

88



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA  
DE LA PLANTA DE SOPLADO DE PET PARA LA INDUSTRIA  
REFRESQUERA.

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

**ALFREDO RAMIREZ SANDOVAL**  
**FELIPE SANCHEZ JIMENEZ**  
**JUAN ANTONIO VALERA MORALES**

ASESOR:  
**ING. JOSE JUAN CONTRERAS ESPINOSA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Instalación Eléctrica para la puesta en marcha de la Planta de Soplado de PET para la Industria Refresquera

que presenta El pasante: Alfredo Ramírez Sandoval  
con número de cuenta: 08128927-5 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 3 de Diciembre de 2001.

PRESIDENTE	Ing. José Juan Contreras Espinosa.	
VOCAL	Ing. Esteban Corona Escamilla.	
SECRETARIO	Ing. Ramón Osorio Galicia.	
PRIMER SUPLENTE	Ing. José Luz Hernández Castillo.	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Pedro Guzmán Tinaiero.	



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES  
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Instalación Eléctrica para la puesta en marcha de la Planta de Soplado de PFT para la Industria  
Refresquera.

que presenta El pasante: Felipe Sánchez Jiménez.  
con número de cuenta: 08203049-6 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 3 de Diciembre de 2001.

PRESIDENTE	Ing. José Juan Contreras Espinosa.	
VOCAL	Ing. Esteban Corona Escamilla.	
SECRETARIO	Ing. Ramón Osorio Galicia.	
PRIMER SUPLENTE	Ing. José Luz Hernández Castillo.	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Pedro Guzmán Tinajero.	



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
CUAUTITLAN

DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Instalación Eléctrica para la puesta en marcha de la Planta de Soplado de PFT para la Industria  
Refresquera.

que presenta El pasante: Juan Antonio Valera Morales.  
con número de cuenta: 08205051-9 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 3 de Diciembre de 2001.

PRESIDENTE Ing. José Juan Contreras Espinosa.

VOCAL Ing. Esteban Corona Escamilla.

SECRETARIO Ing. Ramón Osorio Galicia.

PRIMER SUPLENTE Ing. José Luz Hernández Castillo.

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Pedro Guzmán Tinaiero.

## **AGRADECIMIENTOS.**

- **A mis padres Julio Ramírez Rivas, Avelina Sandoval Quintero y a mis hermanos. En especial a mi hermano Jorge Ramírez que gracias a su ayuda y apoyo me motivo a seguir adelante y concluir lo que había empezado.**

**Alfredo Ramírez Sandoval.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

- **A mis padres Fernando A. Sánchez Contreras, Lucía Jiménez Lozano que me dieron el apoyo moral y económico.**
- **A mis hermanos Heriberto, José Luis y Erika por su apoyo en mis decisiones.**
- **A mi esposa Guadalupe García Juárez que me ha apoyado y motivado para finalizar lo que había iniciado y a mi hija Vicky que vino a dar una luz de esperanza y alegría en mi vida.**

**Felipe Sánchez Jiménez.**

## **AGRADECIMIENTOS:**

- **A mis padres por su apoyo y su gran ejemplo de esfuerzo constante.**
- **A mi tía Marce por su paciencia y cariño.**
- **A mis hermanos, Socorro, Guadalupe, Efrén, Manuel y Laura por su apoyo.**
- **A mi esposa e hijo por su motivación y ejemplo.**
- **A mi amigo Felipe por su apoyo y perseverancia.**

Juan Antonio Valera Morales.

