalmente

de la dureza del acero y de su contenido de carburos. El efecto combinado de estos dos factores brinda al acero de herramienta una gran resistencia.

El desgaste se ve afectado especialmente por la Resistencia a la Tensión, la Resistencia a la Cedencia y el porcentaje de elongación del material a cortar. Conforme la relación entre la Resistencia a la Cedencia y la Resistencia a la Tensión decrece, el desgaste aumenta.

2.7.4. ANÁLISIS DEL DISEÑO.

El análisis del diseño de cuchillas para el trabajo de formado del aislador, se efectúa en base a los tipos de esfuerzos a los que estará sometida la cuchilla al efectuar la operación de formado.

Para analizar estos esfuerzos, es necesario analizar el avance y la fuerza de formado que se aplicará a la cuchilla.

2.7.4.1. Avance.

El avance influye directamente en el desgaste del filo de formado de la cuchilla. Al aumentar el avance, el esfuerzo de formado también aumenta. Por lo tanto, al ser la velocidad de formado única; la calidad del acabado del aislador va a depender del avance que tenga la cuchilla.

Para el presente estudio se utilizará el valor de velocidad de avance dado en el programa de automatización y que fue utilizado para la fabricación del aislador ANSI 53-3, ya que las condiciones de formado y materia prima son similares, y las características de automatización del proceso no han sido cambiadas.

2.7.4.2. Fuerza de Formado.

Un aspecto importante es el análisis de la fuerza necesaria para el formado de la pieza. La fuerza aplicada estará distribuida a lo largo del filo de la cuchilla, y estará compuesta por el esfuerzo para desprender el material y el esfuerzo para romper el material, es decir, la fuerza de formado va a depender de la combinación de estos esfuerzos.

La fuerza de formado está determinada por la distancia que tiene que penetrar la cuchilla para formar el aislador y el avance de la cuchilla. Estos dos factores se determinaron en el programa de automatización y se realizaron varias pruebas antes de llegar a obtener resultados concretos. A continuación se indican los valores de los parámetros que fueron determinados para el movimiento del carro y la cuchilla.

Tabla 2.1: Condiciones de trabajo para el formado de los aisladores tipo ANSI 53-3.

Parámetro		Valor de frecuencia de pulso dada (Adimensional)
Posicionamiento de la cuchilla	Frontal	8
	Lateral	6
Avance de la cuchilla	Frontal	50
	Lateral	160

Los valores citados en la tabla 2.1 son propios del PLC que se utilizó en la automatización del portaherramientas del torno y serán utilizados en el presente estudio para la formación del aislador ANSI 53-2.

2.8. FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA FORMADORA DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.

Una adecuada selección del material garantiza la funcionalidad de la cuchilla de formado y el correcto funcionamiento de los componentes del torno.

En base a lo expuesto en el numeral 2.2 del presente capítulo, el material a ser elegido para fabricar la cuchilla tiene que reunir las siguientes características:

1. Dureza superior a 150 BHN (Brinell), que brinde resistencia al desgaste y permita formar el aislador sin sufrir cambios en las dimensiones y geometría del filo.
2. Ser resistente a la corrosión.
3. Buena maquinabilidad, para que la geometría del perfil del aislador pueda ser reproducida en la cuchilla sin dificultades.

“En la mayoría de casos, la elección de un acero para herramientas no se limita a un solo tipo o una serie particular, para resolver en forma funcional un problema concreto de herramientas. Aunque muchos aceros para herramientas se utilizan para cualquier trabajo, se considerarán según la productividad esperada, la facilidad de fabricación y el costo. Es el último análisis lo que determina la selección adecuada por pieza unitaria, hecha por la herramienta” ⁷

Existe una diversidad de materiales que se pueden usar para la fabricación de la cuchilla (metálicos, cerámicos, polímeros y compuestos), pero tomando en cuenta las condiciones de trabajo, propiedades del material a formar y características del aislador y del equipo, para la fabricación de la cuchilla de formado se determinó que el material más adecuado es un acero. Por ello para la primera etapa de selección se analiza cuál será el acero que ofrece las mejores propiedades.

⁷ AVNER; Introducción a la Metalurgia Física; Segunda Edición; Mc Graw Hill; México;1998; Pág. 389.

La selección preliminar se hace en base a las características de las materias primas usadas para el formado del aislador ANSI 53-2 (arcilla, feldespato y cuarzo), por lo que se establece que el material de la cuchilla debe poseer una dureza superior a 150 en la escala Brinell (BHN).

Otra característica a considerar es el ambiente húmedo en el que la cuchilla de formado va a trabajar; por esta razón, el material seleccionado debe ser resistente a la corrosión.

Tomando en cuenta las características mencionadas, se encontró que los aceros inoxidable constituyen la mejor opción para la fabricación de nuestra cuchilla de formado.

Para la selección del material de la cuchilla de formado se analizarán las propiedades de los aceros inoxidable; para llegar a determinar cuál es la mejor opción.

Los aceros inoxidable son aleaciones de hierro (Fe), carbono (0.08 y 0.1%) y cromo (Cr) con un mínimo de 10.5% de este último. Se caracterizan principalmente por su resistencia a la corrosión, elevado contenido de cromo y elevada resistencia y ductilidad.

Se llaman inoxidable, porque en presencia de oxígeno forman una película delgada y dura muy adherente de óxido de cromo, que protege contra la corrosión.

Dentro de los aceros inoxidable, se encuentran los austeníticos que constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión
- Buena resistencia al desgaste
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico
- Excelente soldabilidad

- Excelente factor de higiene y limpieza
- Formado sencillo y de fácil transformación
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas

El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08%.

En la tabla 2.2 se detallan las principales propiedades mecánicas de los aceros inoxidable austeníticos de la serie 300; para planchas laminadas en frío disponibles.

Tabla 2.2: Tabla comparativa de algunas propiedades mecánicas de los aceros inoxidable austeníticos.⁸

AISI	ASTM (UNS)	Límite de Resistencia (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Dureza Brinell (BHN)	Límite de Fatiga (MPa)
304	S30400	700	300	162	241
304L	S30403	600	240	162	-
316	S31600	620	300	162	269
316L	S31603	530	260	172	-

Es así que para la fabricación de la cuchilla formadora del aislador ANSI 53-2, se elige el acero inoxidable AISI 304, debido a que este posee una dureza superior a la solicitada, es resistente a la corrosión debido a que tiene alto contenido de cromo (18 a 20%), y presenta una resistencia superior a los de su familia, sumado a un fácil maquinado por procesos de arranque de viruta, costo razonable y disponibilidad en el mercado local.

Tabla 2.3: Composición Química del acero inoxidable 304.⁹

AISI	ASTM (UNS)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N ₂
304	S30400	1,4301	0,08	0,75	0,045	0,03	18-20	8-10,5	-	0,10

⁸ <http://centraltrust.net/ivanbohman/productopdf/planchas%20inox.pdf>

⁹ <http://centraltrust.net/ivanbohman/productopdf/planchas%20inox.pdf>

2.8.1. CONDICIONES DEL DISEÑO PARA LA CUCHILLA FORMADORA.

Para el diseño de la cuchilla formadora se tomó en cuenta los trabajos realizados anteriormente en la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, junto al análisis realizado en el numeral 2.3; en los cuales se establecen parámetros del proceso de torneado, diseño de la cuchilla y el dimensionamiento de las partes constitutivas del torno como es el caso del portaherramientas.

Tomando en cuenta las recomendaciones dadas en los trabajos citados, se determina que la cuchilla formadora debe garantizar lo siguiente:

- Ser capaz de formar el aislador conforme avanza hacia el eje longitudinal del cilindro extruido.
- Desprender el material del cilindro sin provocar agrietamientos o rebabas en la superficie de formado.
- La cuchilla debe reproducir las dimensiones del aislador fabricado, acorde a la tolerancia especificada en la norma ANSI C 29-3.
- Las dimensiones y geometría de la cuchilla deben facilitar el montaje al portaherramientas.



Figura 2.2: Esquema del aislador tipo ANSI 53-2.

En base a la geometría del aislador eléctrico tipo ANSI 53-2, se estableció que para dar forma al aislador se necesita de dos cuchillas, debido a que el aislador presenta en su base un acanalado que no puede ser realizado con una sola cuchilla.

Debido a esta limitación se estableció que la primera cuchilla reproduzca el perfil lateral del aislador, a la cual se la nombró cuchilla principal; y la segunda cuchilla sea la responsable de elaborar el ranurado de la base, a la cual se la llamó cuchilla para ranurado o secundaria.

2.8.1.1. **Cuchilla principal.**

Su diseño se elaboró a partir de una placa metálica, a la cual se le dio una geometría lateral igual a la del aislador tipo carrete 53-2. El filo se encuentra a lo largo de la arista de formado que está en contacto con el cilindro extruido. Este filo penetra completamente en el cilindro y da la forma lateral final al aislador.

El dimensionamiento de la cuchilla se hizo en base a las dimensiones del torno y el avance del portaherramientas, garantizando así las medidas del aislador a fabricar. Las dimensiones del perfil de la cuchilla deben cumplir con las tolerancias dadas para el aislador ANSI 53-2.

El material con el que se fabrica la cuchilla principal es acero inoxidable AISI 304, debido a la conveniencia de dicho material para la fabricación de instrumental con filo, y a que cumple los requerimientos establecidos para el material.

2.8.1.2. **Cuchilla para ranurado.**

Esta cuchilla da la forma al ranurado de la base del aislador, aprovechando el movimiento de el cilindro extruido.

El diseño de esta herramienta es muy simple y consiste en una cuchilla en cuyo extremo se reproduce la geometría del perfil del ranurado de la base del aislador ANSI 53-2. El filo esta a lo largo de la arista, con la forma del acanalado.

Este ranurado se lo realiza manualmente, debido a que es un proceso muy sencillo y rápido de realizar, con un poco de destreza del parte del operador del torno.

2.8.2. ELABORACIÓN DEL CUELLO DEL AGUJERO CENTRAL.

Para elaborar el cuello del agujero central del aislador, se utiliza una broca normal y una broca cónica especialmente diseñada para facilitar la elaboración, una vez que se ha formado el aislador con las cuchillas anteriores.

Dentro de la fabricación de las cuchillas de formado, es necesario hacer el estudio de los ángulos de corte (o formado), para garantizar el correcto desarrollo del proceso de fabricación de los aisladores.

Estas características están determinadas por el tipo de proceso (automático) y estado del material a formar (pastoso). La velocidad de formado está dada por el torno, pero el ángulo de la cuchilla debe ser determinado.

2.8.3. DETERMINACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE FORMADO.

Los ángulos característicos determinan la forma geométrica de una cuchilla, y el valor de estos ángulos tiene mucha importancia para la correcta ejecución del proceso de formado.

A continuación se indican los principales ángulos de una cuchilla:

- Ángulo de incidencia ó libre (α)
- Ángulo de filo ó talla (β)
- Ángulo de ataque, desprendimiento o salida de viruta (γ)
- Ángulo de formado ($\alpha + \beta$)

En la figura 2.3 se pueden observar los ángulos comunes de una herramienta de corte.

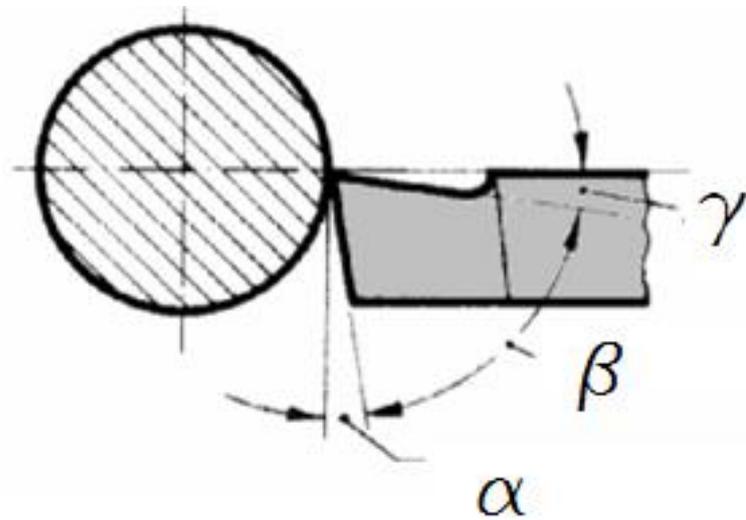


Figura 2.3: Ángulos de una herramienta de corte. ¹⁰

2.8.3.1. Ángulo de incidencia (α)

Este ángulo evita el rozamiento del dorso del filo, contra la superficie de trabajo y como consecuencia, disminuye la resistencia al movimiento y el calor producido por el roce. Reduce la fricción entre la pieza y la herramienta y su valor oscila desde los 5° a 12°.

El ángulo alfa (α) debe ser tanto mayor cuanto más blando y dúctil sea el material y cuanto mayores sean el diámetro y el avance. Cuanto mayor sea el ángulo alfa (α) más basta será la superficie del corte.

2.8.3.2. Ángulo de filo (β)

¹⁰ HANS APPOLD, KURT FEILER; Tecnología de los metales para profesionales Técnico-Mecánicos; Editorial Reverte; España; 1982; Páginas 166-168

Está formado por las dos caras de la cuña de la herramienta, determinando la facilidad de penetración en el material, al mismo tiempo que la duración del filo.

Las cuchillas de corte con ángulo de filo pequeño, penetran fácilmente en el material, pero con materiales duros también se rompen con facilidad.

2.8.3.3. **Ángulo de ataque o salida (γ)**

Es el comprendido entre la cara de ataque y un plano perpendicular a la superficie de trabajo.

El roce que produce la viruta sobre la cara de ataque, influye mucho en el rendimiento de la cuchilla, por el rozamiento y el calor que produce, dificultando al mismo tiempo la evacuación de la misma viruta.

Influye en la formación de la viruta y en la fuerza de formado. Su magnitud va de 30 hasta -5° y depende del material de la pieza a formar y de la herramienta.

- Ángulo γ grande: buena salida de viruta, fuerza de formado, pequeña.
- Ángulo γ pequeño o negativo: fuerza de formado grande, gran resistencia de la cuchilla.

El proceso de formado del aislador se realiza a temperatura ambiente, por lo que la cuchilla no se calienta en lo absoluto al momento de evacuar las virutas.

2.8.3.4. **Ángulo de formado ($\alpha + \beta$)**

Este ángulo es la suma resultante del ángulo de filo y de incidencia, y determina la inclinación de la cuña de la herramienta respecto a la pieza. La capacidad de penetración de la cuchilla en el material será tanto mayor, cuanto menor sea el ángulo de formado, ya que disminuye la fuerza necesaria para deformar la viruta.

2.8.4. Selección de los ángulos de formado.

Al analizar los ángulos de formado, se estableció que el principal ángulo que se debe fabricar en la cuchilla es el ángulo de incidencia (α). El valor de este ángulo se determinó en base a las características del proceso, las recomendaciones de uso dadas para este tipo de herramientas, y al espesor de la cuchilla (3mm). Finalmente se estableció que el ángulo de incidencia, que se le dará al filo de la cuchillas es 10° ; ya que con este valor se obtienen buenas condiciones de formado y acabado en los aisladores.

2.9. MONTAJE DE LA CUCHILLA DE FORMADO EN EL TORNO

2.9.1. ADECUACIONES AL MECANISMO DEL TORNO.

Para mejorar las condiciones de trabajo, se realizaron algunos cambios y adecuaciones en los componentes del torno; para de esta manera facilitar su utilización y disminuir los defectos causados por la vibración de los elementos, debido a la falta de sujeción del cilindro al torno, para su formado.

Entre las readecuaciones realizadas está el rediseño y la construcción de una base más firme, con materiales mixtos que mejoran las condiciones de trabajo y el tiempo de vida útil de la misma.

La base de sujeción se modificó en tres partes esencialmente, las cuales se explican a continuación:

- El eje se extendió a 500 mm para aumentar la estabilidad y manipulación de los demás elementos del torno.
- Se modificaron las dimensiones de la plataforma de la base, para que se sujete mejor a la plataforma del torno, y disminuyan las vibraciones producidas al momento de girar.

- Se añadieron tres puntas a la plataforma de la base, para que sujete de mejor manera al cilindro de cerámica y le permita girar junto con el torno al momento de formar el aislador.

Todas las modificaciones y cambios realizados a la base, se pueden observar en la figura 2.4.



Figura 2.4: Esquema general del montaje de las piezas de torneado.

Una vez realizadas todas las adecuaciones del equipo de torneado, se podrá comenzar con los trabajos de preparación de la pasta cerámica para la fabricación de los aisladores.

2.9.2. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

Los planos elaborados para la fabricación de la cuchilla de formado, así como los planos de las adecuaciones realizadas al mecanismo del torno, se pueden observar en detalle en el Anexo 1.

2.9.3. MONTAJE.

El montaje de la cuchilla principal al portaherramientas del torno de la Planta Piloto, se lo realiza mediante dos pernos, que garantizan que la cuchilla se fije firmemente y se desplace con el carro móvil y el portaherramienta.

Para determinar la penetración y el ángulo de entrada de la cuchilla principal, se debe calibrar la posición del portaherramientas, el valor del ángulo de entrada de la cuchilla es de 115° en el portaherramienta y con respecto al eje del torno; este ángulo se determinó experimentalmente en el momento de la fabricación del aislador ANSI 53-2 en la Planta Piloto.

No se desarrolla una cuchilla superior debido a que el desplazamiento de esta cuchilla debe ser manual. En lugar del movimiento vertical que se le aplicaría a esta cuchilla que le permita subir y bajar, para de esta manera formar el ranurado en el aislador, este se realiza de manera muy sencilla manualmente con una cuchilla diseñada especialmente para este fin.

2.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- La selección del acero adecuado para la fabricación de herramientas, se debe realizar en base a las condiciones de trabajo de la mismas, sin embargo, la decisión final dependerá del criterio del diseñador y la importancia que se le dé a cada una de las cualidades determinadas. En el mercado nacional existe una gran diversidad de aceros con excelentes propiedades mecánicas, haciendo difícil la selección de uno que cumpla con todos los requerimientos para la fabricación de las cuchillas, por lo que se elige el material con las mejores propiedades para este caso particular.
- El acero seleccionado es el acero inoxidable AISI 304, debido a que posee una dureza de 162 BHN superior a la dureza de las partículas de cuarzo y

tiene una muy buena resistencia al desgaste y a la corrosión debido a su composición química.

- Factores como la disponibilidad en el mercado y el costo, constituyen elementos a considerar cuando el campo de selección del material no se limita a un solo tipo en especial.
- Los valores asumidos de velocidad de avance y fuerza de formado de trabajos anteriores, son un factor importante para de allí partir en el desarrollo del presente proyecto; ya que permiten aprovechar el tiempo y optimizar los recursos existentes en la planta piloto.
- Los componentes instalados en el torno semiautomático son de fácil montaje y desmontaje, lo que favorece a la versatilidad del proceso, logrando con ésto aumentar la cantidad de aisladores formados con un mínimo de fallas.
- El dimensionamiento de las cuchillas se realizó en base a las características del proceso de formado y la geometría del aislador, con la ayuda del torno automático, facilitando el montaje y sujeción en el portaherramientas para que la geometría de los aisladores se reproduzca con facilidad y reducir los tiempos de producción.
- La automatización del torno automático de la Planta Piloto de Cerámica permite reproducir la geometría del aislador tipo 53-2 con iguales características, el número de aisladores que se puede formar con cada cuchilla fabricada, deberá establecerse en base a pruebas de formado y desgaste, ya que en el alcance del presente trabajo no está contemplado este análisis.
- La automatización del torneado permite disminuir el tiempo de elaboración de cada aislador, el proceso manual duraba aproximadamente 45 minutos comparado con 10 minutos que se demora actualmente, este tiempo es el diseñado, sin embargo este tiempo pueden reducirse con la programación adecuada del PLC ya que de los 10 minutos de la duración del ciclo de

formado, el torno se demora 7 minutos posicionándose para iniciar con el proceso.

- Las propiedades del acero usado para la fabricación de las cuchillas garantizan que estas tengan un excelente desempeño en el formado de los aisladores, ya que el desgaste del filo es mínimo, asegurando que el acabado y las dimensiones se reproduzcan fielmente, además la elevada resistencia a la corrosión y costo bajo, así como disponibilidad en el mercado, hace posible que se pueda renovar fácilmente a un costo razonable.
- Los ángulos de formado se seleccionaron experimentalmente en base a las características del proceso, logrando que la cuchilla penetre fácilmente y el acabado superficial final del aislador esté libre de defectos, además el correcto dimensionamiento de los ángulos evita que se creen esfuerzos internos en el aislador, lo que puede producir que las propiedades mecánicas y eléctricas del aislador disminuyan, así como el agrietamiento o fractura de los aisladores en los procesos de secado y cocción, logrando el aumento de la productividad en la fabricación y disminuyendo las pérdidas debido a los defectos causados por un mal dimensionamiento de los ángulos de formado.

CAPÍTULO 3

4. FABRICACIÓN DEL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2.

4.1. DIMENSIONAMIENTO DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2 SEGÚN LA NORMA.

Las dimensiones, características y pruebas que se realicen a los aisladores ANSI 53-2 deberán ajustarse a lo especificado en las normas ANSI C29-1 y ANSI C29-3.

En la norma ANSI C29-3 (American National Standard for wet process porcelain insulators-spool type) se establece el dimensionamiento del aislador eléctrico tipo carrete ANSI 53-2 con sus respectivas tolerancias geométricas. Sin embargo sólo se especifican las dimensiones principales del diseño del aislador tipo 53-2 y no se especifican algunas de las dimensiones secundarias, las cuales se determinaron en base a las medidas de los aisladores que se distribuyen actualmente en el mercado nacional.

Las dimensiones del aislador tipo carrete 53-2, se pueden observar en el plano adjunto en el Anexo 2.

4.2. ELABORACIÓN DE LA PASTA CERÁMICA PARA EL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.

4.2.1. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.

La recepción de las materias primas de las distintas minas del País se realiza en la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

La materia prima se clasifica, para así poder realizar una limpieza previa a iniciar con los procesos de trituración y molienda, cuya finalidad es garantizar un tamaño de partícula promedio de 45 micras.

4.2.2. TRITURACIÓN Y MOLIENDA.

Mediante estos procesos se debe garantizar que cada una de las materias primas sea reducida a un tamaño de partícula de 45 micras correspondiente a la malla ASTM #325.

Los equipos utilizados para la reducción de tamaño de partícula de las materias primas en el Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Ingeniería Mecánica se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Equipo actual para la trituración y molienda de las materias primas.

Máquina	Marca	Modelo	Capacidad	Tamaño de Partícula
Chancadora de Mandíbulas	WOODSTOK	C182T17FB1F	100 kg/h	1"
Molino de cono	SVEDALA	3149-338-6G	150 kg/h	1/8 "

Para reducir el tamaño de partícula hasta un tamaño inferior a 45 micras se utiliza un molino de bolas. Las bolas de alúmina son fabricadas con las mismas materias primas con las que se elabora la pasta cerámica, por lo que no hay peligro de contaminación de éstas.

El molino de bolas que se usó para reducir el tamaño de partícula hasta 45 micras, tiene las siguientes características:

- Cámara de alúmina marca FAURE de 13 litros de capacidad.
- Bolas de alúmina de tres tamaños diferentes: grandes(50 mm), medianas (35 mm) y pequeñas (25 mm)
- Motor marca Gould Century de 70 rpm.

La arcilla del Plan Milagro no necesita de un proceso de molienda previo al tamizado, sino que ésto último se lo puede hacer directo, inmediatamente después de ser clasificada.

Las condiciones de molienda para cada materia prima se establecen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Requisitos para la molienda del feldespato y el cuarzo.

Bolas	12 kg - 20% grandes - 40% medianas - 40% pequeñas
Agua	3,6 litros
Materia Prima	6 kg
Velocidad	70 rpm
Tiempo de Molienda	15 horas

4.2.3. TAMIZADO.

El proceso de tamizado se puede realizar tanto en seco como en húmedo, siendo más cómodo realizar el proceso en húmedo, inmediatamente después de la molienda. Para facilitar este proceso se agrega agua suficiente.

El tamiz utilizado está elaborado con una malla metálica número ASTM 325 para asegurar el tamaño de partícula de 45 micras, en este caso el proceso de tamizado fue completamente manual.

Una vez que se termina con este proceso, el material atrapado en los tamices se vuelve a usar en los molinos de bolas y el material tamizado se deja reposar para su sedimentación y posterior almacenamiento.

4.2.4. SECADO.

El secado de las materias primas resultantes del proceso de molienda, permite eliminar la humedad hasta valores manejables (0,2 – 0,5%), con lo cual se facilita la dosificación para la posterior elaboración de la pasta.

Para poder realizar el secado del feldespatos y el cuarzo, la solución se debe sedimentar por un lapso máximo de 24 horas, luego se separa el exceso de agua y se coloca el material sedimentado en bandejas metálicas, las cuales se secan en la estufa a una temperatura de 65 °C por el tiempo necesario, aproximadamente por 5 a 6 horas para eliminar la humedad.

Para el caso de la arcilla, debido a que sus partículas son más finas y livianas, cuando se mezclan con agua se forman flóculos que crean una solución estable la cual no sedimenta fácilmente, por lo que se debe filtrar usando un filtro prensa marca NETZCH con una capacidad de 250 litros y un flujo de filtración de 2lt/min. La arcilla entra al filtro prensa con un porcentaje de humedad del 70 al 75 % y sale con un porcentaje de humedad del 20 al 25%.

La figura 3.1 muestra la arcilla atrapada en los filtros después de terminado el proceso.



Figura 3.1: Arcilla después del pasar por el filtro prensa. ¹¹

Esta pasta se coloca en recipientes metálicos y se lleva a la estufa por un tiempo aproximado de 6 horas a una temperatura de 65 °C.

Tabla 3.3: Características de la estufa programable usada en el secado de las materias primas.

Marca	NABERTHERM
Modelo	Labotherm TR240
Capacidad	150 kg
Temperatura máxima	110°C

4.2.5. PULVERIZADO.

Durante el proceso de secado las materias primas se compactan, por lo que es necesario pulverizarlas en seco, con un proceso manual sencillo, ya que el tamaño de partícula de 45 micras se recupera fácil y rápidamente.

De ser necesario también se puede usar un molino de bolas, con bolas de alúmina para pulverizar en seco las materia primas, por un tiempo máximo de 10 minutos.

4.2.6. ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Por medio del análisis de las materias primas se puede determinar la composición química y mineralógica, para de esta manera determinar la dosificación necesaria de cada materia prima con el fin de lograr la composición ideal de la pasta cerámica.

4.2.6.1. Análisis Químicos.

¹¹ MENA, Johnny; Automatización del torno de la planta piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional para la Elaboración de aisladores eléctricos tipo 53-3; Quito; 2008; Pág. 21

El análisis Químico de las materias primas se realizó en el Laboratorio Químico de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador para el caso de la arcilla y el feldespato; y en el Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos CESEMIN de la Universidad de Cuenca para el cuarzo, estos datos también se corroboraron en el laboratorio de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

El análisis químico y mineralógico se debe realizar a cada lote de materia prima, para de esta manera garantizar la correcta formulación de la pasta cerámica.

Mediante el análisis químico se determinó el porcentaje de óxidos presentes en cada una de las materias primas.

En la tabla 3.4 se pueden observar los resultados obtenidos de estos análisis, en FIGEMPA y CESEMIN.

Tabla 3.4: Porcentaje de óxidos en las materias primas nacionales

Óxidos	Arcilla Plan Milagro	Feldespato La Ercilia	Cuarzo de Misahuallí
	FIGEMPA	FIGEMPA	CESEMIN
Óxido de Silicio % SiO ₂	80,4	68,1	97.52
Óxido de Aluminio % Al ₂ O ₃	11,03	20,35	0.02
Óxido Férrico % Fe₂O₃	1,61	0,30	0.26
Óxido de Calcio % CaO	<0,01	<0,01	0
Óxido de Magnesio % MgO	0,02	0,06	0
Óxido de Sodio % Na ₂ O	0,51	4,93	1.59
Óxido de Potasio % K ₂ O	2,15	0,15	0.36
% Prueba de Fuego/calcinación	4,22	6,06	0

Como se puede observar en la tabla 3.4 la arcilla contiene un porcentaje de óxido de hierro de 1,61 mayor a lo requerido (0,5%); por lo que después de la molienda es necesario reducir este porcentaje con ayuda del separador magnético de la Planta Piloto de la Escuela Politécnica Nacional, con lo que se garantizarán las propiedades eléctricas en los aisladores terminados.

4.2.6.2. Eliminación del hierro por separación magnética.

Las materias primas para fabricar los aisladores, deben presentar concentraciones de óxido de hierro menores a 0,5 %. Para eliminar el hierro presente en las materias primas, se utiliza un separador magnético cuyas características se detallan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Características del separador magnético utilizado.

Marca	Carpo
Modelo	MIN (13)111-5
Capacidad	100 kg/h
N° Pasadas	3

Las condiciones de trabajo del separador magnético para obtener los mejores resultados en la separación del óxido de hierro de las materias primas, se detallan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Condiciones de trabajo del separador magnético.

Tamaño de partícula	≤ 45 micrones, malla #325 ASTM
Velocidad del tambor	180 rpm
Campo magnético	16kGauss

Luego de eliminar el hierro en la Arcilla del Plan Milagro, se debe realizar un nuevo análisis químico para garantizar una concentración promedio de hierro menor a 0.5% en las materias primas.

Con este porcentaje de hierro se garantiza que la porcelana fabricada cumpla con las propiedades eléctricas especificadas en la norma ANSI C29-3.

Los resultados del nuevo análisis se manifiestan en la tabla 3.7 donde se observan las concentraciones de Fe_2O_3 presentes en cada materia prima.

Tabla 3.7: Porcentaje de óxido de hierro presente en cada materia prima, luego de pasar por del separador magnético.

Materia prima	% Fe₂O₃
Arcilla	0,44
Cuarzo	0,26
Feldespatos	0,3
Promedio	0,33

Como se puede observar en la tabla 3.7, después de pasar la Arcilla del Plan Milagro por el separador magnético se obtiene un porcentaje promedio de hierro de 0,33%, con el cual se garantiza que se cumplan las propiedades eléctricas de la pasta cerámica.

Los resultados de los análisis químicos realizados a las materias primas se pueden observar en el Anexo 3.

4.2.7. FORMULACIÓN DE LA PASTA PARA AISLADORES ELÉCTRICOS.

La formulación de la pasta cerámica, se realiza en base a los resultados obtenidos en los análisis químicos realizados a las distintas materias primas del país.

La porcelana eléctrica obtenida es un material cerámico resultante de la combinación de las siguientes materias primas nacionales:

- La arcilla proveniente de la Provincia del Azuay “Plan Milagro”.
- El feldespato proveniente de la Provincia de Bolívar “La Ercilia”.
- El cuarzo proveniente de la Provincia de Napo “Misahuallí”.

De las materias primas mencionadas:

- La arcilla es responsable del buen comportamiento plástico del material, permite la formación de las piezas en estado húmedo y dan una buena resistencia mecánica en seco, es importante para dar forma a los elementos aislantes de alta y baja tensión.
- El enriquecimiento en Al_2O_3 de la fase vítrea durante la cocción, origina la generación de cristales aciculares de Mullita, mineral que refuerza el sistema, dándole mayor resistencia mecánica y bajando la probabilidad de deformación a las altas temperaturas del horno.
- El feldespato es un fundente que funde fácilmente y que durante el calentamiento disuelve las sílices del caolín y del cuarzo para formar el vidrio, aunque las arcillas y el cuarzo también participan en la vitrificación.
- El cuarzo es el responsable de las propiedades mecánicas de la porcelana como son: resistencia mecánica a la tracción y a la compresión.
- El cuarzo se disuelve parcialmente durante el proceso de cocción, creándose un fuerte enlace entre los cristales remanentes de cuarzo y la fase vítrea que le rodea.
- Los caolines dan estabilidad en el proceso de cocción y reducen la tendencia a la deformación piropástica.

La formulación a utilizarse se basa en estudios anteriores para la fabricación de aisladores tipo 53-3, donde se establece una composición inicial para la pasta de:

- 35 % de arcilla
- 30 % de feldespato
- 35 % de cuarzo.

Con esta formulación se espera que la porcelana obtenida tenga propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas específicas. Si se requiere fabricar porcelanas especiales en las que predominen una o más de estas propiedades, deben modificarse las proporciones de los componentes básicos según se indica en la figura anterior, tomando en cuenta que:

- Un aumento en el contenido de arcilla implica mejores propiedades térmicas, pero disminuirá su resistencia mecánica.
- El aumento de feldespato mejora las propiedades eléctricas, pero reduce la resistencia térmica y mecánica.
- El aumento de cuarzo implica mejoras en las propiedades mecánicas, en deterioro de sus propiedades eléctricas.

Debido a que las materias primas nacionales no son completamente puras, es necesario calcular la cantidad de los minerales presentes para determinar qué porcentaje de arcilla, feldespato y cuarzo se encuentra presente en cada materia prima. En la tabla 3.8 se expresan los porcentajes de arcilla, feldespato y cuarzo presentes en las materias primas nacionales.

Tabla 3.8: Porcentaje de arcilla, feldespato y cuarzo puros en cada materia prima.

Material	Arcilla	Feldespato	Cuarzo
	Plan Milagro	La Ercilia	Misahuallí
% de Arcilla	18,66	33,87	0,00
% de Feldespato	18,42	35,17	13,50
% de Cuarzo	63,68	36,59	88,52

Los cálculos mineralógicos correspondientes a estos porcentajes se pueden observar con detalle en el Anexo 4.

A partir de los resultados de la tabla 3.8, se calcula la cantidad de materia prima necesaria para la fabricación de los aisladores eléctricos. Según la composición establecida anteriormente (35% arcilla, 30% feldespatos y 35% cuarzo), los resultados se pueden observar en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Materias primas necesarias para la elaboración de la pasta cerámica.

Materia Prima	Porcentaje en base 100
Arcilla "Plan Milagro"	56,31
Feldespatos "La Ercilia"	43,69
Cuarzo "Misahuallí"	0,00

Los cálculos correspondientes para la formulación de la pasta cerámica, se pueden observar en el Anexo 5.

Según los resultados de la tabla 3.9, nuestra porcelana eléctrica está compuesta por arcilla y feldespatos, siendo no necesaria la adición de cuarzo. Al realizar las pruebas eléctricas y mecánicas correspondientes a la pasta obtenida, se determinó que esta presenta propiedades eléctricas y plásticas buenas, que cumplen con las normas correspondientes. Es por esta razón, que esta formulación de porcelana eléctrica se utilizará para la fabricación de nuestros aisladores eléctricos.

Por lo tanto, los aisladores ANSI 53-2 deben estar compuestos de 56,31% de arcilla "Plan Milagro", 43,69% de feldespatos "La Ercilia" y no será necesario agregar cuarzo de "Misahuallí"

4.2.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

Antes de iniciar con el proceso de elaboración de la pasta cerámica, se debe determinar el porcentaje de humedad presente en la materia prima a condiciones ambientales normales 15°C y 1 atmósfera de presión.

Para lograr esto, se pesa la materia prima a temperatura ambiente y se pesa después de secarla durante 4 horas a una temperatura de 100°C, para así determinar la cantidad de humedad presente.

Los datos obtenidos al realizar esta prueba así como los cálculos efectuados se pueden observar con detalle en el Anexo 6.

El porcentaje de humedad calculado es de 1,12% para el Feldespato y 1,91% para la Arcilla. Estos resultados sirven para determinar la cantidad de humedad presente en las materias primas al inicio del proceso.

4.2.9. **PRUEBAS DE PLASTICIDAD.**

Las pruebas de plasticidad sirven para determinar el porcentaje de humedad adecuado para el amasado y extrusión de la pasta formada, así como, las propiedades plásticas de la pasta a elaborar.

Los métodos usados para desarrollar esta prueba son:

- Los límites de Atterberg
- Test de Pfefferkorn

4.2.9.1. **Límites de Atterberg.**

Los valores de los límites Atterberg o límites de consistencia, se usan para identificar a las arcillas o suelos finos según su plasticidad o contenido de agua. Atterberg demostró que la plasticidad no es una propiedad propia de las arcillas sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua, definiendo cuatro estados para los suelos: líquido, plástico, semisólido y sólido; para los que

establece los correspondientes límites líquido, límite plástico y límite de contracción, como se puede observar en la figura 3.3.

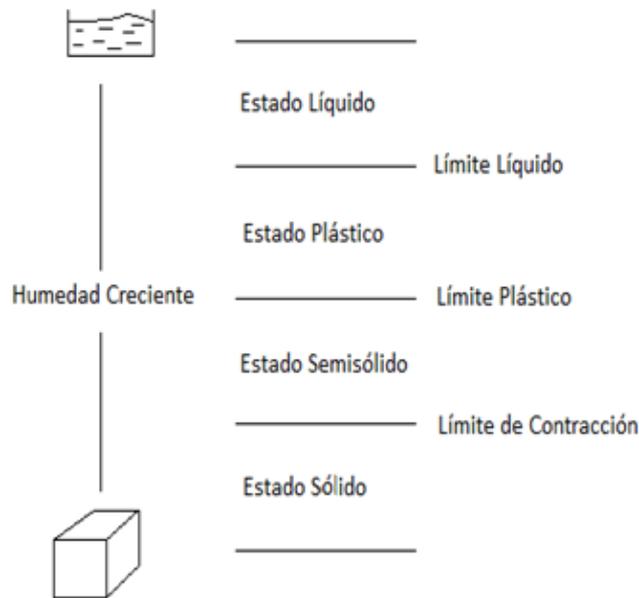


Figura 3.3: Límites de Atterberg

Elaboración: Propia

Los datos obtenidos al realizar esta prueba, así como los resultados calculados para las dos composiciones estudiadas, se pueden observar en el Anexo 7.

4.2.9.1.1. *Límite líquido.*

El límite líquido (LL) de un suelo, se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual dicho suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como líquido, es decir, la frontera entre el estado líquido y plástico.

Para la determinación del límite líquido se preparan 3 muestras con diferentes humedades hasta lograr una contextura plástica similar a la plastilina y se procede según el ensayo MOP E-116(AASHTO T-89) en el equipo de Casagrande del Laboratorio de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, que se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4: Equipo Casagrande del Laboratorio de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional

Los resultados obtenidos al realizar esta prueba se presentan en la tabla número 3.10.

Tabla 3.10: Resultados de Límite Líquido de la pasta.

Número de Golpes	% Humedad
12	28,11
15	27,81
22	27,03

De los resultados obtenidos se realiza la gráfica del número de golpes contra el porcentaje de humedad.

En la figura 3.5 se pueden observar la gráfica de los datos anteriormente obtenidos.

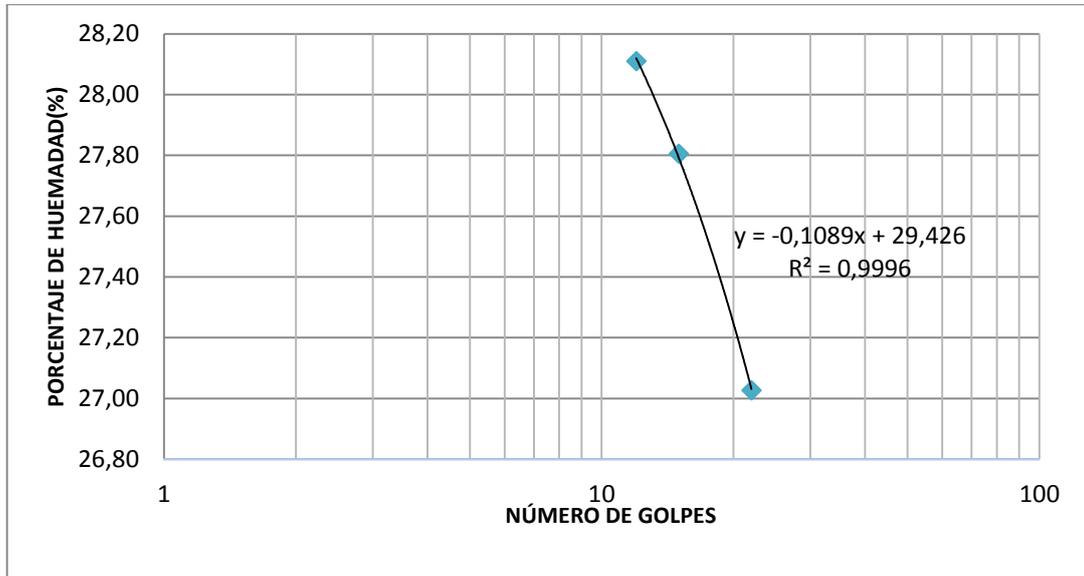


Figura 3.5: Número de golpes vs. Porcentaje de humedad

Elaboración: Propia

Según Atterberg la dependencia de la humedad con el logaritmo del número de golpes debe ser lineal, por lo que al realizar la regresión lineal con los datos obtenidos se obtiene la siguiente ecuación:

$$H = -0,108 \cdot (N) + 29,42 \quad \text{E.3.1}$$

Dónde:

N= Numero de Golpes

H= Humedad (%)

Utilizando la ecuación E.3.1 se calcula el valor de la humedad equivalente a 25 golpes, este valor corresponde al límite líquido de la pasta.

$$H = -0,108 \cdot (25) + 29,42 = 26,71$$

$$\mathbf{Humedad (\%) = 26,71}$$

4.2.9.1.2. Límite Plástico.

El límite plástico (LP) de un suelo, es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástico y semisólido.

Se considera que un suelo está en el límite plástico cuando al amasarlo en la mano o sobre una superficie lisa hasta formar una varilla, ésta comienza a disgregarse al llegar al diámetro de aproximadamente 3mm.

Para la determinación del límite plástico se prepara la muestra y se procede con el método descrito.

Los resultados obtenidos al realizar esta prueba se presentan en la tabla número 3.12.

Tabla 3.11: Resultados del Limite Plástico de la pasta.

Peso muestra húmeda (g)	Peso muestra seca (g)	Humedad (g)	% Humedad
2,9890	2,3279	0,661	22,12

El límite plástico se calcula con la siguiente relación.

$$LP = \frac{\text{Peso del agua contenido en la muestra (g)}}{\text{Peso del suelo seco (g)}} * 100 \quad E.3.2$$

Para nuestra mezcla utilizando la E.3.2, el límite plástico es:

$$LP = \frac{0,661}{2,9860} * 100 = 22,14$$

$$LP = 22,14\%$$

Los límites líquido y plástico determinan los valores mínimo y máximo de humedad con los que se puede trabajar la pasta, para la elaboración de los aisladores eléctricos.

4.2.9.1.3. *Índice plástico.*

El índice plástico es un método usado para la caracterización de las arcillas y es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. Indica el rango de humedad en el que la muestra presenta características plásticas.

$$IP = LL - LP \quad \text{E.3.3}$$

Donde:

IP: Índice plástico

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

El valor del índice plástico para nuestra mezcla se determina con la E.3.3:

$$IP = 26,71 - 22 = 4,71$$

$$IP = 4,71$$

4.2.9.1.4. Índice de consistencia.

El índice de consistencia permite conocer cualitativamente desde este punto de vista el comportamiento de un suelo dado en función de su humedad, con la cual se podrá trabajar un suelo de forma tal que éste sea capaz de resistir solicitaciones deformándose sin fallar, y se evalúa según los criterios expresados en la tabla 3.12.

Tabla 3.12: Evaluación del Índice de consistencia.¹²

Índice de consistencia	Consistencia	
≤ 0	Líquida	
0,00 a 0,50	Plástica	Muy blanda
0,50 a 0,75		Blanda
0,75 a 1,00		Tiesa
≥ 1	Semi – dura	

El índice de consistencia se calcula mediante la siguiente expresión:

¹² TIRADO, Inés; Estudio de optimización de una planta de fabricación de ladrillos prensados y perforados; EPN; Quito; 1994; Pág. 16

$$I_c = \frac{LL - W_n}{IP} \quad E.3.4$$

Donde:

Ic: Índice de consistencia

W_n: Contenido de humedad natural

LL: Límite líquido

IP: Índice plástico

El valor del índice de consistencia obtenido se determina con la E.3.4:

$$I_c = \frac{26,71 - 2}{4,71} = 5,25$$

4.2.9.1.5. Límites de Atterberg de la mezcla.

Los límites de Atterberg correspondientes a la formulación establecida se resumen en la tabla 3.13.

Tabla 3.13: Límites de Atterberg de la mezcla.

Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	Índice Plástico IP	Índice de consistencia Ic	Consistencia
26,71	22,14	4,71	5,5	Semi-dura

De los resultados obtenidos se determina que nuestra composición presenta buenas características plásticas; por ende será la formulación con la que se fabricarán los aisladores eléctricos cerámicos tipo ANSI 53-2.

4.2.9.2. Pruebas de Pfefferkorn.

Estas pruebas sirven para verificar los resultados obtenidos en las pruebas de los límites de Atterberg, además mediante el test de Pfefferkorn se determina la humedad óptima de la pasta cerámica para ingresar al extrusor.

Para realizar esta prueba se emplea el equipo Pfefferkorn, el cual consta de las siguientes partes principales: la base donde se ubica la probeta y el brazo que sujeta una cabeza plana. En la figura 3.6 se puede observar el equipo usado.



Figura 3.6: Equipo Plasticímetro Pfefferkorn

Los datos obtenidos al realizar esta prueba así como los resultados calculados para las dos composiciones estudiadas, se pueden observar con detalle en el Anexo 8.

Se prepara pasta con diferentes contenidos de humedad, con características plásticas similar a la plastilina, amasándola hasta desalojar el aire atrapado en la masa y formar con ella cilindros de 33 mm de diámetro y 40 mm de altura (ho).

Para realizar el ensayo se deja caer súbitamente la cabeza plana de 780 g desde una altura de 100 mm. Luego del efecto de caída se mide la altura alcanzada por

la probeta (h_1) y se determina su contenido de humedad, este procedimiento se repite por 10 ocasiones.

La relación entre la altura inicial de la barra y la final alcanzada (h_0/h_1) se conoce como el coeficiente de Pfefferkorn de la muestra, que permite predecir las características plásticas de las pastas cerámicas según su contenido de agua y constituye el límite máximo de humedad con que debe entrar la pasta al extrusor.

Según el coeficiente de plasticidad de Pfefferkorn es posible clasificar a las pastas según su moldeabilidad así:

- Si dicho coeficiente es menor a 2.66 la pasta es difícil de moldear a mano.
- Si el coeficiente es mayor a 2,66 y menor a 4 la pasta se puede moldear a mano.
- Si el coeficiente es mayor a 4 la pasta se adhiere a las manos.

Los resultados obtenidos en estas pruebas se muestran en la tabla 3.14

Tabla 3.14: Coeficiente de Plasticidad de Pfefferkorn

Muestra	Humedad (%)	h_0 / h_1
1	27,32	1,30
2	27,10	1,19
3	27,41	1,30
4	27,62	1,40
5	27,58	1,31
6	27,68	1,43
7	27,33	1,26
8	27,11	1,24
9	27,21	1,23
10	26,89	1,05

Según los resultados del coeficiente de Pfefferkorn la pasta se encuentra dentro de la zona correspondiente a las que presentan dificultad de moldeo manual, sin embargo se puede trabajar fácilmente con el proceso de torneado de los aisladores.

En la figura 3.7 se representa el diagrama de la humedad de la muestra (%) versus el coeficiente de Pfefferkorn (h_0/h_1).

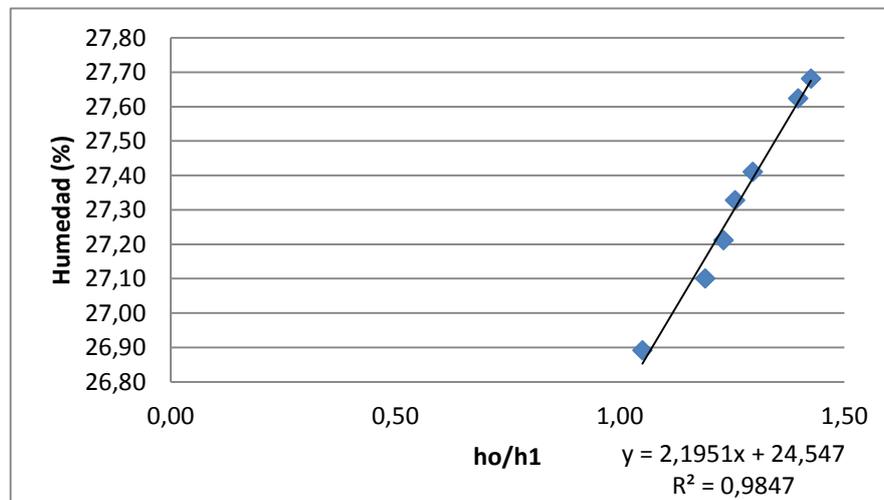


Figura 3.7: Humedad de la muestra (%) versus el coeficiente de Pfefferkorn

Elaboración: Propia

Con los datos obtenidos y despreciando los puntos dispersos presentados en la figura 3.7, se realiza la regresión lineal logrando obtener la siguiente ecuación:

$$H = 2,1951(h_0/h_1) + 24,547 \quad E.3.5$$

Donde:

H: humedad de la pasta (%)

h_0/h_1 = coeficiente de Pfefferkorn

Para un coeficiente de Pfefferkorn de 2,66, con la E.3.5:

$$H = 2,1951(h_0/h_1) + 24,547$$

$$H = 2,1951(2,66) + 24,547 = 30,39$$

Sobre la base de los resultados obtenidos en el límite plástico y el coeficiente de Pfefferkorn de la pasta, se establece como óptimo un rango de humedad para ingresar al extrusor entre el 23,78% y el 30,39%.

4.2.10. PRUEBAS FÍSICAS.

Las pruebas físicas que se realizan a la pasta formada son las siguientes:

- Contracción Lineal
- Porcentaje de Absorción de Agua
- Porosidad

4.2.10.1. Contracción lineal.

La contracción lineal permite establecer el porcentaje de reducción de medidas que se da en la pasta formada al momento de ser sometida a los procesos de secado y calcinado.

Esta prueba se realiza en base a la norma ASTM C326-82 (Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays). Las probetas elaboradas son de diámetro 29 mm y 4 mm de altura, aproximadamente.

Estas probetas se someten a una temperatura de cocción de 1200 °C, se mide el diámetro antes y después de la calcinación, lográndose obtener el porcentaje de reducción de las medidas.

El porcentaje de contracción lineal obtenido es de 14.4%, el cual se usa para modificar las medidas de la cuchilla de formado, ya que las dimensiones del aislador se modifican durante el proceso de cocción.

Los resultados obtenidos así como los datos calculados al realizar esta prueba, se pueden observar con detalle en el Anexo 9.

4.2.10.2. Porcentaje de absorción de agua.

Mediante esta prueba, se determina la temperatura óptima de sinterización de la pasta formada para la fabricación de los aisladores eléctricos de porcelana.

La prueba del porcentaje de absorción de agua, se la realiza con probetas similares a las usadas en la prueba de contracción lineal y se analizan diferentes temperaturas, para determinar la temperatura adecuada para la sinterización de la pasta cerámica.

La norma correspondiente para esta prueba es la ASTM C373-88 (Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products).

La cantidad de absorción de agua en la porcelana eléctrica debe estar entre 0,2 a 2%, y en lo posible debe ser nula.

La temperatura de sinterización con la que se obtuvo los mejores resultados es de 1160°C, con un porcentaje de absorción de agua de 0.25%.

A temperaturas superiores a 1160°C la pasta cerámica comienza a vitrificarse completamente.

Con una temperatura de sinterización de 1160 °C se obtuvo una porcelana densa y fuerte, que cumple con la especificación de absorción de agua para aisladores cerámicos de baja tensión.

Los resultados obtenidos de esta prueba, utilizando diferentes composiciones y temperaturas de quemado, se pueden observar con detalle en el Anexo 10.