# **INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE SOPLADO DE PET PARA LA INDUSTRIA REFRESQUERA.**

<b>INTRODUCCION.</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.</b>	<b>2</b>
<b>1. QUE ES EL PET.</b>	<b>3</b>
1.1 Historia del PET.	3
1.2 Que es y como se fabrica el PET.	5
1.3 Proceso de secado.	13
1.3.1 Secado del PET.	17
1.4 Empaque, almacenaje y distribución del PET.	22
1.4.1 Empaque.	22
1.4.2 Almacenaje.	24
1.4.3 Distribución.	25
<b>2. PREFORMAS Y SOPLADO.</b>	<b>29</b>
2.1 Preformas	29
2.2 Inyección de preformas.	36
<b>3. FABRICACION DE BOTELLAS.</b>	<b>41</b>
3.1 Soplado de preformas.	41
3.2 Definición de botella.	43
3.3 Fabricación de envases de PET.	44

3.4	Especificaciones y dimensiones de la fabricación de la botella.	46
3.5	Agrietamiento por esfuerzo.	57
4.	<b>PROYECTO ELECTRICO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.</b>	68
4. 1	Instalación de baja tensión.	68
4.1.1	Alicance de los trabajos.	68
4.1.2	Especificaciones generales de materiales.	70
4.1.3	Especificaciones particulares.	75
4.1.4	Procedimientos de ejecución.	79
4.1.5	Pruebas de operación de accesorios, instalados por el contratista.	85
4.2	Memoria mecánica de la planta.	86
4.2.1	Fallas trifásicas equilibradas.	86
4.2.2	Metodología para el calculo de la corriente de cortocircuito.	88
4.2.2.1	calculo de la corriente de falla de tensión media.	102
4.2.3	Calculo de la memoria mecánica.	119
4.2.4	Medición de resistencia de tierra.	132
4.3.	Instalación de alta tensión.	137
4.3.1	Subestación eléctrica.	137
4.3.2	Descripción de la Subestación.	139
4.3.3	Transformador principal de 1000 KVA.	146
4.3.4	Memoria mecánica.	147
4.4	Accesorios.	151

4.5	Normas.	172
	4.5.1 Normas de la instalación.	172
	4.5.2 Normas Mexicanas para instalaciones eléctricas.	174
 <b>PLANOS.</b>		 180
	PLANO A. (DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL)	181
	PLANO B. (DISTRIBUCION DE FUERZA Y CONTACTOS EN PLANTA, PRODUCCION)	182
	PLANO C. (GENERAL DE ALUMBRADO Y CONTACTOS)	183
	PLANO D. (SUBESTACION COMPACTA, SERVICIO INTERNO, NEMA 1 TENSION DE SERVICIO, 34.5 KVA, 3F, 60 HZ, 400 A. ARREGLO GENERAL Y DIAGRAMA UNIFILAR ).	184
 <b>CONCLUSIONES.</b>		 185
 <b>BIBLIOGRAFIA.</b>		 186

# INTRODUCCION.

El reto que enfrenta hoy en día toda planta industrial, pública y privada, es mayor eficiencia y calidad competitiva; ante esto y considerando la actual situación económica, contar con especialistas capaces de hacerse cargo de proyectos nuevos, ampliaciones, mejoras urgentes e indispensables, capacitación y mantenimiento preventivo y correctivo, es un obstáculo importante de superar ante las exigencias de la modernidad y apertura internacional. Dentro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán es importante tener este tipo de visión, dado que la preparación del alumnado debe de tener la capacidad de enfrentar los nuevos obstáculos, los nuevos problemas y sus soluciones. Esta tesis tiene como objetivo presentar una instalación eléctrica acorde a las nuevas necesidades y así hacer una guía de consulta a los alumnos de la Facultad.

El adelanto de la tecnología, que se debe principalmente al nacimiento de nuevos materiales, maquinas aparatos, instrumentos, sistemas y nuevas normas para las instalaciones eléctricas industriales, de tal forma, que en la actualidad, el montador tiene a la mano nuevas herramientas y mayores facilidades para su trabajo. En la INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE SOPLADO DE PET PARA LA INDUSTRIA REFRESQUERA se mencionara los materiales y equipos mas actualizados según las normas que se han establecido hoy en día. Además de incluir las memorias de calculo de las instalaciones eléctricas de baja y alta tensión de la planta y de los planos de la misma.