4.2.10.3. Coeficiente de Dilatación.

La resistencia al choque térmico de la porcelana eléctrica, depende fundamentalmente de las siguientes propiedades físicas: conductividad térmica, coeficiente de dilatación, resistencia mecánica y módulo de elasticidad.

Con coeficientes de dilatación muy bajos, nulos o negativos es posible obtener piezas muy resistentes al choque térmico. Estas pruebas fueron desarrolladas por el CESEMIN de la Universidad de Cuenca, en las cuales se obtuvo un coeficiente de dilatación de 0,5497% a una temperatura de 600°C.

Los resultados obtenidos, así como los datos calculados al realizar esta prueba, se pueden observar con detalle en el Anexo 11.

4.2.10.4. Porosidad.

La porcelana eléctrica es un producto cerámico fabricado con materiales de tal naturaleza, que al ser sometidos a elevadas temperaturas durante el proceso de cocción, se obtiene un material compacto y sin porosidades, que sin la necesidad de recubrimientos o esmaltes es totalmente impermeable.

La prueba de porosidad es sencilla y de carácter cualitativo, se la realiza en base a la norma ASTM D116-86 (Standard Test Methods for Vitrified Ceramic Materials for Electrical Applications).

Para realizar la prueba se usan probetas cilíndricas de 6,0 cm de longitud por 2,5 cm de diámetro.

Las probetas se sumergen totalmente en una solución que contiene indicador azul carmín por un lapso de 30 minutos. Luego se limpia el exceso y se secan. Finalmente se procede a romperlas para observar si la solución logró penetrar en las probetas.

La muestra no presenta penetración del indicador en su cuerpo, demostrando de esta manera que la pasta cumple con el requisito de cero porosidad.

La figura 3.8 muestra la probeta después del ensayo de porosidad.



Figura 3.8: Verificación de porosidad en las probetas de pasta cerámica.

4.2.11. **PRUEBAS ELÉCTRICAS.**

Las pruebas eléctricas determinan propiedades que son primordiales en la industria electrocerámica, permiten predecir el comportamiento eléctrico de los aisladores fabricados en la Planta Piloto.

Las pruebas a realizar se detallan a continuación:

- Rigidez Dieléctrica
- Resistividad Volumétrica.

Las pruebas eléctricas se realizaron en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.

Estas pruebas eléctricas se realizan con 5 probetas de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM C657-93 (Standard Test Method for D-C Volume Resistivity of Glass) y la norma ASTM C483-95 (Standard Test Method for Electrical Resistance of Conductive Ceramic Tile).

Las probetas ensayadas son discos de 50 mm de diámetro por 5 mm de espesor.

Los resultados obtenidos al realizar las pruebas eléctricas, así como los cálculos se pueden observar con detalle en el Anexo 12.

4.2.11.1. Rigidez Dieléctrica.

Para realizar esta prueba se colocan a las probetas dos terminales, y se las ubica dentro de un recipiente polimérico con aceite aislante hasta cubrirlas, luego se aplica voltaje a través de la probeta, el mismo que se irá incrementando hasta que se produzca la perforación de la probeta.

El valor de la rigidez dieléctrica se calcula mediante la expresión:

$$RD = \frac{V}{e} \quad \text{E. 3.6}$$

Donde:

RD= Rigidez Dieléctrica (kV/mm)

V= Voltaje (V)

e= Espesor (mm)

El equipo utilizado consta de un transformador con un panel de control, cuyas características se detallan en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Características de los equipos usados en la prueba de rigidez dieléctrica

Panel de Control	Descripción
Marca	MESSWANDLER-BAU GMBH BAMBERG
Tipo	SRP0.5/ 5
Corriente	21.7 (A)
Voltaje regulable	0 – 230 (V)
Frecuencia	60 (cps)
Transformador	
Marca	MESSWANDLER-BAU GMBH BAMBERG
Tipo	TZG100/5 ^a
Alcance	30 min
Voltaje regulable	200V – 100 kV
Corriente regulable	22.7 – 0.05 A

En la figura 3.9 se puede observar el equipo usado para realizar la prueba de Rigidez Dieléctrica.

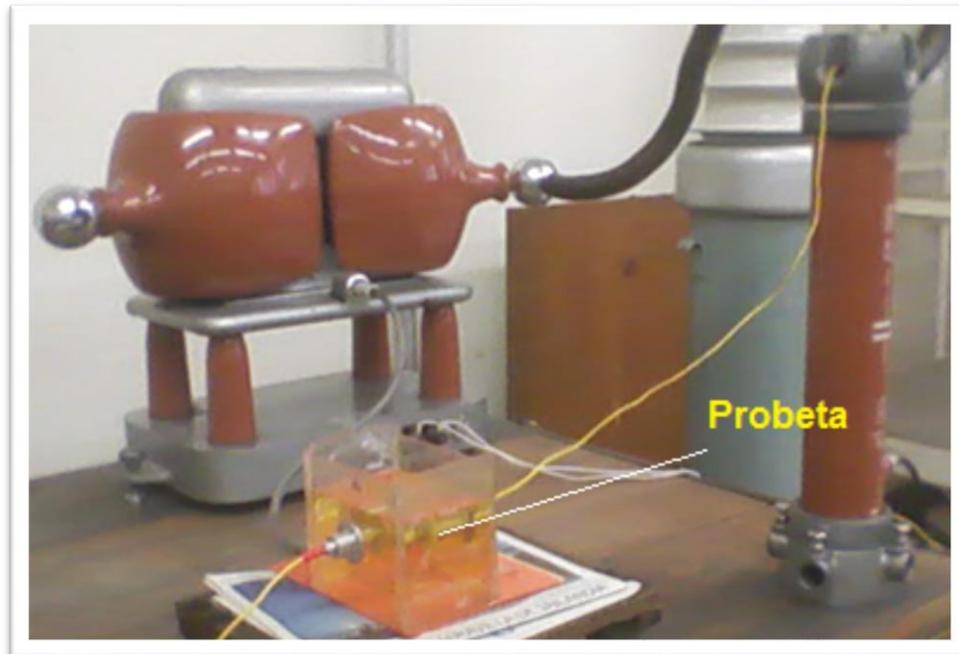


Figura 3.9: Equipo usado en la prueba de Rigidez Dieléctrica.

La Rigidez Dieléctrica de una porcelana eléctrica debe ser mayor a 5 kV/mm y el valor promedio de la rigidez dieléctrica obtenido de las 5 probetas es 11,04 kV/mm, por lo que la pasta si cumple con esta propiedad.

4.2.11.2. Resistividad Volumétrica.

En la norma ASTM D257-91 (Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials) se detallan los requerimientos para poder dimensionar los electrodos en las probetas.

Para este ensayo se utilizan 5 probetas pintadas con pintura de plata para formar electrodos, según se especifica en la norma.

Los electrodos se deben pintar en las dos caras de las probetas.

La figura 3.10 muestra las dimensiones de los electrodos usados, para las pruebas de Resistividad Volumétrica.

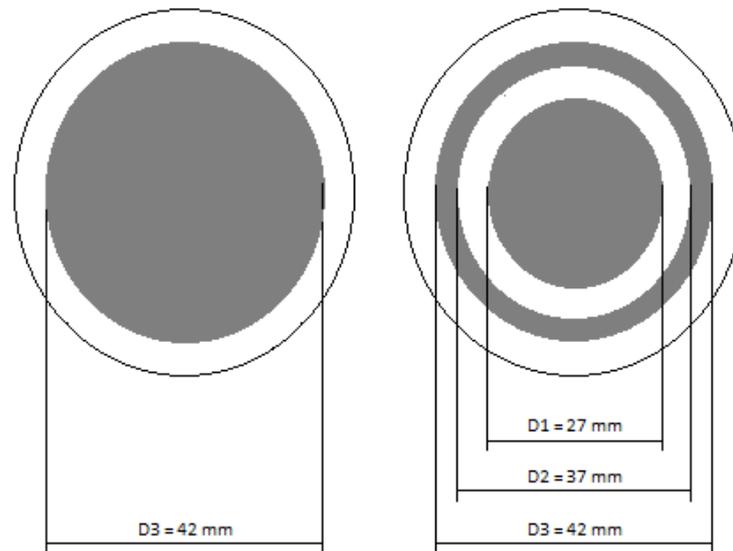


Figura 3.10: Dimensiones de los electrodos para la Resistividad Volumétrica.

Elaboración: Propia

Las probetas se colocan entre los dos terminales del equipo y se aplica un voltaje de 500, 1000 y 1500 voltios; los datos que se tomaron fueron las resistencias dadas en mega ohmios.

En la norma ASTM D 657 se especifica que la resistividad volumétrica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_v = \frac{R * S}{e} \quad \text{E. 3.7}$$

Donde:

ρ_v = Resistividad Volumétrica (Ω - cm)

R= Resistencia Volumétrica (Ω)

S= Superficie de los electrodos (cm^2) = $\pi D_0^2/4$

e= Espesor de la pieza (cm)

El diámetro del electrodo D_0 recomendado en la norma, es de 22 a 90 mm y se calcula con la ecuación E.3.8.

$$D_0 = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad \text{E. 3.8}$$

Donde:

D_1 = Diámetro del electrodo de la cara superior de la probeta.

D_2 = Diámetro del electrodo de la cara inferior de la probeta.

El equipo usado es un Megahmetro, cuyo voltaje de alimentación es de 120V rectificado en 5kV.

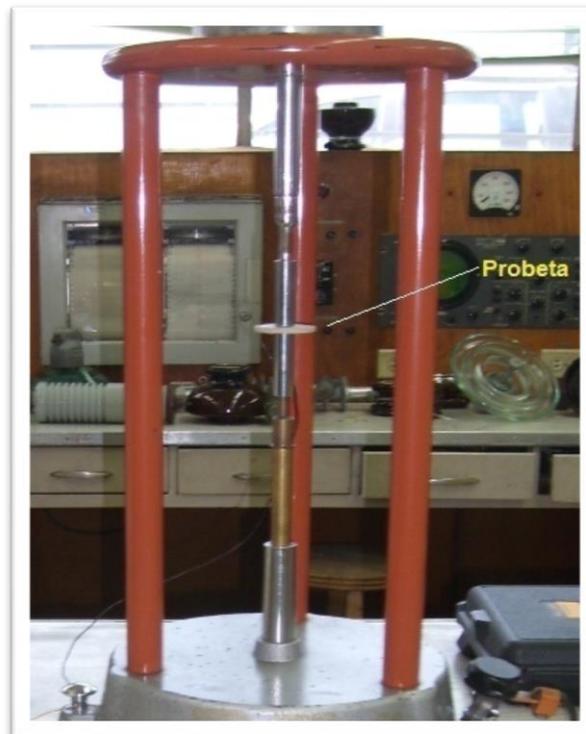


Figura 3.11: Equipo usado en la prueba de Resistividad Volumétrica

La tabla 3.16 muestra los resultados obtenidos en la prueba de Resistividad Volumétrica.

Tabla 3.16: Resistividad Volumétrica medida a 3 voltajes diferentes

Probeta	Resistividad volumétrica en $\Omega \cdot \text{cm}$		
	A 500 V	A 1000 V	A 2500 V
1	1,17E+11	1,08E+11	8,83E+10
2	1,16E+11	1,10E+11	9,90E+10
3	1,07E+11	1,02E+11	9,07E+10
4	1,14E+11	1,08E+11	9,64E+10
5	1,14E+11	1,08E+11	9,76E+10
Promedio	1,14E+11	1,07E+11	9,44E+10

La resistividad volumétrica para porcelana eléctrica debe estar entre $1,8\text{E}+10$ y $18\text{E}+10 \Omega \cdot \text{cm}$ para un voltaje de 1000 V.

La resistividad calculada a 1000 V es de $10,7\text{E}+10$, por lo que la pasta cerámica formulada si cumple con este parámetro de la norma.

4.2.12. PRUEBAS MECÁNICAS.

Las propiedades mecánicas que se realizan a la porcelana eléctrica son: Resistencia a la Tensión, Resistencia a la Flexión y Resistencia a la Compresión.

Las pruebas mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

Se utilizaron probetas cilíndricas de 12,50 cm de longitud por 2,50 cm de diámetro de acuerdo con la norma ASTM C674-88(Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials) para la resistencia a la tensión y a la flexión; y la norma ASTM C 773-88 (Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials) para medir la resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos luego de realizar estas pruebas, así como los cálculos se pueden observar en el Anexo 13.

4.2.12.1. Resistencia a la Tensión y a la Flexión.

La resistencia a la tensión está determinada por el módulo de ruptura de la probeta, mientras que la resistencia a la flexión se encuentra definida por el módulo de elasticidad.

Por lo que es necesario calcular el valor de estas dos propiedades en las probetas de porcelana eléctrica.

Las pruebas se realizaron con 5 probetas utilizando el equipo para ensayos de flexión y tracción respectivamente.

Para el ensayo de flexión: la probeta fue colocada sobre dos soportes separados 10 cm, luego se aplicó la carga al centro de la probeta hasta provocar la fractura. Se registraron los valores de esfuerzo y deformación.

Para el ensayo de tracción: la probeta se colocó en el equipo y se aplicó la carga hasta que se fracture, los valores registrados fueron esfuerzo y deformación.

En la figura 3.12 se puede observar el equipo usado para las pruebas de Resistencia a la Tensión y a la Flexión.



Figura 3.12: Montaje de las probetas para determinar el módulo de ruptura y de elasticidad de la porcelana.

El valor del módulo de ruptura se determina con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{8 * P * L}{\pi * d^3} \quad \text{E. 3.9}$$

Donde:

M= Módulo de Ruptura (MPa)

P= Carga de Ruptura (N)

L= Distancia entre soportes (m)

d= Diámetro de la probeta (m)

El valor del módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{4 * W * L^3}{3 * \pi * \Delta * d^4} \quad \text{E. 3.10}$$

Donde:

E= Módulo de Elasticidad (MPa)

W= Carga sobre la probeta (N)

L= Distancia entre soportes (m)

Δ = Deformación en el punto (mm)

d= Diámetro de la probeta (m)

El módulo de ruptura para porcelana eléctrica debe ser mayor a 50 MPa y el módulo de elasticidad debe ser mayor a 60000 MPa.

Los resultados del módulo de ruptura que mide la Tensión y de elasticidad que mide la Flexión, se muestran en la tabla 3.17.

Tabla 3.17: Módulo de ruptura y módulo de elasticidad

Módulo de Ruptura		Módulo de Elasticidad	
Nº Probeta	M (Mpa)	Nº Probeta	E (Mpa)
1	78,366	6	72718,37
2	89,532	7	63418,61
3	80,291	8	88026,90
4	72,920	9	83458,86
5	89,998	10	76177,50
Promedio	82,22	Promedio	76760,05

4.2.12.2. Resistencia a la Compresión.

Esta prueba se la realizó a 5 probetas, utilizando un equipo de compresión de las siguientes características:

Tabla 3.18: Características generales del equipo usado en la prueba de resistencia a la compresión.

Marca	Zuspeca
Tipo	CMH120
Corriente	220 / 380, 3 fases

El valor de la resistencia a la compresión se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P}{A} \quad E.3.11$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión (MPa)

P= Carga sobre la probeta (N)

A= Área transversal de la pieza (mm²)

La resistencia a la compresión de una porcelana eléctrica debe ser mayor a 206,9 MPa.

Los resultados de la resistencia a la compresión se muestran en la tabla 3.19.

Tabla 3.19: Resultados de la Prueba de Resistencia a la Compresión.

Resistencia a la Compresión	
Nº Probeta	C (MPa)
12	241,372
13	262,175
14	226,287
15	251,597
11	268,201
Promedio	249,927

En la tabla 3.20 se muestran los resultados promedio obtenidos al realizar las pruebas a la pasta cerámica, además se muestran los valores dados bibliográficamente para cada una de las propiedades analizadas.

Tabla 3.20: Comparación de los resultados promedio obtenidos de las pruebas de la pasta con datos bibliográficos

Propiedades	Valor obtenido	Valores de bibliografía
Absorción de agua (%)	0,250	0.2 – 2.0*
Porosidad	Nula	Nula*
Rigidez dieléctrica (kV/mm)	11.04	> 5***
Resistividad volumétrica A 1000 V (Ω.cm)	10.7 E+10	1,8-18E+10*
Módulo de ruptura (MPa)	82.22	>50**
Módulo de elasticidad (MPa)	76760.05	>60000**
Resistencia a la compresión (MPa)	249.927	>206,90*

Como se puede observar en la tabla 3.20, la pasta propuesta cumple con todas las propiedades necesarias para la fabricación de aisladores eléctricos de baja tensión.

4.3. MOLDEO Y ELABORACIÓN DEL AISLADOR CERÁMICO TIPO 53-2.

4.3.1. AMASADO Y MADURACIÓN DE LA PASTA.

Partiendo de la formulación establecida, se adiciona agua para alcanzar la humedad adecuada para el amasado y para la fabricación de: probetas y cilindros para el torneado. El porcentaje de humedad utilizado es del 30%. Esta mezcla se amasa firmemente y se deja reposar como mínimo durante 48 horas para su maduración y de esta manera lograr la homogeneidad de la humedad para

comenzar con el proceso de extrusado. El amasado se realiza manualmente para lograr uniformidad en la humedad de la materia prima.

La pasta obtenida se deja reposar durante 48 horas en un ambiente libre de aire para su maduración, con la finalidad de homogenizar completamente la humedad de la pasta.

En la figura 3.13 se muestra la pasta cerámica después del amasado, antes de ingresar al extrusor.



Figura 3.13: Pasta después del amasado.

4.3.2. **EXTRUSIÓN DE LA PASTA.**

El objetivo de la extrusión es obtener barras cilíndricas de 9 cm de diámetro por 12 cm de longitud, compactas, libre de porosidades y de aire en su estructura. La pasta amasada con un porcentaje de humedad de aproximadamente 24 a 25%, es alimentada hacia el extrusor por los rodillos de alimentación, luego es aprisionada y transportada hacia un tornillo sin fin horizontal, el cual empuja la masa contra una placa perforada, atravesando la cámara de vacío en forma de hilos delgados para su desaireación. Un tornillo sin fin vertical evita que la pasta sea absorbida a la

bomba de vacío. En la cámara final del extrusor, la pasta es comprimida y transportada hacia la boquilla de forma circular de 9,00 cm de diámetro, de la cual se obtendrán los cilindros del diámetro deseado.

Los cilindros son cortados a la salida de la boquilla con un hilo de acero fino obteniendo una longitud de 12 cm aproximadamente.

En la figura 3.14 se pueden observar las barras obtenidas luego de finalizar el proceso de extrusión.

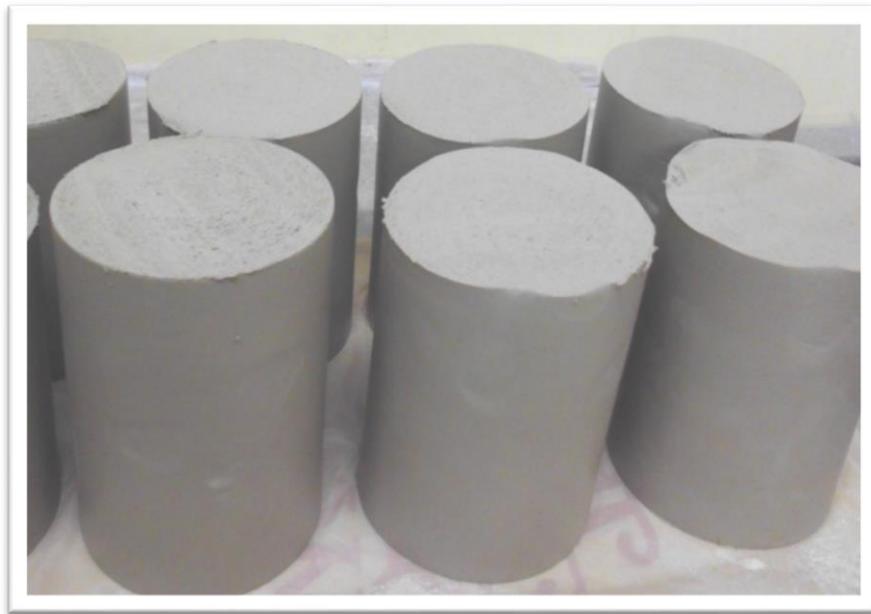


Figura 3.14: Barras obtenidas por extrusión.

4.3.3. **FORMADO DE LOS AISLADORES.**

Una vez obtenidas las barras en el extrusor, éstas se dejan a temperatura ambiente para que la humedad se homogenice durante un periodo de tiempo, durante el cual se alcanzará la humedad adecuada para el formado de los aisladores.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21: Tiempo de secado de las barras extruidas.

Tiempo de Secado (Horas)	Peso Muestra húmeda (g)	Peso Muestra seca (g)	Humedad (g)	% humedad
0	6.2099	4.6942	1.5157	24.4
24	3.2982	2.5409	0.7573	23.0
27	3.3579	2.6081	0.7498	22.3
48	7.6923	6.1775	1.5148	19.7
72	12.4544	10.1060	2.3484	18.9

El tiempo necesario para el presecado se logró determinar después de realizar algunas pruebas de torneado con diferentes valores de humedad.

Se determinó que la humedad adecuada para el formado es de 22.3%, la cual se alcanza en aproximadamente 27 horas de reposo a temperatura ambiente.

El orificio central de las barras se lo realiza con un taladro vertical, en nuestro caso se utilizó el taladro del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Primero se taladra con una broca de 8 mm, con el fin de reducir los esfuerzos en el cilindro, después se pasa una broca de 20 mm de diámetro para alcanzar el diámetro deseado del orificio.

En la figura 3.15 se puede observar la barra de pasta extruida con su respectivo agujero.



Figura 3.15: Orificio de la barra extruida.

La posición de la cuchilla principal y el ángulo de entrada de la misma fueron determinadas acorde a las necesidades del aislador que se va a fabricar, para esto se realizó diferentes pruebas de torneado hasta conseguir las mejores condiciones de operación del torno y la posición de la cuchilla. Las condiciones de operación óptimas del torno se muestran en la tabla 3.22.

Tabla 3.22: Condiciones de trabajo óptimas para el torneado.¹³

Parámetro		Valor
Velocidad de posición de la cuchilla	Frontal	8
	Lateral	6
Velocidad de trabajo	Frontal	50
	Lateral	160
Ángulo de la cuchilla		5°

¹³ MENA, Johnny; Automatización del torno de la planta piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional para la Elaboración de aisladores eléctricos tipo 53-3; Quito; 2008; Pág. 47

Hay que tomar en cuenta para la programación del torno, que los valores de velocidad son propios del programa y son adimensionales.

Para iniciar el torneado se coloca la barra en la base y se tornea de modo automático, en el cual la entrada y salida de la cuchilla, se programan para formar el aislador de acuerdo a condiciones dadas y dimensiones deseadas. A continuación se indica paso a paso el manual de operación del torno:

- 1) Verificar que la alimentación de energía se encuentre activada, para esto abrir la caja de Breakers ubicada en la parte superior izquierda del torno y chequear que el breaker nominado C se encuentre en ON.
- 2) Encender la máquina desde el switch ubicado en la parte superior izquierda del tablero de control. Debería encenderse una luz roja sobre el switch, de no ser así abrir el tablero de control y verificar que los breakers se encuentren en la posición ON.
- 3) Girar el selector a la posición AUTOMATICO. Se encenderá la luz roja del tablero que indica que la máquina se encuentra en paro, a la espera de la orden de marcha.
- 4) Presionar el botón verde de MARCHA. Se apaga la luz roja y se enciende la luz verde que indica que el torno comienza a operar. Los carros móviles se mueven de tal modo que se ubican en la posición de trabajo, arranca automáticamente el motor axial y se procede al formado. Cuando el aislador está terminado los carros móviles se desplazan hasta ubicarse en la posición inicial y automáticamente se detiene, se apaga la luz VERDE y se enciende la luz ROJA, indicando que el torno está detenido y a la espera que se cargue un nuevo cilindro cerámico y se dé nuevamente marcha para repetir el ciclo.
- 5) En cualquier instante de operación del modo automático, si se presiona el botón de paro, la máquina se detiene instantáneamente. Así mismo, con el botón de emergencia al ser pulsado, se detiene la máquina y se desenergiza todo el sistema.
- 6) Al finalizar el procedimiento de torneado, apagar el sistema desde el Switch ubicado en la parte superior izquierda y limpiar completamente los residuos generados en la bandeja, del torno por el proceso de formado.

La figura 3.16 muestra el aislador formado en el torno.



Figura 3.16: Aislador formado en el torno.

4.3.4. **CICLO DE SECADO PARA LOS AISLADORES FORMADOS**

Una vez que se ha dado la forma al aislador, éste debe ser sometido a un proceso de secado para eliminar el exceso de humedad. Este proceso debe ser estrictamente controlado para evitar daños en los aisladores, como fisuras y agrietamientos debido al choque térmico provocado por cambios bruscos de temperatura.

El ciclo de secado fue establecido para la fabricación del aislador tipo 53-3, dando buenos resultados para la fabricación del aislador 53-2.

Las curvas correspondientes de este ciclo, se pueden observar en el Anexo 14

El ciclo de secado para el aislador tipo 53-2 se detalla en la tabla 3.23.

Tabla 3.23: Ciclo de secado para los aisladores formados.

Rango de temperatura (°C)	Tiempo (h : min)
De 20 a 110	5 : 00
De 110 a 110	10 : 00
De 110 a 20	5 : 00

4.3.5. DETERMINACIÓN DEL CICLO DE COCCIÓN PARA LOS AISLADORES FORMADOS.

La cocción de los aisladores permite lograr que las materias primas se fundan, fusionen y de esta manera alcancen las propiedades eléctricas y mecánicas requeridas para los aisladores de porcelana.

El ciclo de cocción consiste en elevar la temperatura gradualmente hasta los 1160°C y mantenerse a esta temperatura por un corto periodo en comparación con el ciclo completo. De igual manera el enfriamiento debe ser gradual a medida que se enfríe el horno.

Las características del horno programable usado se detallan en la tabla 3.24.

Tabla 3.24: Características del horno utilizado en la cocción.

Equipo	Horno programable
Marca	Nabertherm
Modelo	N300 / H
Capacidad	300 litros
Temperatura máxima	1300°C

El ciclo de secado con el que se parte, se estableció en la fabricación del aislador tipo 53-3, dando buenos resultados para la fabricación del aislador 53-2, por lo que no fue necesario modificar los tiempos establecidos en este ciclo.

Los datos de los ciclos se pueden observar en el Anexo 15.

En la tabla 3.25 se muestra el ciclo de cocción usado para la quema de los aisladores tipo 53-2.

Tabla 3.25: Ciclo de cocción para los aisladores formados.

Rango de temperatura (°C)	Tiempo(h:min)
De 20 a 550	4 : 42
De 550 a 600	0 : 57
De 600 a 850	2 : 45
De 850 a 1160	4 : 43
De 1160 a 1160	1 : 00
De 1160 a 20	20 : 00
Total	34 : 07

En la figura 3.17 se puede observar al aislador 53-2 después de ser sometido al ciclo de cocción.



Figura 3.17: Aisladores después del ciclo de cocción.

4.3.6. **FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DEL ESMALTE EN LOS AISLADORES FORMADOS**

El esmalte aplicado a los aisladores ANSI 53-2 fue formulado por el Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos, CESEMIN de la Universidad de Cuenca, etapa que se desarrolló como parte del Proyecto PIC-098. El esmalte fue fabricado por la empresa ESFEL S.A (Esmaltes Ferro Eljuri) de Cuenca.

La tabla 3.26 presenta las materias primas y el porcentaje de cada una de ellas para la formulación del esmalte.

Tabla 3.26: Formulación del esmalte para aisladores

Materia prima	Porcentaje (%)
Frita	82.0
Caolín	8.2
Opacificante	9.8
Total	100%

La frita es básicamente un vidrio, que se obtiene a partir de la fusión de materias primas similares a las que se usan para la elaboración de los aisladores eléctricos, pero en proporciones diferentes y con la adición de otros minerales que brindan las propiedades necesarias para constituirse en la base de un buen esmalte para aplicaciones eléctricas, en estado de polvo con tamaños entre 5 y 20 μm .

El esmalte proporcionado es un polvo fino con un tamaño de grano de 40 micras (malla #325 ASTM), por lo que es necesario determinar la densidad adecuada para la aplicación en los aisladores eléctricos.

Para la elaboración del esmalte se añade agua a razón de 0,57 a 0,6 litros de agua, por cada kilogramo de esmalte.

Los cálculos realizados para determinar la densidad adecuada del esmalte, se pueden observar en detalle en el Anexo 16.

En la tabla 3.27 se puede observar la composición típica de una frita.

Tabla 3.27: Composición típica de una frita. ¹⁴

	Materia prima	Fórmula	Óxidos que se forman en el vidriado	%
Frita	Carbonato de calcio	CaCO ₃	CaO	12
	Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Na ₂ O, B ₂ O ₃	19
	Ácido bórico	H ₃ BO ₃	B ₂ O ₃	4
	Feldespato	K ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	K ₂ O, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	57
	Cuarzo	SiO ₂	SiO ₂	8
	Total			100

Una vez homogenizado el esmalte, se procede a determinar la densidad de éste para garantizar su óptima aplicación sobre la porcelana cruda; para esto, si es necesario se añade agua poco a poco y se agita hasta obtener una consistencia cremosa correspondiente a un valor de densidad igual a 1.42 g/cm³.

La densidad del esmalte se determinó con la norma INEN 1009, en la cual se establece el método para establecer la densidad en pinturas, barnices, lacas y productos afines, distintos de los pigmentos en estado líquido.

Para el cálculo de la densidad del esmalte se utilizó un picnómetro de vidrio, de capacidad 50 ml, y se siguió el procedimiento del Anexo 16.

En la tabla 3.28, se muestran los datos obtenidos y el valor calculado para la densidad del esmalte.

¹⁴ TAPIA, Juan; Uso de la automatización para el torneado y proceso de acabado de aisladores eléctricos tipo 53-3; EPN; Quito; 2010; Pág. 15

Tabla 3.28: Densidad del esmalte para el aislador ANSI 53-2

Densidad del Esmalte					
M₁ (g)	M₂ (g)	M₃ (g)	M₄ (g)	V (cm³)	D_m (g/cm³)
35,7174	60,7915	71,4095	35,7174	25,1835	1,4173

4.3.6.1. Aplicación del esmalte

El esmaltado de los aisladores se realiza mediante la aplicación continua de varias capas, por el método de aspersion, en nuestro caso 3 capas, las cuales garantizan un film consistente de esmalte en la superficie aplicada (70 - 500 micras en total).

Para la aplicación del esmalte, la superficie del aislador debe estar completamente limpia y libre de polvo, de manera que el esmalte pueda adherirse sin problemas y se obtenga una superficie uniforme.

La aplicación del esmalte se realiza con el proceso de doble cocción, es decir, el aislador crudo se somete a una primera cocción para obtener el soporte, al que se le aplica el esmalte para someterlo a una segunda cocción, en esta etapa la porcelana previamente cocida, absorbe una pequeña cantidad del agua de la suspensión de esmalte, el cual se deposita sobre su superficie creando una delgada capa de sólidos del esmalte.

El aislador esmaltado se somete nuevamente al ciclo de cocción.

Tabla 3.29: Ciclo de cocción para los aisladores esmaltados.

Rango de temperatura (°C)	Tiempo(h:min)
De 20 a 550	4 : 00
De 550 a 600	1 : 00

De 600 a 850	3 :00
De 850 a 1160	5 : 00
De 1160 a 1160	1 : 00
De 1160 a 20	20 : 00

Antes de introducir los aisladores esmaltados al horno, se recomienda un secado previo, para reducir el contenido de humedad de las piezas hasta niveles lo suficientemente bajos, para que la etapa de cocción se desarrolle adecuadamente, y de esta manera garantizar mejores resultados en el proceso.

En la figura 3.18 se puede observar el aislador ANSI 53-2 terminado, luego de haber sido sometido a los procesos de esmaltado y cocción.



Figura 3.18: Aisladores ANSI 53-2 terminados.

CAPÍTULO 4

5. PRUEBAS DEL AISLADOR TIPO ANSI 53-2.

Las pruebas que se realizan al aislador eléctrico tipo ANSI 53-2 se establecen en el punto 8.0 de la norma ANSI C29.3 (American National Standard for Wet Process Porcelain Insulators Spool Type), las cuales se resumen a continuación:

Pruebas físicas.

- Pruebas Dimensionales.
- Pruebas Visuales.

Pruebas mecánicas.

- Ensayo de resistencia mecánica transversal.

Pruebas eléctricas.

- Ensayo de tensión de flameo en seco a baja frecuencia.
- Ensayo de tensión de flameo en húmedo a baja frecuencia.

En la tabla 4.1 se establecen los valores estándar en base a la norma.

Tabla 4.1: Valores de las propiedades electromecánicas según la norma ANSI C29.3

Prueba Aislador tipo carrete 53-2		Valor	Norma C29.3 Sección
Valores Mecánicos.			
Resistencia mecánica Transversal		13300 N	5.1.6
Valores Eléctricos			
Tensión contorno a frecuencia industrial en seco		25 kV	4.2
Tensión contorno a frecuencia industrial	Bajo lluvia - horizontal:	15 kV	4.3
	Bajo lluvia - vertical:	12 kV	4.3

Las pruebas físicas, mecánicas y eléctricas se realizan a los aisladores eléctricos esmaltados. Los resultados obtenidos se comparan con los establecidos en la Norma ANSI C29.3 para determinar el cumplimiento de cada propiedad.

Además, como referencia para el presente estudio, estas pruebas se realizarán a los aisladores eléctricos tipo 53-2 que actualmente se encuentran en el mercado nacional y que son utilizados por las empresas eléctricas del país.

4.5. PRUEBAS FÍSICAS.

Las pruebas físicas, deben garantizar que los aisladores fabricados estén libres de defectos y cumplan con las dimensiones especificadas en la Norma ANSI C29.3.

Los resultados promedio se expresan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Dimensiones de los aisladores fabricados vs los existentes en el mercado.

Dimensiones (mm)	Norma ANSI C29.3	Aisladores Gamma	Aisladores fabricados
Altura	76±1,5	76,1	75,0
Diámetro nominal	79±1,5	78,5	77,8
Diámetro del cuello	45±3	46,0	45,0
Diámetro agujero	18 ^{+1,5} ₋₀	20,5	17,6

Como se puede observar en la tabla 4.2 los aisladores fabricados en la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional cumplen con las dimensiones especificadas en la norma ANSI C29.3.

4.6. PRUEBAS MECÁNICAS.

4.6.1. ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA TRANSVERSAL.

El ensayo de resistencia transversal se realizó a 3 aisladores de acuerdo con el numeral 5.1.6 de la norma ANSI C29.1. Se lo hizo en el Laboratorio de Análisis de esfuerzos y Vibraciones del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

El equipo utilizado para el ensayo de resistencia transversal es una Máquina Universal de ensayos marca Tinius Olsen, modelo Super L.

El montaje para el ensayo y el instante de la fractura del aislador, se muestran en las figuras 4.1 y 4.2 respectivamente.



Figura 4.1: Ensayo de resistencia mecánica transversal de los aisladores



Figura 4.2: Momento de la fractura en el ensayo de resistencia transversal

Este ensayo se realiza a tres aisladores fabricados. Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Resistencia mecánica transversal de los aisladores

Aislador	Carga de ruptura (N)
	Aisladores fabricados
1	17 500

2	18 000
3	16 700
Promedio	17 400

El valor nominal de la resistencia mecánica transversal según la norma ANSI C29.3 es 13300 N.

La norma establece que el valor promedio de los tres aisladores debe ser igual o superior al 85% del valor nominal. Por lo que si se cumple con lo establecido en la norma.

4.7. PRUEBAS ELÉCTRICAS.

Las pruebas eléctricas de los aisladores fabricados se deberán ajustar a lo establecido en las normas ANSI C29.1 y C29.3. Las pruebas eléctricas a los aisladores fabricados se realizan en el siguiente orden.

- Ensayo de tensión de flameo en seco a baja frecuencia.
- Ensayo de tensión de flameo en húmedo a baja frecuencia.

4.7.1. ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN SECO A BAJA FRECUENCIA

Esta prueba se realiza a un total de 3 aisladores, los mismos que se ensayaron de acuerdo con el numeral 4.2 de la norma ANSI C29.1.

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.

En la figura 4.3 se presenta el montaje para el ensayo.



Figura 4.3: Equipo usado en el ensayo de tensión de flameo en seco.

El valor promedio de la tensión de flameo obtenido, debe ser corregido a condiciones normales de presión y temperatura de acuerdo con la norma ANSI C29.1 sección 4.2.4, para lo cual se divide el valor promedio de la tensión de flameo en seco para un factor de corrección.

La ecuación usada para la corrección de la tensión de flameo se detalla a continuación:

$$K_d = 0,392 P / (273 + T) \quad \text{E.4.1}$$

Donde:

K_d : factor de corrección

P : presión barométrica (mmHg)

T : temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

Para las condiciones de Quito tomando en cuenta una presión atmosférica de 540mmHg y una temperatura ambiente promedio de 20°C K_d : 0.722.

La tabla 4.4 muestra los resultados del ensayo de tensión de flameo en seco.

Tabla 4.4: Valores obtenidos en la prueba de tensión de flameo en seco de los aisladores

Aislador	Valor promedio Tensión de flameo en seco (kV)	Valor corregido Tensión de flameo en seco (kV)
1	17,32	23.98
2	18,40	25,48
3	17,46	24.18
Promedio	17,72	24,54

El valor nominal de la tensión de flameo en seco de los aisladores tipo ANSI 53-2 según la norma ANSI C29-3 es 25kV. La norma establece que el valor promedio corregido de los tres aisladores debe ser igual o superior al 95% del valor nominal.

El valor que corresponde al 95% del valor nominal es igual a 23,8 kV; por lo que el aislador fabricado si cumple con la norma.

4.7.2. ENSAYO DE TENSIÓN DE FLAMEO EN HÚMEDO A BAJA FRECUENCIA.

Esta prueba se realiza a un total de 3 aisladores de acuerdo con el numeral 4.3 de la norma ANSI C29.1.

Este ensayo se realiza en montaje tanto horizontal como vertical del aislador, para poder simular la lluvia horizontal y vertical que establece la norma ANSI C 29.3. En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran los ensayos realizados.



Figura 4.4: Montaje vertical para el ensayo de tensión de flameo en húmedo.

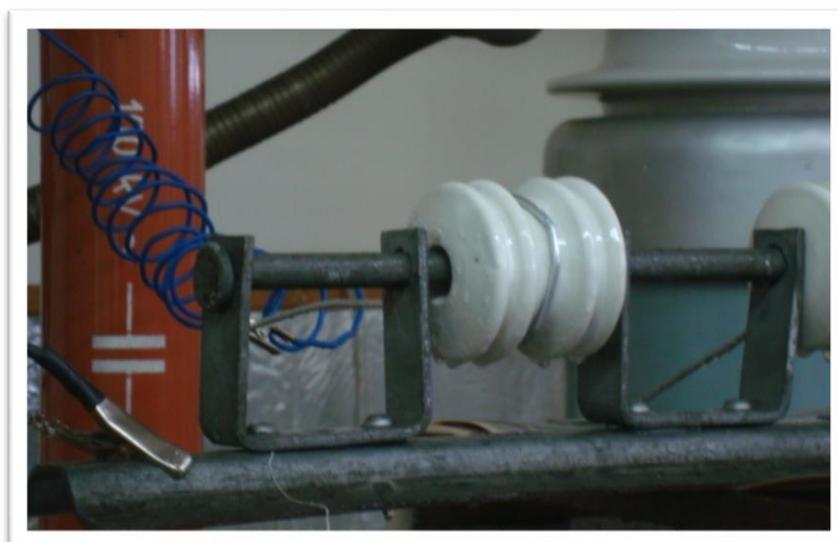


Figura 4.5: Montaje horizontal para el ensayo de tensión de flameo en húmedo

Las tablas 4.5 y 4.6 muestran los resultados del ensayo de tensión de flameo en húmedo montaje vertical y horizontal respectivamente.

El valor corregido se obtiene del promedio dividiendo para el mismo K_d de 0.722

Tabla 4.5: Valores obtenidos del ensayo de tensión de flameo en húmedo de los aisladores, montaje vertical

Aislador	Valor promedio Tensión de flameo en húmedo (kV)	Valor corregido Tensión de flameo en húmedo (kV)
1	11,30	15,65

2	10,50	14,54
3	10,30	14,27
Promedio	10,70	14, 82

Tabla 4.6: Valores obtenidos del ensayo de tensión de flameo en húmedo de los aisladores, montaje horizontal

Aislador	Valor promedio Tensión de flameo en húmedo (kV)	Valor corregido Tensión de flameo en húmedo (kV)
1	13,90	19,25
2	13,20	18,28
3	12,90	17,86
Promedio	13,33	18,46

Los valores nominales de la tensión de flameo en húmedo montaje vertical y horizontal según la norma ANSI C 29.3 son 12 y 15 kV respectivamente.

También, la norma establece que el valor promedio corregido de los tres aisladores debe ser igual o superior al 90% del valor nominal por lo que si se cumple con estos parámetros de la norma.

Los resultados de las pruebas eléctricas realizadas así como las correcciones y ejemplos de cálculo se pueden observar en el Anexo 17.

4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- Después de realizar el torneado y cocción de los aisladores, fue necesario realizar modificaciones a la geometría y dimensiones de la cuchilla de formado, debido a la contracción de la pasta cerámica al momento del quemado. Estos cambios, ya están contemplados en el plano de la misma.
- Los aisladores eléctricos ensayados presentan buen acabado superficial y están completamente libres de defectos.

- Las dimensiones de los aisladores fabricados en promedio están acorde a los requerimientos especificados en la norma.
- Los valores de las propiedades eléctricas y mecánicas de los aisladores cerámicos fabricados están dentro de los rangos establecidos en la norma.

CAPÍTULO 5

6. CONSTRUCCIÓN DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN EN MAMPOSTERÍA DE UNA, DOS Y CUATRO VÍAS, PARA EL AISLADOR ELÉCTRICO TIPO ANSI 53-2.

5.5. ESTUDIO FUNCIONAL DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN.

5.5.1. ABRAZADERAS.

Las abrazaderas se utilizan en el montaje de conjuntos que conecten: aisladores, cables, correas y otros herrajes, por medio de éstas se garantizan la sujeción fija y estable de los bastidores al poste.

Las características físicas y mecánicas que deben cumplir las abrazaderas usadas para la sujeción de los racks son las siguientes:

- El acero utilizado para la fabricación de las abrazaderas deberá tener una resistencia mínima a la tracción de 3400 kg/cm², un límite mínimo de fluencia de 2 400 kg/cm², y una elongación igual al 30%.
- Las abrazaderas están conformadas por dos platinas metálicas semicirculares de un diámetro de 140-160 mm.
- Las platinas semicirculares son separadas del diámetro de fabricación del collarín, la separación entre las caras de sujeción debe ser de una distancia no menor a 20 mm.
- El dobléz medio de la abrazadera formará parte del mismo cuerpo (el dobléz no puede estar soldado a la abrazadera) y tendrá las siguientes dimensiones:
 - Distancia frontal interna= 40 mm
 - Distancia lateral interna= 15 mm
- Para poder asegurar la abrazadera se debe usar los siguientes elementos normalizados: 2 pernos de rosca corrida, 4 arandelas redondas, 4 de presión y 4 tuercas hexagonales.

Dependiendo del número de vías de los bastidores a usar, se pueden utilizar algunas combinaciones de abrazaderas, como por ejemplo:

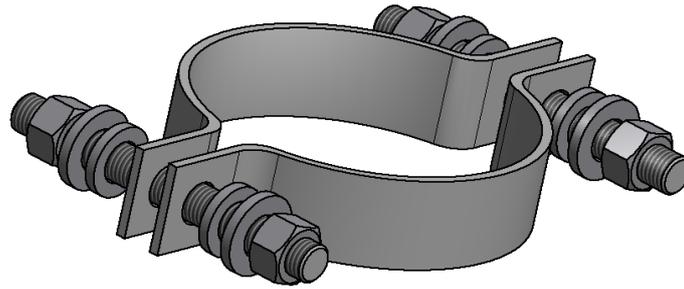


Figura 5.1: Abrazadera sin salida con dos pernos.



Figura 5.2: Abrazadera simple de una salida con dos pernos.

5.5.2. BASTIDORES DE SUJECCIÓN O RACKS.

Los bastidores para redes de Baja Tensión, deben estar formados por platinas metálicas de alta calidad. Su diseño es sencillo para poder cambiar fácilmente cualquier aislador en caso de rotura.

El ensamble entre el porta elemento y el cuerpo del bastidor, puede hacerse con remache de aluminio de $\frac{1}{2}$ pulgada o soldados, dejando un espacio mínimo entre los dos elementos de 2 milímetros, para que penetre el zinc en el momento de realizar el galvanizado.

Los bastidores se fabrican de uno hasta cinco vías, según sean los requerimientos de las líneas de distribución de las Empresas Eléctricas.

El acero usado para la fabricación de las abrazaderas y bastidores, tiene que ser de baja aleación y laminado en caliente. Los aceros comúnmente usados para la fabricación de los bastidores o racks son el ASTM A36, SAE 1010, SAE1020

Según los requerimientos del mercado nacional, el acero a usar para la fabricación de los herrajes tiene que ser el acero estructural ASTM A36.

En la tabla 5.1 se especifica la composición química del acero A36 usado en la fabricación de herrajes.

Tabla 5.1: Composición química del acero ASTM A36 usado en la fabricación de herrajes

Elemento	Porcentaje
% Carbono	0.25 a 0.29
% Fosforo Máximo	0.04
% Azufre Máximo	0.05
% Silicio Máximo	0,4
% Manganeso	0.8 a 1.20
% Cobre Máximo	0,20

Las características básicas del acero usado en la fabricación de las abrazaderas y bastidores secundarios, se especifican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Características básicas del acero ASTM A36

Descripción	Especificación
Norma de fabricación	INEN 2215, 2222, 2224 - ASTM A 36
Resistencia mínima a la fluencia (Fy)	2 400 Kg/cm ²
Resistencia mínima de tracción	3 400 Kg/cm ²
Resistencia máxima de tracción	4 800 Kg/cm ²

5.6. CÁLCULO DE LAS CARGAS EN LOS AISLADORES Y BASTIDORES DE SUJECCIÓN.

Los aisladores y herrajes, están sometidos tanto a cargas mecánicas como eléctricas, las cuales pueden influenciar en menor o gran escala, en su correcto desempeño, en las líneas de distribución de energía eléctrica.

Es por esto que se debe tener en cuenta cuales son los esfuerzos a los que serán sometidos durante su uso.

Las cargas eléctricas están determinadas por el paso de corriente eléctrica a través de los cables de energía y afectan directamente al aislador, pudiéndose provocar la rotura de éstos, debido a una sobrecarga eléctrica. El valor mínimo de la tensión de contorno que deben soportar los aisladores, eléctricos de cerámica tipo 53-2, se establece en la norma ANSI C29-3 y es de 25 kV.

Las cargas mecánicas son ejercidas debido al peso de los cables de tendido eléctrico y son soportados tanto por los aisladores, como por los bastidores de sujeción. El valor mínimo que deben soportar los aisladores eléctricos tipo 53-2 se establece en la norma ANSI C29-3 y es de 13,3 kN.

5.6.1. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS PARA LOS BASTIDORES.

Las cadenas de aisladores y sistemas de sujeción (bastidores), deben soportar los esfuerzos mecánicos que los conductores ejercen sobre ellos.

Se distinguen dos tipos de configuraciones para los sistemas de transmisión de baja tensión (120-220V).

Cadena horizontal de amarre.

- Debe soportar la tensión mecánica del cable.

Cadena vertical de suspensión:

- Debe soportar el esfuerzo de viento o hielo, o viento más hielo, considerando la condición más desfavorable
- Debe soportar el esfuerzo de rotura de conductores

El aislador eléctrico tipo carrete ANSI 53-2, se utiliza en líneas de baja tensión con configuración de cadena vertical de suspensión, por lo tanto, para el cálculo de las cargas se consideran las cargas externas que ejercen los cables. Además, es necesario especificar las condiciones a las que estará expuesto el sistema, considerando siempre las más extremas.

Las cargas mecánicas que soportan los bastidores y abrazaderas corresponden al peso de los conductores que se utilizan en baja tensión, por lo tanto, las cargas que se debe tomar en cuenta son las siguientes:

- Tensión máxima del conductor en el tendido
- Presión de viento sobre el conductor
- Sobrecarga del hielo

Es necesario especificar las condiciones para las cuales estas cargas son admisibles en el diseño, y son:

- Los cambios en la longitud del conductor debido a la temperatura no se tomarán en cuenta, ya que se toma una temperatura promedio máxima que se asume como constante.
- En los tendidos eléctricos de baja tensión, se usan vanos de hasta 80 m de longitud de poste a poste.
- En nuestro país las zonas geográficas y sus condiciones extremas no están debidamente especificadas; haciendo que éstas sean únicas para cada proyecto, por lo que para el presente estudio se utilizaran valores promedio dados por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).
- Los valores de carga son válidos para vanos nivelados, es decir, que los dos apoyos estén a la misma altura. Sin embargo, se consigue suficiente aproximación hasta con un 14% de desnivel, lo que abarca la mayor parte de los casos prácticos.

Para los sistemas de distribución en baja tensión; los conductores más utilizados son los siguientes:

- Cables de aleación de aluminio ACC-6201
- Cables de aluminio reforzados con acero ACSR

De la denominación AWG 4(4), 2(2), 1/0(1/0) y 2/0(2/0). Estos conductores presentan las siguientes propiedades.

Tabla 5.3: Especificaciones de conductores utilizados para sistemas de baja tensión ¹⁵

Cable ACC-6201			
AWG o MCM	Diámetro (mm)	Peso TOTAL (kg/km)	Tensión de Rotura (kg)
4(4)	7,41	92,8	685,00
2(2)	9,36	58,4	1090,00
1/0(1/0)	10,5	173	1733,00
2/0(2/0)	11,79	186	2094,00
Cable ACSR			
4(4)	6,36	135,65	830,00
2(2)	8,01	85,31	1265,00
1/0(1/0)	10,11	215,9	1940,00
2/0(2/0)	11,34	272,1	2425,00

5.6.1.1. Tensión máxima del conductor.

Para el cálculo de la tensión máxima que se debe aplicar al conductor, primero se escoge el esfuerzo de rotura electromecánico especificado para dicho conductor, con un factor de seguridad de 3, puesto que nunca trabajará en condiciones próximas a la rotura, además, es necesario especificar si hay control de recepción por parte de la empresa.

La tensión mecánica máxima del conductor se calcula con la siguiente fórmula:

¹⁵ <http://www.electrocable.com/productos/aluminios/ASCR.html>

$$T_{max} = \frac{\sigma_{rot}}{F.S} \quad E.5.1$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Tensi3n máxima que se aplicara al conductor (kN)

σ_{rot} : Tensi3n de Rotura (kN)

F.S: Factor de seguridad especificado

Ejemplo de cálculo:

El cable ACC-6201 del calibre y configuraci3n AWG 4(4), tiene una tensi3n de rotura de 6,71kN y el coeficiente de seguridad sera como mínimo de 3,0.

$$T_{max} = \frac{6,71kN}{3,0} = 2,24 kN$$

En la tabla 5.4 se muestran los valores de tensi3n máxima de rotura para los conductores en el tendido.

Tabla 5.4: Tensi3n máxima de rotura para conductores utilizados para baja tensi3n

Cable ACC-6201	
AWG o MCM	Tensi3n máxima (kN)
4(4)	2,24
2(2)	3,56
1/0(1/0)	5,66
2/0(2/0)	6,84
Cable ACSR	
4(4)	2,71
2(2)	4,13
1/0(1/0)	6,34
2/0(2/0)	7,92

5.6.1.2. Presi3n del viento.

Las presiones del viento sobre los conductores y la estructura se evaluaron de acuerdo a las especificaciones de la EEQ para líneas de transmisión de baja tensión.