Por otro lado, la tecnología ha venido evolucionando a lo largo de nuestra historia, de tal manera que los recursos naturales han sido llevados a procesos de transformación cada vez mas complicados y acelerados. El petróleo (PEMEX) es uno de nuestros recursos mas importantes a nivel mundial a el cual se le puede extraer una variedad de productos.

PEMEX es la empresa más grande de México y una de las diez más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de ingresos. Con base en el nivel de reservas y su capacidad de extracción y refinación, se encuentra entre las cinco compañías petroleras más importantes a nivel mundial. Las actividades de PEMEX abarcan la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos.

El proceso y tratamiento de los hidrocarburos ha dado como resultado diversos productos plásticos como el PET (Polietilentereftalato) que es un tipo de plástico. De modo muy genérico, podríamos describirlos plásticos como un estado de la materia intermedio entre los sólidos y los líquidos, cuya característica principal es la de estar formados por moléculas engarzadas en largas cadenas que, a su vez, se enredan entre sí. El proceso por el cual las moléculas se engarzan entre sí se denomina polimerización. En el caso del PET esta reacción de polimerización se denomina policondensación.

Si bien es cierto que el título de la tesis habla de instalación eléctrica, fue necesario hablar ampliamente del PET como producto de la nueva tecnología, siendo además parte de nuestros objetivos.

## **OBJETIVOS:**

### **1. PROPORCIONAR UNA AMPLIA Y ACTUALIZADA INFORMACIÓN AL ALUMNADO DE LA FES-C, DE LO SIGUIENTE:**

- 1.1 Historia del descubrimiento del PET.
- 1.2 Métodos de obtención del PET.
- 1.3 Procesos de transformación del PET.
- 1.4 Ventajas del PET, con respecto a otros productos.
- 1.5 El PET y los efectos al medio ambiente.

### **2. LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA, NOS PROPORCIONARA EL DESARROLLO DE LA TEORÍA VISTA EN LA CARRERA, REFIRIÉNDONOS A LOS SIGUIENTES PUNTOS:**

- 2.1 Diseño de la instalación.
- 2.2 Diagramas y planos unifilares.
- 2.3 Subestación de alta tensión.
- 2.4 Instalación de baja tensión.
- 2.5 Normas de instalación

# 1. QUE ES EL PET.

## 1.1 HISTORIA DEL PET.

El PET (Polietilentereftalato) es un tipo de plástico. De modo muy genérico, podríamos describirlos plásticos como un estado de la materia intermedio entre los sólidos y los líquidos, cuya característica principal es la de estar formados por moléculas engarzadas en largas cadenas que, a su vez, se enredan entre sí. El proceso por el cual las moléculas se engarzan entre sí se denomina polimerización. En el caso del PET esta reacción de polimerización se denomina policondensación.

A los materiales surgidos de la policondensación de un ácido y alcohol se les denomina poliesteres. El poliester se define técnicamente, según las normas ISO y UNE, como un "polimero de macromoléculas lineales cuya cadena contiene un 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico". En el caso del PET el diol es el monoetilenglicol. Tanto este último como el mencionado ácido tereftálico provienen del petróleo, lo que nos permite asegurar que el PET es casi en un 100% un producto petrolífero.

Hay que destacar dos aspectos primordiales para evitar confusiones: El primero es la pertenencia del PET a la familia de los poliesteres saturados o termoplásticos que tienen poco o nada que ver con los poliesteres insaturados o termoestables (no funden con la temperatura), que son muy conocidos por su utilización como laminas corrugadas para tejados en combinación con fibra de vidrio.

El segundo aspecto es el de la cristalinidad (que no debe confundirse con la transparencia). En función del nivel de ordenación de las cadenas de moléculas se obtienen diferentes grados de cristalinidad.

Así un PET totalmente cristalino presenta estas cadenas perfectamente ordenadas, lo que le confiere una elevada resistencia mecánica térmica, mostrando un color blanco-marfil opaco. Si por el contrario, el PET presenta estas cadenas totalmente desordenadas, nos hallamos ante un PET amorfo cuya principal característica es su gran transparencia, en detrimento de sus propiedades térmicas y mecánicas.