Para el cálculo de este parámetro se consideró lo siguiente:

- Puesto que en nuestro país existe una gran diversidad de condiciones climáticas y topográficas, se utilizarán datos de diseño representativos para zonas urbanas con velocidad regional de viento máxima de 20 km/h.
- La presión del viento en cables, se calculó para postes de una altura de 10,2 metros, considerando los efectos dinámicos del viento.
- La acción del viento sobre los conductores se supone horizontal y perpendicular al conductor. La presión del viento sobre los conductores está en función del vano y no de la velocidad del viento.

Para el cálculo de la carga del viento se utiliza la siguiente expresión:

$$P_V = \alpha * k * \frac{V^2}{16} * Q * \text{sen}\beta * \left(0,6 + \frac{80}{a_m}\right) \quad E.5.2$$

Donde:

P_V : Carga del viento (kg/m)

α : Coeficiente que considera la desigualdad de velocidad del viento, a lo largo del vano.

$$\alpha = 0,85 \text{ si } V < 30 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 0,75 \text{ si } V > 30 \text{ m/s}$$

k : Coeficiente aerodinámico que depende de la forma de la superficie expuesta a la acción del viento

$$k = 1,1 \text{ para conductores cilíndricos}$$

$$k = 0,7 \text{ para elementos cilíndricos de estructuras}$$

$$k = 1,4 \text{ para elementos planos de estructuras}$$

V : Velocidad del viento (m/s)

Q: Proyección de la superficie expuesta al viento por metro de conductor, según plano perpendicular a su dirección y que para el caso de conductores cilíndricos es la superficie del plano diametral vertical (m^2/m)

β : ángulo determinado por la dirección del viento y el eje del conductor

$\left(0,6 + \frac{80}{a_m}\right)$: Factor de vano (se toma igual a 1 para $a_m < 200m$)

a_m : Vano medio en metros (vano del viento)

Ejemplo de cálculo:

El cable ACC-6201 del calibre y configuración AWG 4(4) tiene 0,0741m de diámetro, el valor del vano para todos los casos será el máximo e igual a 80m, la velocidad del viento es de 20 km/h (5,56 m/s) y la acción del viento con respecto al conductor se supone perpendicular.

$$P_v = 0,85 * 1,1 * \frac{5,56^2}{16} * 0,0741 * 80 * \text{sen}(90^\circ) * 1$$

$$P_v = 10,692 \text{ kg} = 0,105 \text{ kN}$$

Tabla 5.5: Presión del viento para conductores de baja tensión

Cable ACC-6201	
AWG o MCM	P_v viento (kN)
4(4)	0,105
2(2)	0,132
1/0(1/0)	0,148
2/0(2/0)	0,167
Cable ACSR	
4(4)	0,090
2(2)	0,113
1/0(1/0)	0,143
2/0(2/0)	0,160

5.6.1.3. Sobrecarga de hielo.

El hielo que se forma alrededor del conductor, aumenta considerablemente el peso del mismo, por lo que se eleva la carga mecánica sobre el sistema, así como fragiliza la estructura del acero, pudiendo hasta llegar a la rotura del mismo. Por estos motivos en zonas con temperaturas inferiores a 0°C, suele depositarse sobre el conductor un manguito de hielo de espesor variable y prácticamente constante a lo largo del vano. Además, la sobrecarga del hielo produce un incremento en la superficie de incidencia del viento.

El peso de la carga que ejerce el hielo se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$P_h = 0,18 * \sqrt{d} \quad E.5.3$$

Donde:

P_h : sobrecarga del hielo (kg/m)

d : diámetro del conductor (mm)

Ejemplo de cálculo:

El cable ACC-6201 del calibre y configuración AWG 4(4) tiene 7,41mm de diámetro y la longitud máxima del vano es de 80 m

$$P_h = 0,18 * \sqrt{7.41} = 0,49 \frac{kg}{m}$$

$$P_h = 0,490 * 80 = 39,20 \text{ kg}$$

$$P_h = 0,384 \text{ kN}$$

En la tabla 5.6 se pueden apreciar los resultados obtenidos de sobrecarga de hielo para los diferentes tipos de cables.

Tabla 5.6: Sobrecarga del hielo para conductores de baja tensión

Cable ACC-6201	
AWG o MCM	P _h (kN)
4(4)	0,384
2(2)	0,432
1/0(1/0)	0,457
2/0(2/0)	0,485
Cable ACSR	
4(4)	0,356
2(2)	0,399
1/0(1/0)	0,449
2/0(2/0)	0,475

Para el caso de nuestro país, la mayoría de sistemas de baja tensión con aisladores tipo rollo ANSI 53-2, están ubicados en zonas urbanas donde la temperatura es superior a los 0°C, por lo que en el presente estudio no se considera la sobrecarga del hielo en los conductores para el cálculo de las cargas.

5.6.1.4. Análisis de cargas en los bastidores.

Los bastidores en conjunto deben ser fabricados en acero ASTM A-36, el cual posee las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 5.7: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Descripción	Especificación	
Norma de fabricación	INEN 2215, 2222, 2224 - ASTM A 36	
Resistencia mínima a la fluencia (F _y)	2 400 Kg/cm ²	23,52 kN/cm ²
Resistencia mínima de tracción	3 400 Kg/cm ²	33,32 KN/cm ²

Resistencia máxima de tracción	4 800 Kg/cm ²	47,04 kN/cm ²
--------------------------------	--------------------------	--------------------------

De acuerdo al análisis estructural del bastidor en conjunto, el elemento limitante del diseño es la barra de sujeción que soportará los aisladores ANSI 53-2, es por esto que el estudio de las cargas se realizará en este elemento.

Tabla 5.8: Características básicas de la varilla de sujeción

Descripción	Especificación
Longitud	136 mm
Diámetro	15 mm (5/8 Pulgada)
Tolerancia en el diámetro	± 0,4 mm
Diámetro del agujero para el pasador tipo horquilla	5 mm (3/16 Pulgadas)

Las cargas de tensión máxima, presión del viento y sobrecarga del hielo, provocan al bastidor una deformación angular, ya que la dirección de aplicación de las cargas es paralela a la sección transversal del bastidor. Para el estudio del esfuerzo cortante que producen los conductores en el bastidor, es necesario analizar la resistencia a la fluencia del material de que está fabricado y el factor de seguridad.

Para el análisis de los esfuerzos presentes en la varilla de sujeción se considerará lo siguiente:

- Se considera a la varilla como una barra rígida.
- Se desprecia los efectos en la varilla debido a la temperatura

5.7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS BASTIDORES DE SUJECIÓN, SEGÚN LA NORMA.

Las características físicas y dimensionales de las abrazaderas y bastidores, se definen a partir de la información recolectada en las Empresas Eléctricas del País como son: Quito, Guayaquil, Cuenca y Riobamba, y en base a la información obtenida en el portal del Instituto Nacional de Compras Publicas INCOP.

5.7.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS ABRAZADERAS.

En la tabla 5.9 se observan las características que deben cumplir las abrazaderas según los requerimientos del mercado nacional.

Tabla 5.9: Abrazadera de acero galvanizado simple (2 pernos), 140-160 mm.

Descripción	Especificación
Material	Acero estructural de baja aleación laminada en caliente
Norma de fabricación	INEN 2215, 2222, 2224, ASTM A 36
Propiedades mecánicas:	
Resistencia mínima a la fluencia (Fy)	2 400 Kg/cm ²
Resistencia mínima de tracción	3 400 Kg/cm ²
Resistencia máxima de tracción	4 800 Kg/cm ²
Características dimensionales:	
Dimensiones platina(ancho x espesor)	38 x 4 mm
Tolerancia en las dimensiones ancho x espesor	Ancho: ±1 mm. Espesor:±0,5 mm
Diámetro mínimo de abrazadera con abertura de pernos de 20 mm	140 mm
Diámetro máximo de abrazadera	160 mm
Perno rosca corrida	1/2 x 6 Pulgadas (12,7 x 152,4 mm)
Tuerca hexagonal	1/2 Pulgadas
Arandela plana	9/16 Pulgadas (14,6 mm)
Arandela de presión	1/2 Pulgadas
Galvanizado	En caliente
Normas de Galvanizado	ASTM A123 - ASTM A153
Espesor del galvanizado	80 micras
Elementos Normalizados	
Perno rosca corrida	2
Tuerca hexagonal	4
Arandela plana	4
Arandela de presión	4

5.7.1.1. Elementos Normalizados.

5.7.1.1.1. Perno máquina.

El perno máquina es usado en las abrazaderas simples o dobles de tres pernos, sirven para aplicaciones especiales, principalmente la sujeción de un herraje denominado pie de amigo, por lo que para la sujeción de los racks, no se los utiliza salvo en casos especiales.

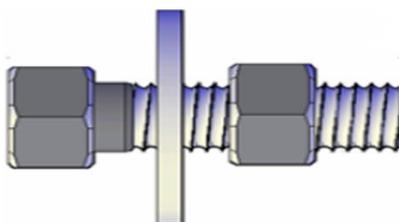


Figura 5.3: Perno máquina 1/2 x 2 Pulgadas

Las características técnicas que deben cumplir los pernos máquina de cabeza hexagonal, se detallan en la tabla 5.10.

Tabla 5.10: Especificaciones técnicas del perno máquina de 1/2 x 2 pulgadas

Descripción	Especificación
Material	Acero estructural de baja aleación laminada en caliente ASTM A36.
Norma de Fabricación	INEN 2222
Propiedades mecánicas:	
Resistencia mínima a la fluencia (Fy)	2400 Kg/cm ²
Resistencia mínima de tracción	3400 Kg/cm ²
Resistencia máxima de tracción	4800 Kg/cm ²
Características dimensionales:	
Perno máquina cabeza hexagonal	
Diámetro del perno	1/2 Pulgada
Longitud total (LT)	2 Pulgadas
Paso de rosca gruesa	13 hilos x pulg.
Acabado	
Normas de galvanizado	ASTM A123, ASTM A153
Tipo de galvanizado	Inmersión en caliente
Elementos Normalizados	
Tuerca hexagonal	1
Arandela plana	1
Arandela de presión	1

5.7.1.1.2. Perno de rosca corrida tipo espárrago.

Los pernos de rosca corrida son confeccionados con barras redondas de acero laminadas en caliente, de 1/2" (12,7 mm) de diámetro, ovalidad máxima de 0,60 mm, límite mínimo de fluencia (f_y) de 2400 kg/cm², resistencia mínima a la tracción de 3400 kg/cm², y resistencia máxima a la tracción de 4800 kg/cm².



Figura 5.4: Perno de rosca corrida de 12,7 x 152,4 mm (1/2 x 6 pulgadas)

Las características técnicas que debe cumplir el perno de rosca corrida se detalla en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Especificaciones técnicas del perno de rosca corrida de 12,7 x 152,4 mm (1/2 x 6 pulgadas)

Descripción	Especificación
Material	Acero estructural de baja aleación laminada en caliente
Norma de Fabricación	INEN 2222
Propiedades Mecánicas	
Resistencia mínima a la fluencia (F_y)	2400 Kg/cm ²
Resistencia mínima de tracción	3400 Kg/cm ²
Resistencia máxima de tracción	4800 Kg/cm ²
Características dimensionales:	
Perno máquina cabeza hexagonal	
Diámetro del perno	1/2 Pulgada
Longitud total	6 Pulgadas
Paso de rosca gruesa	13 hilos x pulg.
Acabado	
Normas de galvanizado	ASTM A123, ASTM A-153
Tipo de galvanizado	Inmersión en caliente
Elementos Normalizados	
Tuerca hexagonal 12 mm	2
Arandela plana 16 mm	2
Arandela de presión 12 mm	2

Los pernos de rosca corrida, se pueden obtener a partir de varillas roscadas de un metro de longitud galvanizadas en caliente, las cuales se comercializan en el mercado nacional, ya que de esta manera se podrán abaratar los costos de comprar los varillas roscadas de 6 pulgadas.

Los procesos de los cortes de los extremos de los pernos espárrago, se realizarán mediante máquinas de corte para generar superficies lisas, después de lo cual se realizará el proceso de galvanizado.

5.7.1.1.3. Arandelas redondas

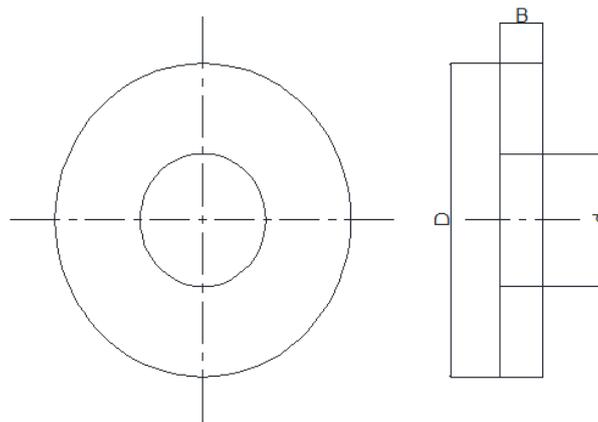


Figura 5.5: Arandela redonda

Se utilizan con el fin de minimizar el enclavamiento de la tuerca o de la cabeza del tornillo en superficies blandas, durante la aplicación del torque, además de distribuir cargas sobre grandes áreas de los materiales de baja resistencia.

El galvanizado será en caliente, la determinación de la masa de la capa de cinc, y además de su adherencia cumplirán con lo citado en la norma ASTM A 153.

Se conformarán en frío por el proceso de troquelado. La dureza del material debe estar entre 36 y 45 HRC y la superficie de la arandela debe ser plana y libre de asperezas y bordes cortantes.

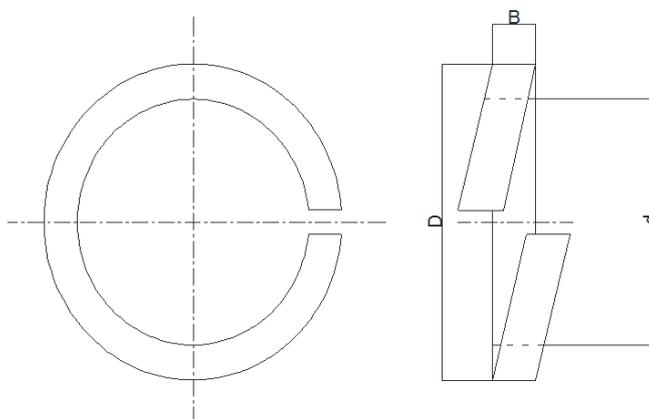
Las dimensiones de las arandelas de acuerdo con el diámetro del perno se observan en la tabla 5.12.

Tabla 5.12: Dimensiones de arandelas redondas.¹⁶

Tip o	Ø Perno		Diámetro Interno arandela "d"				Diámetro Externo arandela "D"				Espesor arandela "B"			
	m m	Pulg .	mm	Pulg. .	Tol. +	Tol. -	mm	Pulg .	Mín .	Máx .	m m	Pulg. .	Mín .	Máx .
1	9.5	3/8	11	7/16	0.38	0.1 3	25. 4	1	0	0.4	2	13/1 6	2.4	1.2
2	13	1/2	14. 3	9/16	0.38	0.1 3	35	1- 3/8	0	0.4	2.8	7/64	3.6	2.2
3	16	5/8	17. 5	9/16	0.76	0.1 8	44	1-3/4	0	0.4	3.2	1/8	3.8	2.7
4	19	3/4	20. 6	13/1 6	0.76	0.1 8	51	2	0	0.4	4	3/32	4.6	3.5

5.7.1.1.4. Arandela de presión.

Evita el aflojamiento o la pérdida de tensión entre las partes ensambladas y consiste en una arandela de forma helicoidal, cuya sección es ligeramente trapezoidal, diseñada para ajustarse alrededor de un perno. Su diseño de resorte evita el aflojamiento de los elementos de fijación.



¹⁶ Herrajes Andina Ltda. Barranquilla-Colombia.

<http://www.herrajesandina.com/home.html>

Figura 5.6: Arandela de presión

La arandela se debe formar en frío, luego de formada debe ser sometida a tratamiento de temple y revenido.

Las arandelas se deben tratar adecuadamente después del recubrimiento, con el propósito de evitar el debilitamiento por hidrógeno.

Se debe preparar la superficie plana y paralela, con el propósito de remover la superficie de carburación o de recubrimiento.

- *Prueba de deformación.*

La arandela se coloca entre las mandíbulas de un tornillo de banco o entenalla y se aprieta hasta comprimirlo totalmente. La altura libre de la arandela, luego de retirarla de las mordazas, debe ser por lo menos 2/3 de la altura libre original.

- *Pruebas de torsión.*

Se sujeta un lado de la arandela entre las mandíbulas de un tornillo de banco y se sujeta el otro lado con una llave. Luego se mueve la llave en la dirección en la cual se aumenta la altura libre hasta alcanzar 90°. La arandela no deberá partirse antes de doblarla 90°. La sección de la arandela debe ser de forma ligeramente trapezoidal. La arandela debe estar exenta de picaduras, estrías, marcas de troquel, hendiduras profundas. Además debe estar libre de hendiduras, huecos y cualquier otro defecto que pueda perjudicar su uso.

En la tabla 5.13 se detallan las dimensiones generales de la arandela de presión.

Tabla 5.13: Dimensiones para la arandela de presión.¹⁷

Tipo	Ø Perno		Diámetro interior "d" mm		Diámetro externo "D" mm		Espesor "B" mm	
	mm	Pulg.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
2	13	1/2	13.2	12.6	22.2	21.6	3.8	3.2
3	16	5/8	16.5	16.1	27.4	26.6	4.8	4

¹⁷ Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P.

4	19	3/4	19.7	19.3	32.3	31.3	5.7	4.85
---	----	-----	------	------	------	------	-----	------

5.7.1.2. Requisitos constructivos de las abrazaderas.

- Los cortes a efectuarse deben realizarse con cizalla o sierra, serán rectos a simple vista y estarán a escuadra o formando el ángulo adecuado.
- Las aristas de las piezas cortadas deberán estar libres de rebabas y defectos.
- Todas las perforaciones deben ser centradas y se pueden realizar por taladrado o troquelado, y deben estar libres de rebabas.
- Los centros estarán localizados de acuerdo a las medidas de diseño y deberán mantenerse las distancias señaladas a los bordes de los perfiles.
- El doblado de los elementos se efectuará en caliente o en frío, ajustándose a la forma del diseño y quedarán libres de defectos como agrietamiento e irregularidades.

5.7.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS BASTIDORES O RACKS.

5.7.2.1. Bastidor Galvanizado de 1 vía

- El bastidor de una vía debe construirse en una platina de acero estructural de baja aleación laminada en caliente.
- Este bastidor tendrá un pasador para el soporte del aislador tipo rollo, el mismo que estará provisto de su correspondiente pasador de seguridad de 1,5 mm de diámetro y 40 mm de largo.

Tabla 5.14: Características generales del Bastidor (rack) de 1 vía.

Descripción	Especificación
Porta aislador:	
Dimensiones platina ancho x espesor	38 x 4 mm
Tolerancia en las dimensiones ancho x espesor	Ancho: ± 1 mm Espesor: $\pm 0,5$ mm
Dimensiones del porta elemento	120 x 100 x 120 mm
Diámetro de la perforación	19 mm
Base:	
Longitud	120 mm
Dimensiones platina ancho x espesor	100 x 3 mm (4 x 1/8")
Tolerancia en las dimensiones ancho x espesor	Ancho: ± 1 mm Espesor: $\pm 0,5$ mm
Ancho de la base terminada	70 mm
Varilla para sujeción del aislador tipo rollo:	
Longitud	136 mm
Diámetro	15 mm (5/8 Pulgada)
Tolerancia en el diámetro	$\pm 0,4$ mm
Diámetro del agujero para el pasador tipo horquilla	5 mm (3/16 Pulgadas)
Elemento de seguridad para el perno:	Pasador de seguridad tipo horquilla.

El bastidor de una vía se lo usa tanto con abrazadera con salida, como con sin salida, dependiendo de si se usa o no la base. A menudo se solicita que el porta aislador esté soldado a la abrazadera.

Para el bastidor de una vía el uso de una base con abrazadera es poco frecuente.

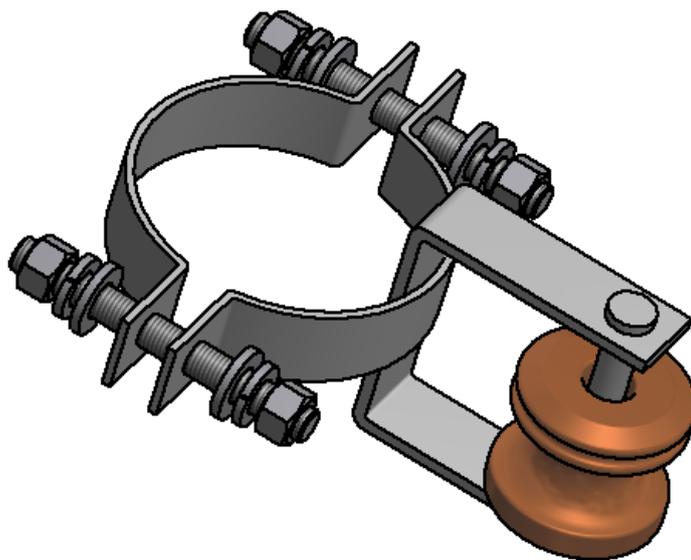


Figura 5.7: Bastidor o rack de una vía sin base, con abrazadera sin salida.

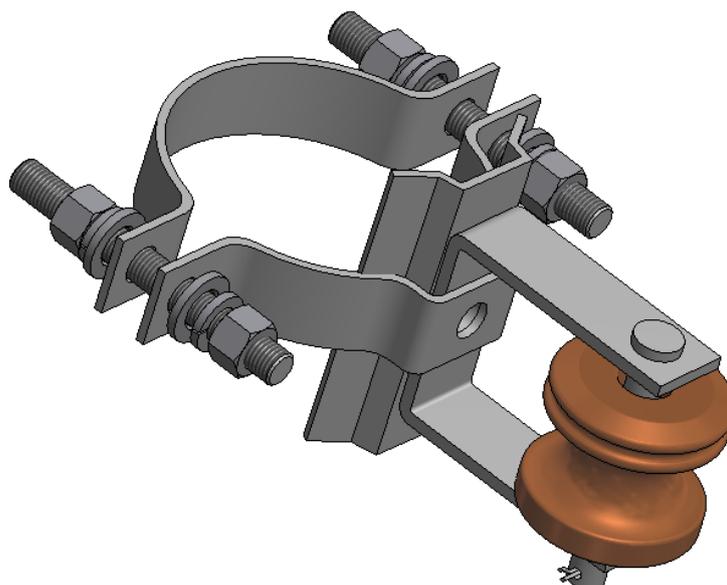


Figura 5.8: Bastidor o rack de una vía con base, y abrazadera de una salida.

5.7.2.2. Bastidor galvanizado de 2 a 5 vías.

Geoméricamente, los bastidores o racks de dos a cinco vías son similares a los de una vía, presentándose algunas variaciones en las dimensiones de sus componentes y en su geometría de detalle.

- Los bastidores estarán contruidos en platina de acero estructural de baja aleación laminada en caliente.
- Este bastidor tendrá un perno para el soporte del aislador tipo rollo, el mismo que estará provisto de su correspondiente pasador de seguridad de 1,5 mm de diámetro y 40 mm de largo.
- Los agujeros para instalar los pernos de sujeción tendrán un diámetro de 18 mm.

Las diferencias particulares entre los bastidores de una a cinco vías se resumen en la tabla 5.15.

Tabla 5.15: Especificaciones particulares de los bastidores (Rack).

Descripción técnica	Longitud de la base	Longitud de la Varilla
Bastidor (Rack) de acero galvanizado 1 vía	104 mm	136 mm
Bastidor (Rack) de acero galvanizado 2 vías	304 mm	336 mm
Bastidor (Rack) de acero galvanizado 3 vías	504 mm	536 mm
Bastidor (Rack) de acero galvanizado 4 vías	704 mm	736 mm

Bastidor (Rack) de acero galvanizado 5 vías	904 mm	936 mm
--	--------	--------

5.7.2.3. Perno para rack.

El perno para rack se utiliza para sujetar al aislador tipo carrete y mantenerlo en su posición correspondiente, el diámetro debe ser de 15mm, y cumple las siguientes finalidades:

- Debe ser completamente galvanizado en caliente según la norma ASTM A-153 y estar libre de imperfecciones.
- El acero usado para su fabricación puede ser el Acero SAE 1010 o el acero ASTM A 36.
- Se puede fabricar mediante el proceso de fundición, forjado o soldado, siempre que se cumpla con las dimensiones y geometría especificadas.

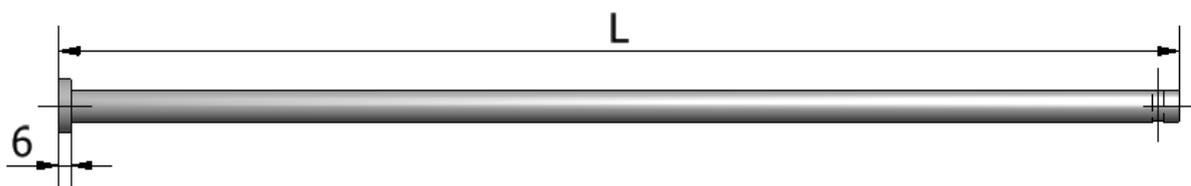


Figura 5.9: Perno para Rack.

Las dimensiones generales de un perno para rack se especifican en la tabla 5.16.

Tabla 5.16: Dimensiones del perno para rack.

Bastidor	L	Desarrollo
1 vía	130±3	136 mm
2 vías	330±3	336 mm
3 vías	530±4	536 mm
4 vías	730±4	736 mm

5 vías	930±4	936 mm
--------	-------	--------

5.7.2.4. Pasador de seguridad tipo horquilla.

Se utiliza para asegurar que el perno para aislador no se mueva verticalmente de su posición correspondiente.

Los pasadores deben ser de tipo auto retención (horquilla) y se pueden fabricar de latón, bronce o un acero resistente a la corrosión, como acero inoxidable o acero galvanizado, el pin debe ser elástico de tal forma que permita su fácil colocación y remoción, sin perder sus características elásticas, y en todas sus dimensiones será igual a $\pm 5\%$.

El pasador debe cumplir con la norma IRAM 2249-1 (Dispositivos de fijación para acoplamiento a rótula y alojamiento de rótula de elementos de cadenas de aisladores de suspensión. Medidas y requisitos generales.)¹⁸

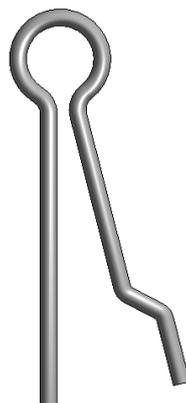


Figura 5.10: Pasador elástico de seguridad AISI 304

¹⁸ Electro Córdova S.A

<http://www.electrocordobasa.com.ar/prod-herrajes.htm>.

Los fabricantes y distribuidores de herrajes del país, usan una varilla de latón o acero inoxidable doblada en lugar del pin tipo horquilla para inmovilizar al perno del bastidor, lo que disminuye el costo de este elemento en el conjunto total.

5.7.2.5. Requisitos constructivos de los bastidores o racks.

- Los cortes a efectuarse se deben realizar con cizalla o sierra, ser rectos a simple vista y estar a escuadra o formando el ángulo adecuado.
- Las aristas de las piezas cortadas deben estar libres de rebabas y defectos. Los perfiles deben ser de una sola pieza, libres de soldaduras, libres de deformaciones, fisura, aristas cortantes y defectos de laminación.
- Para las uniones se empleará soldadura MIG.
- En las superficies de las piezas a soldarse, se debe asegurar la penetración de la suelda con electrodo para evitar porosidad o vacíos.
- Una vez terminado el proceso de soldadura, deberán removerse las escorias y los residuos provenientes del recubrimiento del electrodo, por medio de un proceso mecánico adecuado, o aplicando chorro de arena, a fin de evitar fallas en el galvanizado.
- Las perforaciones se efectuarán únicamente por el proceso de troquelado o taladrado y serán libres de rebabas; los centros estarán localizados de acuerdo a las medidas de diseño y deberán mantenerse las distancias señaladas a los bordes de los perfiles.
- El doblado de los elementos se efectuará en caliente o en frío, como se requiera, ajustándose a la forma del diseño y quedarán libres de defectos como agrietamiento e irregularidades.

- No se permiten dobleces ni rebabas en las zonas de corte, perforaciones o punzadas.

5.7.3. REQUISITOS DEL RECUBRIMIENTO DE CINC PARA LOS BASTIDORES Y ABRAZADERAS.

- El galvanizado de todas las piezas será por inmersión en caliente, de acuerdo a las Normas ASTM A-123 y ASTM A-153, luego de practicarse los cortes, perforaciones, dobleces y soldaduras.
- El acabado de toda la pieza deberá mostrar una superficie lisa, libre de rugosidades, aristas cortantes, de burbujas, áreas sin revestimiento, depósitos de escoria, manchas negras y cualquier otro tipo de inclusiones o imperfecciones.
- Los tornillos y tuercas deben estar libres de rebabas, venas, traslapos y superficies irregulares que afecten su funcionalidad; todo perno debe estar en condiciones que la tuerca pueda recorrer el total de la longitud de la rosca sin uso de herramientas y a su vez garantizar que no se corran al aplicar el torque de diseño.
- El espesor del galvanizado mínimo promedio en las piezas debe ser de 80 micras.

La norma ASTM A153 establece que el zinc usado para el recubrimiento esté de acuerdo a la especificación ASTM B6 y será menor o igual al grado designado como "Prime Westerm". La composición química del cinc usado para el proceso de galvanización debe cumplir con los siguientes parámetros máximos:

Tabla 5.17: Composición Química del cinc según la norma ASTM B6 (%) ¹⁹

Grado (UNS)	Composición %								
	Color code	Plomo	Hierro máx.	Cadmio máx.	Aluminio máx.	Cobre máx.	Tin máx.	No zinc máx.	Zinc min
Special High grade (Z13001)	Amarillo	0,003 máx.	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,01	99,99
High Grade (Z15001)	Verde	0,03 más	0,02	0,02	0,01	0,1	99,9
Prime Western (Z19001)	Negro	0,5-1,4	0,05	0,2	0,01	0,2	...	2,0	98

El proceso de galvanizado así como las condiciones de la capa de cinc, se pueden apreciar con detalle en el Anexo 18.

5.8. FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SOPORTE METÁLICO DEL AISLADOR 53-2.

Para iniciar con el proceso de fabricación de los elementos de los bastidores y de las abrazaderas, es necesario contar con las máquinas y herramientas necesarias para lograr tal objetivo, así como la materia prima adecuada en base a las especificaciones detalladas anteriormente.

El proceso de fabricación para estos accesorios, se establecerá por medio de métodos comunes de construcción y en base a los equipos existentes en un taller Metalúrgico, como se detallan a continuación.

5.8.1. MATERIA PRIMA.

El material base para la producción de los bastidores son platinas metálicas de acero ASTM A36, las cuales son de las dimensiones indicadas para la fabricación de los bastidores y abrazaderas, siendo necesario la utilización de una cizalla pequeña manual o automática, para cortar las platinas en los tamaños necesarios para cada tipo de herraje.

¹⁹ Norma ASTM B6; Standard Specification for Zinc; Pág.2

Cabe recalcar que la materia prima se la puede encontrar con facilidad en el mercado local y las propiedades de cada material es proporcionado por la casa comercial que las distribuye y se pueden observar con detalle en el Anexo 19.

En resumen las materias primas a usar para la fabricación de los bastidores y abrazaderas son las siguientes:

- Eje de acero ASTM A 36 (\varnothing 16 mm)
- Platinas de acero ASTM A 36
- Electrodo para soldadura MIG
- Varilla de acero inoxidable de media caña de 2 x 4 mm

5.8.1.1. Elementos normalizados.

Estos elementos se pueden adquirir fácilmente en el mercado nacional y sirven para asegurar las abrazaderas al poste. Estos elementos se detallan a continuación:

- Tuerca hexagonal 5/8 in.
- Arandela plana 5/8 in.
- Arandela de presión 5/8 in.
- Perno máquina 5/8x2 in.
- Perno de espárrago 5/8x6 in.

5.8.2. PROCESOS DE FABRICACIÓN.

5.8.2.1. PROCESO DE TROQUELADO.

El troquelado es una operación de corte de láminas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón (troquel) y la matriz. La aplicación de una fuerza de compresión sobre el punzón, obliga a éste a penetrar en la chapa, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico, seguida de un cizallamiento y rotura del material por propagación rápida de fisuras entre las aristas de corte del punzón y matriz.

Las perforaciones de los bastidores y abrazaderas, se las pueden realizar conjuntamente con los dobleces de cada elemento, mediante el uso de matrices y

punzones especiales, para de esta manera reducir los costos de mano de obra y simplificar el proceso; además de lograr que las perforaciones queden bien centradas y ubicadas. Algunas empresas eléctricas como la Empresa Eléctrica Quito, no especifica el desarrollo de perforaciones en los bastidores y abrazaderas usados para la sujeción de los aisladores 53-2 pero de ser necesario, se deberán realizar por medio del proceso de troquelado.

5.8.2.2. PROCESO DE DOBLADO.

Para obtener la geometría final de las partes de los bastidores y abrazaderas, se necesita una máquina capaz de realizar dobleces con facilidad y precisión en la elaboración de los perfiles correspondientes. Generalmente para este proceso se emplea una máquina dobladora o prensa hidráulica con la fuerza necesaria para doblar las platinas de hasta 6 mm de espesor.

La operación de doblado, consiste en realizar una transformación plástica de una lámina o plancha metálica de material y convertirla en una pieza con forma o geometría distinta a la anterior.

En cualquiera de las operaciones de doblado, siempre deberán tenerse en cuenta los factores que pueden influir sobre la forma de la pieza a obtener, como por ejemplo: elasticidad del material, radios interiores y ángulos de doblado.

El doblado de piezas de chapa, se realiza por medio de herramientas o matrices de doblar, acopladas a las prensas hidráulicas, para agilizar el proceso.

Para la obtención de un buen doblado deben tenerse en cuenta tres factores:

1. La pieza no debe sufrir ningún movimiento anormal durante el doblado.
2. Los radios interiores de doblado, serán como mínimo igual al espesor de la chapa.
3. Las superficies del punzón o matriz en contacto con la chapa, deberán estar lo más lisas y pulidas posible.

5.8.2.3. PROCESO DE SOLDADURA.

La sujeción del porta elemento a la base, se realizará por medio de cordones de soldadura.

El proceso de soldadura usado para realizar los cordones, es el proceso SMAW con uso de electrodo E6011, aunque también se recomienda el proceso MIG (Metal Inert Gas) con electrodo continuo.

El WPS (Welding Processing Specifications) correspondiente para realizar los cordones de soldadura, se puede observar en el Anexo 20.

Para la fabricación del perno para aislador, se debe soldar la cabeza de la varilla con un diámetro mínimo de 22 mm a la barra de 16 mm, que constituye el cuerpo del perno para aislador, la cabeza del perno también se puede fabricar por medio del proceso de forjado, sin embargo en este proyecto no se estudiará esta posibilidad debido a que se necesita de otros equipos para hacerlo.

5.8.2.4. PROCESO DE CINCO

Luego de realizar los dobleces y perforaciones correspondientes para la fabricación de los bastidores éstos y las abrazaderas deben someterse a un proceso de galvanizado según las indicaciones y procedimientos establecidos en punto 5.2 del presente capítulo. Las normas que rigen este procedimiento son la ASTM A 153 y ASTM A 123.

El espesor requerido mínimo por las Empresas Eléctricas del País es de 70 a 80 micras, que corresponde a una cantidad mínima de cinc de 458 g/m²

El proceso de cincado debe hacerse en un centro especializado en este tipo de proceso, ya que de lo contrario se deberá planificar y realizar un estudio de la

factibilidad de establecer una planta de cincado específicamente para la fabricación de los herrajes.

En el país existen muchas empresas que brindan este servicio a precios muy económicos.

5.8.3. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

La elaboración de los planos se realiza siguiendo normas internacionales de dibujo industrial para que sean interpretados de forma sencilla y clara.

Estos planos contienen la ingeniería de detalle necesaria para permitir una construcción y ensamble técnico pudiendo observárselos en el Anexo 21.

5.8.4. HERRAJES FABRICADOS.

Los elementos se fabricaron siguiendo los métodos establecidos anteriormente, cuyos resultados se detallan en las figuras siguientes:



Figura 5.11: Abrazadera de diámetro 140-160 mm.



Figura 5.12: Bastidor de una vía sin base.



Figura 5.13: Bastidor de 2 vías.



Figura 5.14: Bastidor de 3 vías.

CAPÍTULO 6

8. PRUEBAS DE LOS BASTIDORES CONSTRUIDOS PARA MAMPOSTERÍA.

8.1. ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS SEGÚN LA NORMA ASTM A 153.

La norma ASTM A 153 (Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware) establece los parámetros para evaluar la correcta aplicación del proceso de galvanizado en caliente de los herrajes fabricados.

Los parámetros a calificar después del proceso de galvanizado son:

- Homogeneidad, acabado y aspecto
- Adherencia.
- Masa depositada y grosor de la capa.

8.1.1. HOMOGENEIDAD.

Los artículos cubiertos con zinc deben estar libres de: áreas no cubiertas, ampollas, depósitos de material, inclusiones de escoria, imperfecciones como masas, proyecciones, glóbulos, o los depósitos pesados de zinc, que interfieran con el empleo de los artículos, u otros defectos no compatibles con una buena práctica de galvanización.

La cubierta de zinc debe ser lisa y uniforme en el grosor de la misma. Se debe considerar la menor rugosidad para que no interfiera con el proceso operativo de la pieza, o que la rugosidad final no sea propicia para el rechazo de la pieza.

Los agujeros deben estar libres de excesos de cinc.

Las marcas en la capa de cinc, causadas por pinzas u otros artículos usados en el manejo del producto durante la operación de galvanización no serán la causa para el rechazo, a no ser que tales señales hayan expuesto el metal bajo la capa de cinc y cuyas áreas desnudas no excedan los máximos contemplados.

Si las manchas desnudas no deben ser de un área de no más del 1% de la superficie total a ser cubierta, excluyendo las áreas desnudas encontradas en el roscado, el grosor de la nueva capa de reparación será igual al galvanizado que cubre la superficie de la pieza, excepto las reparaciones hechas con pinturas que contienen polvo de cinc, que será 50% mayor que el grosor de capa galvanizada requerida, pero no mayor que 4 milésimas de milímetro.

Las áreas desnudas encontradas después de la galvanización, serán renovadas según los métodos establecidos en la Norma ASTM A 780 (Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings).

Este resultado se puede mantener controlando adecuadamente el proceso y las condiciones del zinc para realizar el proceso de cincado.

8.1.2. ADHERENCIA.

La verificación de la adherencia de la capa de zinc a la superficie del metal se realiza por cortado o rayado, se puede usar la punta de un cuchillo fuerte, aplicado una presión considerable de tal manera que tienda a quitar una parte de la capa.

La adherencia será considerada inadecuada, si al cortar la capa se forman escamas que dejan expuesto el metal bajo el cuchillo.

No se deben realizar pruebas en bordes o esquinas para determinar la adhesión de capa. De la misma manera, no se considera la remoción de pequeñas partículas de la capa por pelado o tallado, como fracaso del galvanizado.

Esta prueba se realizó a los bastidores fabricados, incluidas las abrazaderas, evidenciando que la adherencia de la capa de zinc es adecuada, ya que no se presentó desprendimiento en forma de escamas del material de la capa de zinc.

En la figura 6.1 se pueden observar los resultados obtenidos al realizar la prueba de adherencia a los bastidores fabricados.

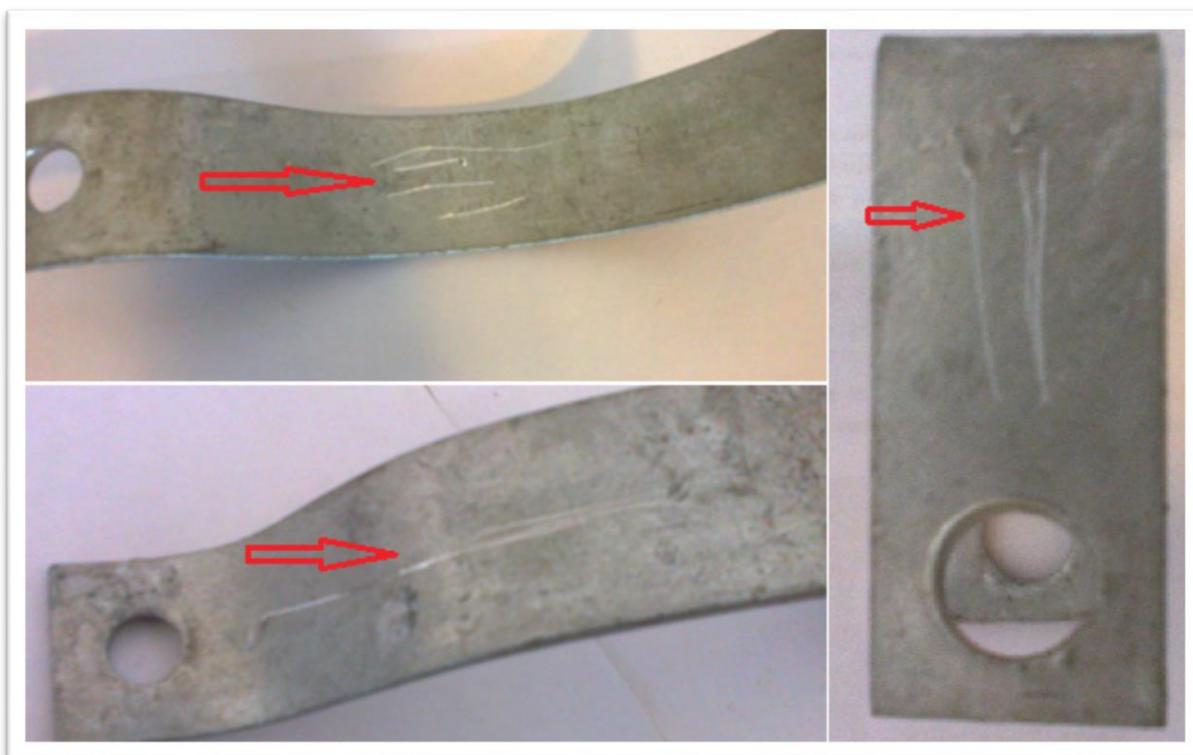


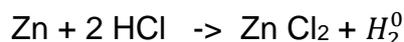
Figura 6.1: Prueba de adherencia de la capa de Zinc.

8.1.3. MASA DEPOSITADA Y ESPESOR DE LA CAPA DE ZINC.

El peso medio de la capa de zinc será determinado por la diferencia de pesos antes y después de la galvanización.

En el caso de materiales inspeccionados después de la galvanización, el peso de la capa de zinc será determinado por remoción a uno o varios especímenes conforme al Método de prueba ASTM A90/A 90M, o el grosor medio de capa será determinado con el empleo de un equipo de grosor magnético conforme a la Práctica E376.

La masa depositada en las piezas galvanizadas se puede determinar introduciendo las piezas galvanizadas en una solución de ácido clorhídrico HCl, la cual que al entrar en contacto con el cinc da lugar a la siguiente reacción:



Entonces la masa de cinc se determina por diferencia de pesos:

$$\text{masa de cinc} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{área}}$$

La masa de cinc depositada en los bastidores y abrazaderas se determinó mediante el pesaje antes y después del proceso de galvanizado, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 6.1: Masa de cinc depositada en cada elemento

Elemento	Peso antes del cincado (g)	Peso después del cincado (g)	Área del elemento (m ²)	Cinc depositado (g/m ²)
Bastidor 1 vía sin base	381.327	478.569	0.0371	689.167
Bastidor 2 vías	1420.713	1525.362	0.1411	745.863
Bastidor 3 vías	2279.637	2435.534	0.2242	695.345

Abrazadera sin accesorios	718.546	744.832	0.0412	641.117
			Promedio	692.873

8.1.3.1. Grosor de capa:

El espesor de la capa de cinc se puede determinar cortando la pieza en diferentes secciones y midiendo el espesor en 5 puntos diferentes, donde el promedio será la medida del espesor. También se puede determinar usando el factor de conversión 7, entre el espesor de la capa (μm) y el peso por m^2 (g/m^2), en donde un recubrimiento de cinc con un espesor de capa de $70 \mu\text{m}$ equivale a un peso de $490 \text{g}/\text{m}^2$ aproximadamente.

El espesor del galvanizado se determinó en base a la masa depositada en cada bastidor.

El espesor promedio obtenido es de 98.98 micras.

En la norma ASTM A153 se establece que el grosor promedio debe ser mínimo de 53 micras, por lo que si se cumple con este requerimiento de la norma.

8.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Las pruebas de funcionamiento garantizan que los bastidores cumplan con los requerimientos especificados por las empresas eléctricas del país, y son las siguientes.

8.2.1. Pruebas Dimensionales.

Las pruebas dimensionales consisten en la verificación de las dimensiones, geometría y acabado de todas las piezas fabricadas, se hará con los instrumentos de medida que den la precisión requerida de acuerdo a las tolerancias especificadas en los planos correspondientes.

El proveedor de los accesorios tales como: pernos, tuercas y arandelas, garantiza que se cumplan con las dimensiones y con las características técnicas especificadas por la empresa que las adquiere.

8.2.2. Acabado de los bastidores.

Los perfiles deben ser de una sola pieza, libres de soldaduras, libres de deformaciones, fisuras, aristas cortantes, y defectos de laminación.

No se permiten dobleces ni rebabas en las zonas de corte, perforadas o punzadas.

Todos estos requerimientos se cumplen en los bastidores empleados.

8.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- Los acabados físicos de los bastidores están libres de rebabas o filos cortantes.
- Para la construcción de los bastidores se usaron planchas para evitar el uso de cizallas para cortar las grandes planchas. Para el proceso de doblado se uso una dobladora manual. Para producción en serie es recomendable el uso de planchas, ya que disminuyen los costos de materia prima.
- Los elementos normalizados como: pernos, tuercas y arandelas, se adquirieron localmente.
- Las dimensiones y acabado de los bastidores, se garantizan controlando los parámetros del proceso de fabricación y del proceso de galvanizado en caliente.
- Se obtuvo una muy buena adherencia de la capa de cinc, aunque hay que controlar que el baño de cinc esté libre de impurezas, para que el acabado sea más uniforme.

- La cantidad promedio de cinc depositado en los bastidores, superó al valor solicitado en la norma, lo que garantiza un buen espesor de la capa de cinc.
- Gran parte de los bastidores fabricados localmente, no cumplen con las especificaciones dimensionales y geométricas solicitadas por las principales Empresas Eléctricas del país, sino que son muy cercanas.
- Los requerimientos de los bastidores especifican que la varilla de los aisladores sea lisa, sin embargo debido a la dificultad para conseguirla localmente en diámetro de 15mm, para el presente proyecto se optó por varilla corrugada de 15mm, que si existe en el mercado.

CAPÍTULO 7

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.

9.1. CONCLUSIONES.

- Los materiales no metálicos nacionales, poseen excelentes propiedades físico-químicas, lo que las hace ser una muy buena opción para la fabricación de porcelana eléctrica.
- Los aisladores tipo 53-2 fabricados en la Planta Piloto cumplen satisfactoriamente con los requisitos especificados en la Norma ANSI C29-3
- Los aisladores eléctricos de porcelana debido a sus excelentes propiedades eléctricas y mecánicas, así como por su larga vida útil, son los elementos aislantes de uso más generalizado en la conducción de energía eléctrica de media, baja y alta tensión. El presente proyecto puede servir de base para ampliar el alcance a todos los tipos de aisladores y elementos de porcelana que se usan en las redes eléctricas de potencia, así como en los dispositivos de bajos, medianos y altos voltajes.

- La determinación de la humedad óptima de las barras extruidas ayuda a facilitar el taladrado y torneado de los aisladores en el torno automático, el tiempo en el que se obtiene una humedad adecuada es de 48h aproximadamente.
- El esmalte usado en el acabado final del aislador, fue fabricado por la compañía ESFEL de Cuenca con un tamaño de grano de malla 325 ASTM, sin embargo este se molió en un molino de bolas durante 2 horas para homogenizar la solución, lo cual proporcionó una superficie homogénea y aceptable de los aisladores.
- Es recomendable esmaltar el aislador en crudo y lograr con ello una sola cocción y reducción de costos de energía, sin embargo se obtuvieron mejores resultados con el ciclo de bi cocción.
- La capacidad actual de producción de los aisladores eléctricos de porcelana en la Planta Piloto de Cerámica de La Escuela Politécnica Nacional es reducida, obteniéndose un costo de producción por aislador de 1,98 USD. Para poder ampliar la capacidad de producción de la Planta Piloto de Cerámica y reducir sus costos, es necesaria la adquisición de nuevos equipos, como es el caso de molinos de bolas ya que actualmente este proceso tiene una capacidad reducida, al igual que tamizadoras industriales, ya que actualmente este proceso se realiza manualmente.
- El proceso de fabricación de los bastidores y abrazaderas debe garantizar que se cumpla con las especificaciones detalladas en el capítulo 5 del presente proyecto.
- El galvanizado en caliente para los bastidores y abrazaderas, debe cumplir con las normas ASTM A153 y ASTM A123, este proceso se lo realizó en la empresa Galvanorte de Quito, quién garantiza la calidad del proceso. De igual manera todos los accesorios normalizados, deben ser galvanizados en caliente.

- Se fabrican únicamente los perfiles de las abrazaderas, ya que los accesorios normalizados se adquirieren localmente. Las dimensiones y geometría pueden ser sin salida, de una salida y de dos salidas, dependiendo del tamaño y la localización en el poste.
- Las pruebas de los bastidores y abrazaderas son sencillas y rápidas de hacer, estas pruebas deben realizarse a cada lote que se fabrique, la metodología para realizar las pruebas están detalladas en el capítulo 6 del presente proyecto.
- Los resultados obtenidos al realizar las pruebas de los batidores y abrazaderas cumplen con los requerimientos solicitados por las empresas eléctricas del país, según las dimensiones de los planos y las especificaciones técnicas de cada herraje, así como con las normas correspondientes para el proceso de galvanizado.
- La calidad de los herrajes se puede mejorar, ya que las características de los actuales bastidores no cumplen con todos los requerimientos solicitados para estos, y se fabrican sin tomar en cuenta todas las características técnicas del producto.
- Para la industrialización del proceso de fabricación de los bastidores o herrajes, es necesaria la utilización de métodos como es el caso del empleo de matrices de corte y doblado, cuyo diseño no está planificado dentro del alcance del presente proyecto.
- Según información obtenida del Instituto Nacional de Compras Públicas INCOP, la Empresa Eléctrica Quito fabrica un promedio de 100000 kg de bastidores anuales, cuyo proceso de galvanizado es realizado mediante un proceso de contratación pública, por lo que es necesario que la empresa que se encargue del galvanizado de los herrajes, cumpla con las especificaciones detalladas en el presente proyecto, así como de la correcta aplicación de la capa de cinc.