El PET se descubrió en 1940 en Inglaterra pero no fue desarrollado comercialmente hasta 1947. Los poliesteres son hoy los plásticos de mayor producción en el mundo y de mayor crecimiento de consumo. En 1997 se produjeron un nivel mundial un total aproximado de 21 millones de toneladas, esperándose que para el 2007 el consumo mundial supere los 36,5 millones.

El PET es un material termoplástico, lo que significa que puede fundirse o solidificarse en función de la temperatura. Existe un número muy amplio de aditivos y de procesos posteriores a la policondensación que se introducen en el proceso de fabricación, según el uso al que este destinado el material, a fin de mejorar sus propiedades y ampliar el número de aplicaciones.

Las más importantes líneas de productos de PET son tres: el PET de grado textil, el PET de grado botella y el PET de grado film.

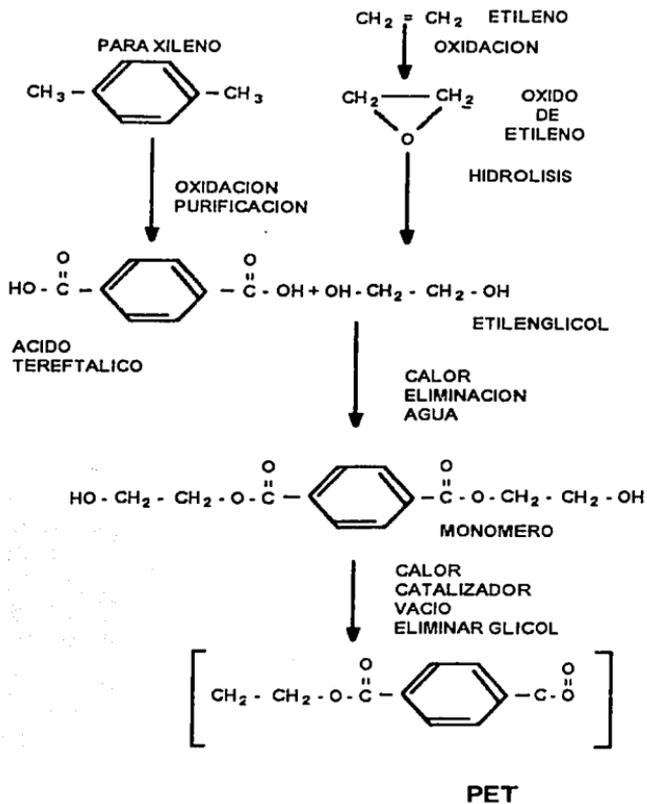
Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector. Su más reciente y exitosa aplicación han sido en el envasado de aguas minerales, habiendo copado prácticamente el mercado en detrimento del PVC.

También se ha comenzado a utilizar el PET para el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel... su próximo reto es el envasado de leche y, sobre todo de cerveza, mercados donde ya se han emprendido pequeñas pero decididas aproximaciones.

El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film: en la práctica, todas las películas fotográficas, de rayos X, de videos y de audio están hechas de PET.



**TERCEL RESINA PET  
QUIMICA DEL PROCESO**



El descubrimiento del polietilenteraftalato, mejor conocido como PET fue patentado como un polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941. La producción comercial de fibra poliéster se inició en 1955, desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto grado de sofisticación basado en el espectacular crecimiento del producto a escala mundial y la diversificación de sus posibilidades. Además de su expansión en una amplia gama de películas, el PET recientemente ha presentado un significativo progreso en el campo de las aplicaciones como material para la fabricación de botellas y envases en los que se manejan una gran variedad de productos como bebidas carbonatadas, licores cerveza, sidras, etc.

En este caso, el producto se identifica como TERCEL RESINA PET, que produce Celanese Mexicana, S.A. contando con la misma tecnología de fabricación y servicio de la Imperial Chemical Industries (ICI) de Inglaterra.