9.2. RECOMENDACIONES.

- Para garantizar que las propiedades eléctricas cumplan con la norma, se debe tener especial cuidado con la cantidad de hierro presente en las materias primas, que sea menor a 0,5%, lo cual se logra mediante el paso por el separador magnético.
- Para que el esmalte se adhiera uniformemente a la superficie de los aisladores, es recomendable calentarlos a 60°C durante 30 minutos, antes de colocar la primera capa de esmalte.
- Aumentar la velocidad de posicionamiento de la cuchilla en el torno automático, ya que actualmente es muy lenta.
- Adquirir equipos más grandes para el proceso de molienda y tamizado de las materias primas, si se piensa a escala productiva.
- Poner énfasis en los análisis químicos y mineralógicos, para garantizar una correcta formulación de la pasta cerámica, ya que cada nuevo lote de materias primas requiere de nuevos análisis.
- Para determinar el punto de equilibrio de producción de aisladores y bastidores, que puedan competir con los precios actuales del mercado local,

se recomienda realizar un estudio y análisis económico completo con infraestructura y equipos necesarios para obtener una rentabilidad con la industrialización de los procesos descritos anteriormente, este análisis no está contemplado dentro del alcance de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

SINGER, F. Y SINGER, S.; Cerámica Industrial, Principios Generales de la Fabricación de Cerámica, Enciclopedia de la Química Industrial; Volumen I; Tomo 9; Primera Edición; Ediciones Espartero; Bilbao, España; 1976; Páginas 548, 549, 618, 623 y 624.

SINGER, F. Y SINGER, S.; Cerámica Industrial, Principios Generales de la Fabricación de Cerámica, Enciclopedia de la Química Industrial, Volumen II; Tomo 10; Primera Edición; Ediciones Espartero; Bilbao, España; 1976; Páginas 146.

SINGER, F. Y SINGER, S.; Cerámica Industrial, Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Volumen III; Tomo 11; Primera Edición; Ediciones Espartero; Bilbao, España; 1976; Páginas 139, 140, 142.

HUANOSTA, A., Guzmán, J., Serrato, J., Bribiesca S.; Propiedades dieléctricas de una porcelana de baja tensión a través de espectroscopía de impedancias; Revista Mexicana de Física; 1999; Páginas 456-468.

T Croft; CLIFFORT L. Carr; JOHN H. Watt; Manual del Montador Electricista; Tercera Edición; Editorial Reverte SA; España 1994; Página 41

AVNER; Introducción a la Metalurgia Física; Segunda Edición; Mc Graw Hill; México;1998; Páginas 389, 401 y 405

HANS APPOLD, KURT FEILER; Tecnología de los metales para profesionales Técnico-Mecánicos; Editorial Reverte; España; 1982; Páginas 166-168

TESIS:

TAPIA, Juan; Uso de la automatización para el torneado y proceso de acabado de aisladores eléctricos tipo 53-3; Proyecto de Titulación previo a la obtención de Título de Ingeniero Químico; EPN; Quito; 2010; Páginas 1-3, 5, 15, 16

MENA, Johnny; Automatización del torno de la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, para la elaboración de aisladores eléctricos tipo 53-3; Proyecto de Titulación previo a la obtención de Título de Ingeniero en Electrónica y Control; EPN; Quito; 2008; Páginas 6-8, 21, 91, 47

BARONA, Diego; “Formulación de una pasta cerámica a partir de la utilizada en aisladores eléctricos, para emplearse en la fabricación del sustrato de bujías de encendido automotriz, utilizando materia prima nacional y material de desecho de Edesa”; Proyecto de Titulación previo a la obtención de Título de Ingeniero Químico; EPN; Quito; 2008; Página 107.

TIRADO, Inés; “Estudio de optimización de una planta de fabricación de ladrillos prensados y perforados”; Proyecto de Titulación previo a la obtención de Título de Ingeniero Químico; EPN; Quito; 1994; Páginas 16

DOCUMENTOS Y PÁGINAS DIGITALES:

DINAMI; "Catastro Minero Nacional", 2005

<http://www.dinami.gov.ec/es/inicio/catastro-minero-nacional.html>

Herrajes Andina Ltda. Barranquilla-Colombia.; Herrajes eléctricos

<http://www.herrajesandina.com/home.html>

Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P.; Normas de distribución

<http://www.chec.com.co/datos/normasdistribucion/9.MATERIALES.pdf>

Electro Córdova S.A; Especificaciones producción de herrajes

<http://www.electrocordobasa.com.ar/prod-herrajes.htm>

Electro Cables; Especificaciones de los cables de distribución

<http://www.electrocable.com/productos/aluminios/ASCR.html>

Ivan Bohman; Especificaciones de los aceros Inoxidables

<http://centraltrust.net/ivanbohman/productopdf/planchas%20inox.pdf>

Aisladores Santana Brazil; Especificaciones Aisladores eléctricos

<http://www.isantana.com.br/Produtos.aspx>

Aisladores Santa Terezinha Brazil; Especificaciones Aisladores eléctricos

<http://www.cst-isoladores.com.br/>

Gamma Colombia; Boletín técnico aisladores corona

<http://www.gamma.com.co/pdf/boletines/tecnicos/boletin33.pdf>

ASME/ASTM A36

<http://www.astm.org/Standards/A36A36M-SP.htm>

NORMAS

ANSI C29.1; Test Methods for Electrical Power Insulators; New York; 1988

ANSI C29.3; American National Standard for wet process porcelain insulators-spool type; New York; 1986

ASTM A 153; Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware

ASTM A 123; Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products; 2002

ASTM B6; Standard Specification for Zinc

ASTM A 143; Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement

ANEXOS

Anexo 1

Planos de construcción de los elementos usados en la adecuación del torno semiautomático de la Planta Piloto de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional.

Anexo 2

Dimensionamiento del aislador eléctrico tipo ANSI 53.2

Anexo 3

Análisis químicos realizados a las materias primas nacionales.

Tabla I: Análisis químicos realizados a la muestra de Arcilla por el Laboratorio de Análisis Químicos de la FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Sr. Diego Orellana
Dirección: 10 de Agosto y Mariana de Jesús
Teléfono: 092701619
Atención: Sr. Diego Orellana

Número de Informe: 13-027
Fecha de informe: 13-02-20
Recep. Laboratorio: 13-02-13
Nº de muestras entregadas: 2 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		ROCA: ARCILLA			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	4,22	Método Interno Gravimétrico	13-02-14	13-02-19
*Óxido de Silicio (SiO ₂ + insolubles)	%	80,4	Método Interno Gravimétrico	13-02-14	13-02-19
*Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	1,61	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	%	11,03	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,01	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,02	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Sulfitos (SO ₃)	%	< 0,01	Método Interno Turbidimétrico	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Sodio (Na ₂ O)	%	0,51	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Potasio (K ₂ O)	%	2,15	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM y VR


Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2526-324 2566-726
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@uce.edu.ec - Quito-Ecuador

MC2201-01



Tabla II: Análisis químico realizado a la muestra de Feldespato por el Laboratorio de Análisis Químicos de la FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente:	Sr. Diego Orellana	Número de informe:	13-027
Dirección:	10 de Agosto y Mariana de Jesús	Fecha de informe:	13-02-20
Teléfono:	092701619	Recep. Laboratorio:	13-02-13
Atención:	Sr. Diego Orellana	Nº de muestras entregadas:	2 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		ROCA: FELDESPATO			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinción (PxC)	%	6,06	Método Interno Gravimétrico	13-02-14	13-02-19
*Óxido de Silicio (SiO ₂ + insolubles)	%	68,1	Método Interno Gravimétrico	13-02-14	13-02-19
*Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	0,30	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	%	20,35	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,01	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,06	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Sulfitos (SO ₃)	%	0,01	Método Interno Turbidimétrico	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Sodio (Na ₂ O)	%	4,93	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18
*Óxido de Potasio (K ₂ O)	%	0,15	Método Interno AA	13-02-14	13-02-18

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del DAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM y VR


Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2526-324 2566-726
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@uce.edu.ec - Quito-Ecuador

MC2261-01



Tabla III: Análisis químico para determinar la cantidad de Fe₂O₃ en la Arcilla "Plan Milagro" después de pasar 3 veces por el separador magnético.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SR. JUAN CARLOS POMA	Número de Informe: 13-048
Dirección: Francisco Espinosa y Pasaje Vergel	Fecha de informe: 13-03-19
Teléfono: 0939904245	Recep. laboratorio: 13-03-12
Atención: Sr. Juan Carlos Poma	Nº de muestras entregadas: 1 muestra sólida

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:			SOLIDO: ARCILLA		
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
* Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	0,44	Método Interno AA	13-03-15	13-03-19

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

U= Incertidumbre

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

No responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM


 CDM. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
 Director encargado LABFIGEMPA

Anexo 4

Cálculos mineralógicos realizados a las materias primas nacionales.

Los resultados de los diferentes análisis químicos realizados a las materias diferentes primas nacionales se resumen en la tabla 4, esto sirve de base para iniciar con el cálculo porcentual de los minerales presentes en cada materia prima.

Tabla IV: Resumen de los Análisis químicos realizados.

Composición química de las materias primas utilizadas (%)			
	Arcilla plan Milagro	Feldespatos La Ercilia	Cuarzo Misahualli
SiO₂	80,40	68,1	97,52
Fe₂O₃	1,61	0,30	0,26
Al₂O₃	11,03	20,35	0,02
CaO	< 0,01	< 0,01	0,00
MgO	< 0,02	0,06	0,00
K₂O – Na₂O	2,66	5,08	1,95
Prueba Calcinación	4,22	6,06	0,00

ARCILLA PLAN MILAGRO

- Determinación del feldespato.

Se encuentra que el feldespato presente en la arcilla, está en la forma de Plagioclasa

Plagioclasa:



$$78,0 + 102,0 + 6 * 60 = 540,0 = \text{Peso molecular}$$

De acuerdo al análisis químico, la Arcilla Plan Milagro, tiene un 2,66% de NaKO, lo que da:

$$\frac{540,0}{78,0} * 2,66 = 18,42\% \text{ de feldespato}$$

Los porcentajes de alúmina y sílice, presentes en este feldespato, son:

$$\frac{102,0}{540,0} * 18,42 = 3,48\% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$\frac{360,0}{540,0} * 18,42 = 12,28\% \text{ SiO}_2$$

De Al_2O_3 queda: $11,03 - 3,48 = 7,55$

De SiO_2 queda: $80,40 - 12,28 = 68,12$

- **Determinación del material arcilloso.**

Se asume que la arcilla presente es un Alófono

Alófono: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 $102,0 + 60,0 + 5 * 18 = 252,0 = \text{Peso molecular}$

De caolín habrá:

$$\frac{252,0}{102,0} * 7,55 = 18,66\% \text{ de Caolin}$$

El porcentaje de sílice presente en este caolín será:

$$\frac{60,0}{252,0} * 18,66 = 4,44\% \text{ de Sílice}$$

- **Determinación de Cuarzo:**

De sílice queda:

$$68,12 - 4,44 = 63,68\% \text{ de Cuarzo}$$

Que es el porcentaje que corresponde al cuarzo existente en existente en la arcilla del Plan Milagro.

FELDESPATO LA ERCILIA

- **Determinación del feldespato.**

De acuerdo al análisis químico, el Feldespato de la mina La Ercilia, tiene un 5,08% de Na KO, lo que da:

$$\frac{540,0}{78,0} * 5,08 = 35,17\% \text{ de feldespato}$$

Los porcentajes de alúmina y sílice, presentes en este feldespato, son:

$$\frac{102,0}{540,0} * 35,17 = 6,64\% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$\frac{360,0}{540,0} * 35,17 = 23,45\% \text{ SiO}_2$$

De Al_2O_3 queda: $20,35 - 6,64 = 13,71$

De SiO_2 queda: $68,1 - 23,45 = 44,65$

- **Determinación del material arcilloso.**

Se asume que la arcilla presente es un Alófono

Alófono: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$$102,0 + 60,0 + 5 * 18 = 252,0 = \text{Peso molecular}$$

De caolín habrá:

$$\frac{252,0}{102,0} * 13,71 = 33,87\% \text{ de Caolin}$$

El porcentaje de sílice presente en este caolín será:

$$\frac{60,0}{252,0} * 33,87 = 8,06\% \text{ de Sílice}$$

- **Determinación de Cuarzo:**

De sílice queda:

$$44,65 - 8,06 = 36,59 \% \text{ de Cuarzo}$$

Que es el porcentaje que corresponde al cuarzo existente en el feldespato La Ercilia.

CUARZO MISAHUALLI

- **Determinación del feldespato.**

De acuerdo al análisis químico, cuarzo misahuallí, tiene un 1,95% de NaKO, lo que da:

$$\frac{540,0}{78,0} * 1,95 = 13,50\% \text{ de feldespato}$$

Los porcentajes de alúmina y sílice, presentes en este feldespato, son:

$$\frac{102,0}{540,0} * 13,50 = 2,55\% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$\frac{360,0}{540,0} * 13,50 = 9,00\% \text{ SiO}_2$$

De Al_2O_3 queda: $0,02 - 2,55 = -2,53 = 0$

De SiO_2 queda: $97,52 - 9,00 = 88,52$

- **Determinación del material arcilloso.**

Se asume que la arcilla presente es un Alófono

Alófono: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$$102,0 + 60,0 + 5 * 18 = 252,0 = \text{Peso molecular}$$

De caolín habrá:

$$\frac{252,0}{102,0} * 0 = 0,0\% \text{ de Caolin}$$

El porcentaje de sílice presente en este caolín será:

$$\frac{60,0}{252,0} * 0,0 = 0,0\% \text{ de Sílice}$$

- **Determinación de Cuarzo:**

De sílice queda:

$$88,52 - 0,0 = 88,52 \% \text{ de Cuarzo}$$

Que es el porcentaje que corresponde al cuarzo existente el cuarzo Misahuallí.

Anexo 5

Cálculos para la formulación y dosificación de la pasta cerámica.

Para calcular la dosificación de la pasta cerámica se desarrolla el siguiente sistema de ecuaciones:

$$A = m_1X + m_2Y + m_3Z$$

$$B = m_4X + m_5Y + m_6Z$$

$$C = m_7X + m_8Y + m_9Z$$

Donde:

A: Arcilla requerida a partir del diagrama triaxial.

B: Feldespato requerido a partir del diagrama triaxial.

C: Cuarzo requerido a partir del diagrama triaxial.

m1-m9: composiciones en base a los análisis mineralógicos de A,B,C

X: Porcentaje requerido de Arcilla Plan Milagro

Y: Porcentaje requerido de Feldespato La Ercilia

Z: Porcentaje requerido de Cuarzo Misahuallí

La formulación de la pasta cerámica es la siguiente:

- 35 % de Arcilla
- 30 % de feldespato
- 35 % de cuarzo.

Con el sistema de ecuaciones planteado anteriormente así como con los cálculos mineralógicos realizados a las materias primas se plantea el siguiente sistema de ecuaciones:

$$(1) \quad 35 = 0,1866 X + 0,3387 Y + 0,0000 Z$$

$$(2) \quad 30 = 0,1842 X + 0,3517 Y + 0,1350 Z$$

$$(3) \quad 35 = 0,6368 X + 0,3659 Y + 0,8852 Z$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones tenemos:

$$X = 77,91 = \text{Arcilla del Plan Milagro}$$

$$Y = 60,43 = \text{Feldespato La Ercilia}$$

$$Z = -41,49 = \text{Cuarzo Misahuallí}$$

El valor negativo de cuarzo indica que no es necesario agregarlo para la formulación de la pasta. Por lo que, se calcula el porcentaje de arcilla y feldespato en base 100, para la formulación final de la pasta.

Realizando el cálculo en porcentajes con base 100 se obtiene:

$$\%arcilla = \frac{77,91}{(77,91 + 60,43)} * 100 = 56,31$$

$$\%feldespato = \frac{60,43}{(77,91 + 60,43)} * 100 = 43,69$$

Anexo 6

Determinación del contenido de humedad de las diferentes materias primas a temperatura ambiente.

Para determinar el contenido de humedad las muestras se secan a 110 °C durante un periodo de 4 horas y se pesan antes y después del secado. El contenido de humedad se obtiene por la diferencia de pesos de las muestras.

Tabla V: Porcentajes de humedad presentes en las materias primas.

N°	Peso tarado (g)	Peso Sin secar (g)	Peso secado (g)	Peso Muestra (g)	Peso Muestra seca (g)	Humedad (g)	Humedad %
Feldespatos La Ercilia							

1	21,3143	22,4029	22,3930	1,0886	1,0787	0,0099	0,91
2	21,5618	22,5952	22,5834	1,0334	1,0216	0,0118	1,14
3	21,7171	22,6863	22,6768	0,9692	0,9597	0,0095	0,98
4	23,5808	24,2975	24,2876	0,7167	0,7068	0,0099	1,38
5	22,9863	23,6355	23,6278	0,6492	0,6415	0,0077	1,19
						Promedio	1,12
Arcilla Plan Milagro							
6	22,1333	23,2820	23,2614	1,1487	1,1281	0,0206	1,79
7	20,3663	21,6003	21,5777	1,2340	1,2114	0,0226	1,83
8	23,8284	24,7797	24,7609	0,9513	0,9325	0,0188	1,98
9	21,1105	22,2588	22,2383	1,1483	1,1278	0,0205	1,79
10	24,1912	25,2653	25,2420	1,0741	1,0508	0,0233	2,17
						Promedio	1,91

Anexo 7

Determinación de los límites de Atterberg para las pastas cerámicas formuladas.

Tabla VI: Datos obtenidos al realizar la prueba de Atterberg a la pasta.

Muestra	N° Golpes	Peso crisol (g)	Peso muestra sin secar (g)	Peso muestra secado (g)	Humedad (g)	Humedad (%)
1	22	44,781	49,1689	47,9832	1,186	27,03
2	12	26,561	32,3390	30,7149	1,624	28,11
3	15	24,192	30,6560	28,8588	1,797	27,81

Con los datos de la tabla VI, se dibuja la curva correspondiente a la mezcla y se obtiene la ecuación de la misma, con la que se procede a calcular el contenido de humedad para 25 golpes.

Tabla VII: Datos obtenidos para la mezcla

Número de golpes (A)	Contenido de humedad experimental (%)	ln(A)	Contenido de humedad corregido (%)
12	28,11	2,48	28,12
15	27,81	2,71	27,80
22	27,03	3,09	27,03
25		3,22	26,71

Anexo 8

Determinación de los límites de Pfefferkorn para las pastas cerámicas formuladas.

Tabla VIII: Coeficiente de Plasticidad de Pfefferkorn para la pasta.

Muestra	Peso muestra Húmeda (g)	Peso muestra Seca (g)	Altura inicial h_0 (mm)	Altura final h_1 (mm)	Humedad H (%)	h_0/h_1
1	61.2113	44.4876	41.5	31.9	27.32	1.30
2	62.2350	45.3690	40.4	33.9	27.10	1.19
3	62.9470	45.6927	41.6	32.1	27.41	1.30
4	64.4633	46.6561	41.9	30.0	27.62	1.40
5	59.5162	43.1020	38.5	29.5	27.58	1.31

6	58.3438	42.1933	39.2	27.5	27.68	1.43
7	61.2309	44.4979	39.2	31.2	27.33	1.26
8	57.4566	41.8819	39.0	31.4	27.11	1.24
9	67.0954	48.8375	42.7	34.7	27.21	1.23
10	66.8934	48.9050	41.7	39.7	26.89	1.05
					Promedio	1.27

Anexo 9

Determinación de la contracción lineal de la pasta formulada.

Los datos obtenidos; así como, los cálculos y resultados de la prueba de contracción lineal, se muestran en la tabla IX

Tabla IX: Resultados de contracción en el diámetro

Muestra	Diámetro secado (mm)	Diámetro cocción (mm)	Contracción (%)
1	24,8	21,0	15,3
2	24,8	21,2	14,5
3	24,6	21,0	14,6
4	24,7	21,1	14,6

5	24,6	21,1	14,2
6	24,7	21,1	14,6
7	24,7	21,0	15,0
8	24,5	21,0	14,3
9	24,7	21,0	15,0
10	24,7	21,2	14,2
11	24,6	21,3	13,4
12	24,7	21,2	14,2
13	24,7	21,2	14,2
14	24,5	21,2	13,5
15	24,8	21,3	14,1
16	24,9	21,2	14,9
Promedio			14,4

Calculo de la contracción de la muestra:

$$\% \text{ Contracción} = \frac{\text{dimensión secado} - \text{dimensión cocción}}{\text{dimensión secado}} * 100$$

Ejemplo de cálculo, para la muestra 1 de la tabla 11:

$$\% \text{ Contracción} = \frac{24.8 - 21}{24.8} * 100$$

$$\% \text{ Contracción} = 15.32$$

Anexo 10

Cálculo de la absorción de agua de la pasta cerámica cocida a diferentes temperaturas.

Los datos obtenidos; así como, los cálculos y resultados de las pruebas de absorción de agua para la formulación de pasta cerámica planteada, se expresan a continuación:

Tabla X: Absorción de agua de la pasta cocida a 1160 °C

N°	Peso Cocción D (g)	Peso Suspendido S (g)	Peso Húmedo M (g)	V	Vpa	Vpi	P	A	T	B
1	3,8267	2,2211	3,8402	1,619	0,013	1,606	0,834	0,353	2,383	2,363
2	3,8389	2,2287	3,8473	1,619	0,008	1,610	0,519	0,219	2,384	2,372
3	3,7377	2,1715	3,749	1,578	0,011	1,566	0,716	0,302	2,386	2,369
4	3,8871	2,2564	3,8916	1,635	0,004	1,631	0,275	0,116	2,384	2,377
5	3,8371	2,2276	3,847	1,619	0,010	1,610	0,611	0,258	2,384	2,369
Promedio								0,250		

Para realizar el cálculo del porcentaje de absorción de agua se utilizan las siguientes fórmulas:

Cálculo del volumen exterior (V)

$$V = M - S$$

Cálculo del volumen de poros abiertos (Vpa):

$$V_{pa} = M - D$$

Cálculo del volumen de porción impermeable (Vpi):

$$V_{pi} = D - S$$

Cálculo de la porosidad aparente (P), en porcentaje:

$$P = \left| \frac{M - D}{V} \right| * 100$$

Cálculo de la absorción de agua (A), en porcentaje:

$$A = \left| \frac{M - D}{D} \right| * 100$$

Cálculo de la gravedad específica aparente (T), de la porción de la muestra que es impermeable:

$$T = \frac{D}{D - S}$$

Cálculo de la densidad total (B):

$$B = \frac{D}{V}$$

Donde:

T = Gravedad específica aparente

A = Absorción de agua (%)

P = Porosidad aparente (%)

B = Densidad total (g/cm³)

V = Volumen exterior de la muestra (cm³)

V_{pa} = Volumen de poros abiertos (cm³)

V_{pi} = Volumen de la porción impermeable (cm³)

D = Peso de la muestra seca (g)

S = Peso de la muestra suspendida en agua (g)

M = Peso de la muestra húmeda (g)

Ejemplo de cálculo, para la muestra 1 de la tabla XI:

$$\%A = \frac{(3,8402 - 3,8267)}{3,8267} * 100$$

$$\%A = 0,3528$$

Anexo 11

Coeficiente de dilatación térmica de la pasta cerámica.

La prueba de coeficiente de dilatación térmica fue desarrollada por el CESEMIN de la Universidad de Cuenca

Tabla XI: Coeficiente de dilatación térmica.



CESEMIN
Centro de Servicios y Análisis de Minerales
Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA



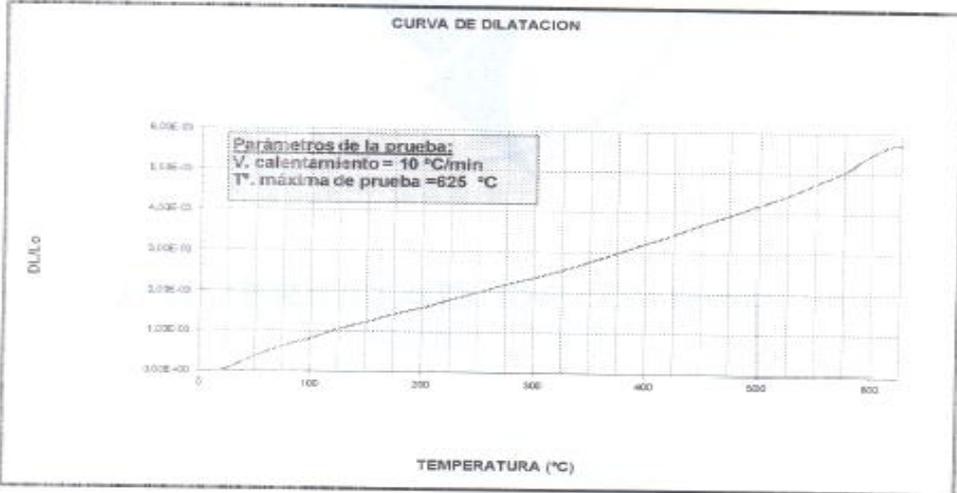
DILATACION TERMICA
REPORTE DE RESULTADOS RRG-0163

CLIENTE: JUAN CARLOS POMA
MATERIAL: PORCELANA ELECTRICA
Fecha: 2013-09-19

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,393E-06 /°C	0,2560%
20 a 600 °C	9,478E-06 /°C	0,5497%

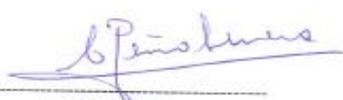
CURVA DE DILATACION



OBSERVACIONES: _____



RESP. ANÁLISIS



DIRECTORA

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

Anexo 12

Pruebas eléctricas realizadas a la pasta cerámica.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, se trabajó con la formulación planteada, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla XII: Resultados de las pruebas de rigidez dieléctrica y resistividad volumétrica en la pasta reformulada.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE ENERGIA ELÉCTRICA

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

PRUEBAS ELÉCTRICAS PASTA CERÁMICA AISLADORES ELÉCTRICOS, ANSI 53-2

Fecha: 21/06/13

Norma: ANSI C 29.1, C29.3

1. Ensayo de Rigidez Dieléctrica

Tabla 1. Valores de voltaje obtenidos en el ensayo de rigidez dieléctrica en KV

# Probeta	Voltaje (kV)	e (mm)	# Probeta	Voltaje (kV)	e (mm)	# Probeta	Voltaje (kV)	e (mm)
51% Arcilla			55% Arcilla			60% Arcilla		
1	55	5,85	1	66,0	5,90	1	69,1	5,70
2	58,4	6,05	2	57,6	5,90	2	69,7	5,70
3	69,6	5,90	3	53,6	5,90	3	63,5	5,75
4	72,6	5,85	4	66,4	5,80	4	56,2	6,15
5	69,7	5,85	5	55,9	5,80	5	71,8	5,85

2. Ensayo de Resistividad Volumétrica

Tabla 2. Valores de resistencia en (Ω) a 500, 1000 y 2500 V, obtenidos en el ensayo de resistividad volumétrica

# Probeta	R (Ω)								
	500 V	1000 V	2500 V	500 V	1000 V	2500 V	500 V	1000 V	2500 V
	55% Arcilla			55% Arcilla			60% Arcilla		
1	8,33E+09	7,74E+09	6,31E+09	7,91E+09	7,44E+09	6,85E+09	7,58E+09	7,00E+09	6,29E+09
2	8,39E+09	7,94E+09	7,14E+09	7,46E+09	6,73E+09	5,35E+09	7,92E+09	7,62E+09	6,56E+09
3	7,81E+09	7,39E+09	6,80E+09	7,22E+09	6,86E+09	6,02E+09	7,53E+09	7,15E+09	6,40E+09
4	8,28E+09	7,83E+09	7,01E+09	7,55E+09	7,20E+09	6,27E+09	7,56E+09	7,17E+09	6,25E+09
5	8,17E+09	7,74E+09	6,98E+09	8,21E+09	7,80E+09	7,09E+09	7,99E+09	7,23E+09	6,05E+09



Ing. Mario Barba
LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

- **Cálculo de la Rigidez Dieléctrica de la pasta formada.**

Tabla XIII: Resultados de Rigidez Dieléctrica de la pasta cocida a 1160 °C

Probeta	Voltaje (kV)	e (mm)	RD (kV/mm)
1	55	5.85	9.40
2	58.4	6.05	9.65
3	69.6	5.90	11.80
4	72.6	5.85	12.41
5	69.7	5.85	11.91
		Promedio	11.04

Ejemplo de cálculo, para la probeta 1 de la tabla XIII:

$$RD = \frac{55kV}{5,85mm}$$

$$RD = 9,40 \text{ kV/mm}$$

- **Cálculos de la Resistividad Volumétrica de la pasta formada.**

Tabla XIV: Resultados de Resistividad Volumétrica de la pasta cocida a 1160 °C

Probeta	Espesor (mm)	Área del electrodo (mm ²)	Resistencia en (MΩ)		
			A 500 V	A 1 000 V	A 1 500 V
1	0.575	8.042	8.33E+09	7.74E+09	6.31E+09
2	0.580	8.042	8.39E+09	7.94E+09	7.14E+09
3	0.585	8.042	7.81E+09	7.39E+09	6.60E+09
4	0.585	8.042	8.28E+09	7.83E+09	7.01E+09
5	0.575	8.042	8.17E+09	7.74E+09	6.98E+09

Ejemplo de cálculo, para la probeta 1 de la tabla XIV:

$$\rho_v = \frac{(8.33 \times 10^9 \Omega) * (0.8042 \text{ mm}^2)}{0.575 \text{ mm}}$$

$$\rho_v = 1.17 \text{ E}+11 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$$

Anexo 13

Pruebas Mecánicas realizadas a la pasta cerámica.

Las pruebas mecánicas, se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas mecánicas a la pasta formada, se expresan a continuación:



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.52

Quito, 25 de julio de 2013

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Juan Carlos Poma

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de pasta cerámica, Aislador ANSI 53-2, para el Proyecto de Titulación con tema "Diseño de Fabricación y Montaje de la Cuchilla de Formado para el Aislador Eléctrico tipo ANSI 53-2". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. MUESTRA: Cinco (5) probetas de pasta cerámica para ensayo de flexión, cinco (5) probetas de pasta cerámica para ensayo de tracción y cinco (5) probetas de pasta cerámica para ensayo de compresión.

2. ENSAYOS DE FLEXIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de flexión realizado en las muestras de pasta cerámica, Aislador ANSI 53-2.

Tabla 1. Resultados del ensayo de flexión.

Muestra	Carga máxima soportada
	N
1	2850
2	3350
3	2920
4	2690
5	3320

HE

3. ENSAYOS DE TRACCIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de tracción realizado en las muestras de pasta cerámica, Aislador ANSI 53-2.

Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción.

Muestra	Longitud	Carga máxima		Variación de longitud
	mm	lbf	N	mm
6	10	6.968	30.995,2	0,9120
7	10	5.920	26.333,5	0,9055
8	10	8.140	36.208,5	0,8970
9	10	7.980	35.496,8	0,9275
10	10	7.500	33.361,7	0,9195

4. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de compresión realizado en las muestras de pasta cerámica, Aislador ANSI 53-2.

Tabla 3. Resultados del ensayo de compresión.

Muestra	Carga máxima	
	lbf	N
11	21.500	95.567,5
12	19.168	85.201,8
14	20.820	92.544,9
15	18.140	80.632,3
16	19.980	88.811,1



Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.
**JEFE DEL LABORATORIO DE
 ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

- **Módulo de Ruptura (Resistencia a la Flexión)**

El módulo de ruptura para porcelana eléctrica debe ser mayor a 50 MPa.

Tabla XV: Resultados obtenidos del Módulo de Ruptura de la pasta cocida a 1160 °C

Probeta	P (N)	L (m)	d (m)	M (MPa)
1	2850	0,1	0,0210	78,366
2	3350	0,1	0,0212	89,532
3	2920	0,1	0,0210	80,291
4	2690	0,1	0,0211	72,920
5	3320	0,1	0,0211	89,998
Promedio				82.22

Ejemplo de cálculo, para la probeta 1 de la tabla XV:

$$M = \frac{8 * 2850 * 0,1}{\pi * 0,00210^3} * 1E - 6$$

$$M = 78,366 \text{ MPa}$$

- **Módulo de Elasticidad (Resistencia a la Flexión)**

El módulo de elasticidad debe ser mayor a 60000 MPa.

Tabla XVI: Resultados obtenidos del Módulo de Elasticidad de la pasta cocida a 1160°C

Probeta	W (N)	L (m)	$\Delta(m)$	d (m)	E (MPa)
6	30972.76	0.1	0.00091200	0.0211	72718.37
7	26314.40	0.1	0.00090550	0.0210	63418.61
8	36182.30	0.1	0.00089700	0.0210	88026.90
9	35471.10	0.1	0.00092750	0.0210	83458.86
10	33337.50	0.1	0.00091950	0.0212	76177.50
Promedio					76760.05

Ejemplo de cálculo, para la probeta 6 de la tabla XVI:

$$E = \frac{4 * 30972,76 * 0,1^3}{3 * \pi * 0,0009120 * 0,0211^4} * 1E - 6$$

$$E = 72718,37 \text{ MPa}$$

Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión de una porcelana eléctrica debe ser mayor a 206,9 MPa.

Tabla XVII: Resultados obtenidos de la prueba de compresión de la pasta cocida a 1160°C

Probeta	P (N)	d (m)	A (m ²)	C (MPa)
11	95567.50	0.0213	0.000356	268.20
12	85201.76	0.0212	0.000353	241.37
13	92544.90	0.0212	0.000353	262.17
14	80632.30	0.0213	0.000356	226.29
15	88811.10	0.0212	0.000353	251.60
Promedio				249.93

Ejemplo de cálculo, para la probeta 11 de la tabla XVII:

$$C = \frac{85201,76}{0,000353} * 1E - 6$$

$$C = 241,37 \text{ MPa}$$

Anexo 14

Ciclo de secado de los aisladores tipo 53-2

El ciclo de secado adecuado para los aisladores eléctricos 53-2, se determinó, partiendo del ciclo de secado establecido por Garzón, 2001, el cual se presenta en la tabla 20.

Tabla XVIII: Ciclo de secado para aisladores, Garzón, 2001*

Rango de temperatura (°C)	Tiempo (h : min)
De 20 a 110	4 : 00
De 110 a 110	8 : 00
De 110 a 20	12 : 00

Fuente: Garzón, 2001

Con este ciclo se ensayan 3 aisladores para determinar la pérdida de peso del aislador en función del tiempo. Con los resultados obtenidos se realiza la curva de secado correspondiente.

Tabla XIX: Pruebas de Secado en los Aisladores, Ciclo N°1.

Tiempo (h)	Peso Aislador 1 (g)	Peso Aislador 2 (g)	Peso Aislador 3 (g)
0	592	608	587
3	588	595	584
6	558	567	555
9	540	549	539
12	533	544	531

Como se puede observar en la tabla 21, al finalizar el ciclo de las 12 horas, el aislador eléctrico aun sigue perdiendo humedad, por lo que es necesario aumentar el tiempo de duración del ciclo.

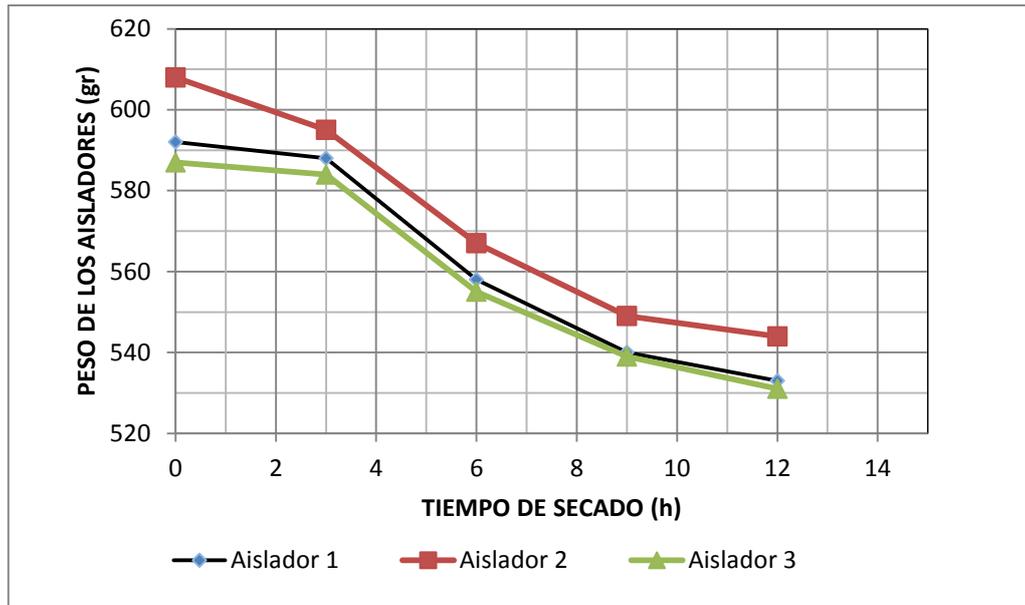


Figura I: Peso de los aisladores en función del tiempo de secado, Ciclo N°1

Adicionalmente, se puede observar que el choque térmico al abrir la estufa a 110 °C produce pequeñas grietas en los aisladores, siendo necesario también adicionar el tiempo de enfriamiento.

Con esta información, se plantea un nuevo ciclo de secado, el mismo que se presenta en la tabla 3.23:

Con el nuevo ciclo se ensayan tres aisladores y se realiza el gráfico del peso en función del tiempo.

Tabla XX: Pruebas de Secado en los Aisladores, Ciclo N°2.

Tiempo (h)	Peso Aislador 1 (g)	Peso Aislador 2 (g)	Peso Aislador 3 (g)
0	608	593	591
3	595	590	587
6	567	562	558
9	549	544	541
12	547	536	532
15	546	533	530
18	546	533	530

En la tabla XX, se observa que la humedad se elimina completamente, ya que, el peso de los aisladores al final permanece constante.

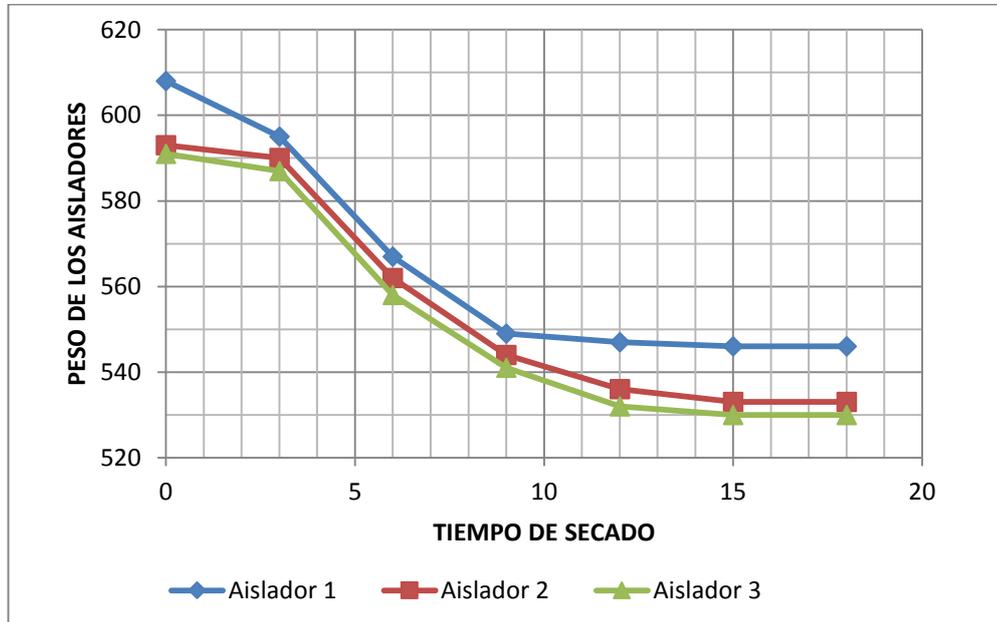


Figura II: Peso de los aisladores en función del tiempo de secado, Ciclo N°2

Anexo 15

Ciclo de cocción de los aisladores tipo 53-2

Para determinar el ciclo de cocción adecuado para los aisladores eléctricos 53-2, se partió del ciclo de secado establecido por Garzón, 2001

Tabla XXI: Ciclo de cocción para aisladores cerámicos.

Rango de temperatura (°C)	Tiempo (h : min)
De 20 a 550	3 : 42
De 550 a 600	0 : 27
De 600 a 850	1 : 45
De 850 a 1160	3 : 43
De 1160 a 1160	1 : 00
De 1160 a 20	18 : 00
Total	28 : 37

Fuente: Garzón, 2001

Se realizó un ensayo con 3 aisladores, los cuales fueron cocidos con el ciclo propuesto, los aisladores presentaron agrietamientos transversales y longitudinales, presumiblemente debido a los cambios rápidos de temperatura.

Se propuso un nuevo ciclo de cocción aumentando los tiempos en cada rango de temperatura, el nuevo ciclo se muestra en la tabla 3.25.

Los aisladores sometidos a este nuevo ciclo de cocción no presentaron ningún daño en el cuerpo cerámico.

Anexo 16

Densidad del esmalte aplicado al aislador ANSI 53-2

Tabla XXII: Densidad absoluta del agua Norma INEN 1009

Densidad absoluta del agua g/cm³	
°C	Densidad
15	0,999099
16	0,998943
17	0,998744
18	0,998595
19	0,998405
20	0,998203
21	0,997992
22	0,997770
23	0,997538
24	0,997296
25	0,997044
26	0,996783
27	0,996512
28	0,996232
29	0,995944
30	0,995656

Cálculos

El volumen del recipiente se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{M_2 - M_1}{D}$$

Donde:

V: volumen del recipiente, en cm³.

M2: peso del recipiente y el agua.

M1: peso del recipiente seco.

D: densidad absoluta del agua en g/cm³, a la temperatura especificada en la tabla a 30 °C.

$$V = \frac{60,7915 - 35,7174}{0,995656}$$

$$V = 25,1835 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la densidad del esmalte

Se calcula la densidad del esmalte, empleando la siguiente ecuación:

$$D_m = \frac{M_3 - M_4}{V}$$

Donde:

D_m: densidad de la muestra, en g/cm³.

M₃: la masa del recipiente con la muestra, en g.

M₄: masa del recipiente vacío, en g.

V: volumen del recipiente calculado, en cm³

$$D_m = \frac{71,4095 - 35,7174}{25,1835}$$

$$D_m = 1,4173 \text{ g/cm}^3$$

Anexo 17

Pruebas eléctricas para los aisladores tipo 53-2

Los resultados de las pruebas eléctricas realizadas a los aisladores ANSI 53-2 en el laboratorio de Alto Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional se muestran a continuación.

Tabla XXIII: Ensayo de tensión de flameo en seco

Tensión de flameo en seco (kV)			
Nº	Aislador 1	Aislador 2	Aislador 3
1	17,3	18,5	17,0
2	17,5	18,0	17,3
3	17,0	18,7	17,0
4	17,5	18,5	17,5
5	17,3	18,3	17,0
Promedio	17,32	18,4	17,16

Tabla XXIV: Ensayo de tensión de flameo en húmedo montaje vertical

Tensión de flameo en húmedo (kV)			
Nº	Aislador 1	Aislador 2	Aislador 3
1	11,5	9,7	10,5
2	11,0	10,5	10,3
3	11,5	11,0	10,0
4	11,3	11,0	10,5
5	11,0	10,5	10,0
Promedio	11,26	10,54	10,26

Tabla XXV: Ensayo de tensión de flameo en húmedo montaje horizontal

Tensión de flameo en húmedo (kV)			
Nº	Aislador 1	Aislador 2	Aislador 3
1	14,0	12,5	13,5
2	13,5	13,0	12,5
3	13,0	13,0	12,0
4	14,0	13,5	13,0
5	15,0	14,0	13,5
Promedio	13.9	13.2	12.9

Ejemplo de cálculo:**Valor promedio**

Se calcula el promedio de los valores medidos para cada uno de los aisladores. Así, para el aislador 1 se tiene:

Promedio tensión de flameo en húmedo, montaje horizontal

$$= \frac{14,0 + 13,5 + 13,0 + 14,0 + 15,0}{5}$$

Promedio tensión de flameo en húmedo, montaje horizontal = 13,9 kV

Ejemplo de cálculo del valor corregido

La norma ANSI C29.1 indica que el valor promedio de la tensión de flameo debe corregirse a condiciones de temperatura atmosférica y presión normales. Para calcular el factor de corrección se utiliza la siguiente expresión:

$$K_d = 0,392 P / (273 + T)$$

Donde:

K_d : factor de corrección

P: presión barométrica (mmHg)

T: temperatura del aire (°C)

$$K_d = 0,392 \frac{540 \text{ mmHg}}{(273 + 20)}$$

$$K_d = 0,722$$

El valor corregido es el resultado de dividir el valor promedio de la tensión de flameo y el factor de corrección, así para el aislador 1 se tiene:

$$\text{Valor corregido de tensión de flameo en seco} = \frac{17,32}{0,722}$$

Valor corregido de tensión de flameo en seco = 23.98 kV (Promedio)

Se repite los cálculos para los dos aisladores restantes.

Finalmente, se calcula el promedio de los valores de tensión de flameo en seco obtenidos y corregidos de los tres aisladores, como se indica a continuación:

$$\text{Valor promedio tensión de flameo en seco} = \frac{17,32 + 18,40 + 17,16}{3}$$

$$\text{Valor promedio tensión de flameo en seco} = 17,63 \text{ kN}$$

$$\text{Valor corregido de tensión de flameo en seco} = \frac{23,98 + 25,5 + 23,8}{3}$$

$$\text{Valor corregido de tensión de flameo en seco} = 24,4$$

Para el cálculo de la tensión de flameo en húmedo en montaje vertical y horizontal; se sigue el mismo proceso que para la tensión de flameo en seco.

Anexo 18

Características del proceso de galvanizado en caliente de los bastidores eléctricos

Proceso de Galvanizado.²⁰

En este punto se especifican y detallan las condiciones que se deben cumplir y la metodología para garantizar la calidad y resultados óptimos del proceso de galvanizado por inmersión en caliente a los diferentes herrajes a construir.

La calidad y el espesor total del recubrimiento de cinc depende de:

- Calidad del cinc.
- Temperatura del baño de galvanizado.
- Tiempo de inmersión de la pieza.
- Velocidad de extracción de la pieza del baño de cinc.

Según la norma ASTM A153 el peso mínimo de la capa de zinc que debe cubrir lo herrajes a fabricar deben ser en base a lo expuesto en la tabla .

Tabla XXVI: Peso de la capa de zinc para diferentes materiales.²¹

CLASE DE MATERIAL	Peso Mínimo de la Capa de Zinc, oz/ft ² (g/m ²) de la superficie	
	Promedio de especificaciones probadas	Cualquier especificación individual
Clase A , Bastidores de hierro maleable, acero.	2(610)	1.8(550)
Clase B , Artículos rolados, embutidos y forjados(Excepto los incluidos en la clase C y D)		
B-1 mayor a 3/16 in. (4.76 mm) de espesor y mayor a 15 in. (381 mm) de longitud.	2(610)	1.8(550)
B-2 menor a 3/16 in. (4.76 mm) de espesor y mayor a 15 in. (381 mm) de longitud.	1.5(458)	1.25(381)
B-3 cualquier espesor y menor de 15 in. (381 mm) de longitud.	1.3(397)	1.18(336)
Clase C , Sujetadores de diámetro mayor a 3/8 in. (9.52 mm) y artículos similares. Arandelas con espesor entre 3/16 in. y 1/4in. (4.76 y 6.35 mm).	1.25(381)	1(305)
Clase D , Sujetadores de diámetro menor a 3/8 in. (9.52 mm), remaches, clavos y artículos similares. Arandelas de espesor menor a 3/16 in. (4.76 mm)	1(305)	0.85(259)

²⁰ <http://www.istas.net/fitema/att/reanxd.htm>

²¹ Norma ASTM A 153; Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware; Pág.2

El efecto anticorrosivo y la vida útil de la pieza galvanizada dependen fundamentalmente del espesor de la capa de galvanizado. Éste se indica en μm o en g/m^2 de superficie. El factor de conversión entre el espesor de la capa (μm) y el peso por m^2 (g/m^2) es 7. Un recubrimiento de cinc con un espesor de capa de 70 μm equivale a un peso de 490 g/m^2 aproximadamente.

En base a la tabla XXVI se establece que el peso mínimo requerido de la capa de cinc es de 458 g/m^2 que corresponde al grupo B2.

El responsable del proceso de galvanización debe garantizar esta cantidad de cinc en el acero y en base a su experiencia establecer el tiempo de inmersión para lograrlo.

Los aceros usados deben tener una composición adecuada para excluir la posibilidad que se fragilicen por el proceso de galvanizado, o deberán ser templados posteriormente al proceso de galvanizado, para reducir los riesgos contra la fragilización.

La fragilización es una condición potencial del acero que es trabajado en frío, dependiendo de factores tales como el tipo de acero, el grosor, el grado de trabajo frío, y el proceso de galvanizado. El galvanizador, el diseñador y el fabricante tomarán medidas de precaución contra la fragilización.

Las precauciones para fabricar correctamente y preparar el material para galvanizar para impedir la fragilización, es descrita en la práctica ASTM A 143 (Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement)

Las temperaturas bajas de servicio, aumentan el riesgo de fragilidad de todos los aceros al carbón simples, incluyendo los que han sido galvanizados. Esta temperatura de efecto de fragilidad varía con el tipo de acero. La temperatura de servicio deberá tenerse en cuenta, seleccionando aceros óptimos para la galvanización.

Anexo 19

Características Químicas y Mecánicas del Acero A36

ACERO A36.-

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. ²²

Tabla XXVII: Composición química y propiedades mecánicas del Acero A36.

ASME/ASTM A36



Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 36/A 36M

Uso:

Este grado se utiliza principalmente pernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Composición química acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/ .40	.15/ .40	.15/ .40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

²² <http://www.astm.org/Standards/A36A36M-SP.htm>

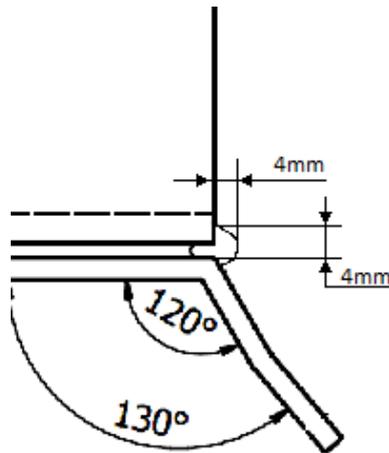
Anexo 20

El WPS (Welding Processing Specifications) para los bastidores.

Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

Nombre compañía: EPN-TESIS		WPS No: WPS 001	
Según Norma:		Fecha:	
ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA		Realizado por: Juan Poma / Diego Orellana	
Tipo de junta:	A tope	ARTÍCULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA	
Abertura de raíz:	2mm	Posición de Soldadura:	2 F
Placa de respaldo	Si () No (X)	Progresión:	N/A
Preparar bisel	Si () No (X)	Técnica :	Un pase (X) Varios pases ()
ARTÍCULO II. METAL BASE		ARTÍCULO VI. TÉCNICA DE SOLDADURA	
Especificación:	ASTM A 36	Soldadura de:	A tope
Espesor:	4mm	Proceso de soldadura:	SMAW
Ancho:	38mm	Tipo de soldadura:	Manual (X) Semiautomática () Automática ()
ARTÍCULO III. ELECTRODO		Soldadura a:	Un lado (X) Dos lados ()
Denominación AWS:	E6011	Cordón de respaldo:	SI () NO ()
Diámetro:	1/8"	Cordón:	Recto (X) Oscilante ()
Denominación comercial:	E-6011	Limpieza:	
Casa comercial:	LINCOLN	- Primer pase.	N/A
ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN		ARTÍCULO VII. NOTAS	
Tipo: Ninguno		- Asegurar limpieza de las partes	
Caudal: Ninguno		- Verificar alineación de la junta	
		- Limpieza para el galvanizado	

Detalle de la junta:



ARTÍCULO VIII. CUADRO DE VARIABLES DE LA OPERACIÓN

No de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Progresión	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro(mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (Amperios)				Oscilado	Recto
1	-	-	DC+	100	24-32	150	-		X

Anexo 21

Planos de los bastidores y abrazaderas.