## GENERALIDADES.

Existen dos reacciones básicas para la obtención del poliéster:

Acido Tereftálico + Etilén Glicol.  $\longrightarrow$  Ester Tereftálico + agua.

O bien.

Tereftalato de dimetiló + Etilén Glicol  $\longrightarrow$  Ester Tereftálico + Metanol.

Finalmente.

Ester Tereftálico  $\xrightarrow[\text{Catalizador.}]{\text{calor}}$  PET + Etilén Glicol.

## ACIDO TEREFTALICO:

El ácido tereftálico se elabora totalmente en México a partir del paraxileno, materia prima que produce PEMEX quien abastece a los dos fabricantes en México: Petrocel y Tereftalatos Mexicanos.

## MONOTILENO GLICOL:

El reactivo limitante en la reacción de esterificación para la producción de poliéster es el monoetilén Glicol, que se obtiene a partir del óxido de etileno que produce también Petróleos Mexicanos.

En términos químicos, el camino más simple para la obtención del PET es la reacción directa (Esterificación) del ácido tereftálico con el etilenglicol formando un "monómero" (bis-8-hidroxietil tereftalato) un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas. Mientras que la reacción de esterificación tiene lugar, con la eliminación del agua como subproducto. La fase de policondensación que se efectúa en condiciones de alto vacío, libera una molécula de glicol cada vez que la cadena se alarga por unidad repetida. Conforme la cadena va alargándose, existe un aumento en el peso molecular, el cual va acompañado por un aumento de la viscosidad de la masa y otras ventajas asociadas proporcionando así una mayor resistencia mecánica.

La calidad final de un polímero sintético depende en gran parte de la calidad de su monómero y dado que no es práctico purificar el monómero de tereftalato, la pureza química de su inmediato precursor es de gran importancia. En este contexto, el etilenglicol no presenta problema, pero el ácido tereftálico, al ser un sólido limita la elección de la tecnología de purificación. No obstante, una vez resuelto este problema, ya que el ácido tereftálico, al ser un sólido limita la elección de la tecnología de purificación. No obstante, una vez resuelto este problema, ya que el ácido tereftálico de gran pureza se convierte en un producto comercial, la necesidad inicial de utilizar dimetiltereftalato puede evitarse por lo que las fases del proceso quedan simplificadas.

Una vez que la longitud de cadena es suficientemente larga, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en un polietizador y se obtiene así el granulado.

Este granulado presenta las siguientes características:

1. Es amorfo.
2. Posee un alto contenido de acetaldehído.
3. Presenta un bajo peso molecular.

Estas tres variables limita el uso del PET en la fabricación de botellas, por lo que se hace necesario hacer pasar al granulado por una última fase, conocida como fase de polarización sólida, que es donde el granulado se calienta en una atmósfera interna y por ello pueden ser mejoradas estas tres propiedades en forma simultánea, lo cual se traduce en una mayor facilidad

y eficiencia del secado y moldeado de la preforma o bien durante la producción y la calidad de la botella misma.

Los "Politereftalatos" de etileno (PET o PETP) de un peso molecular medio o eventualmente elevado 25 a 50000, son los más utilizados para la producción de botellas biorientadas.

El PETG es un copoliéster utilizado para la extrusión-soplado de botellas no biorientadas.

El PETB, politereftalato de butileno, es esencialmente utilizado para la inyección-moldeado de piezas mecánicas (automóviles).

El método más simple de producción de PET consiste en una reacción directa del ácido tereftálico con el etileno glicol para formar un monómero. Se somete el monómero a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga (PET).

#### DESCRIPCIÓN DE LA RESINA

Se presenta en la forma de granulados cilíndricos, paralelepípedos o cúbicos de volumen de 30 a 40 mm<sup>3</sup> por una densidad aparente de 0.80 a 0,90 kg/dm<sup>3</sup>.

1. Es un producto semi-cristalino
2. Su temperatura de transición vítrea es de 75 a 80° C, según las resinas.
3. La temperatura de fusión de los cristalitos es alrededor de 250 °C, según las resinas; se transforman entre 260 y 290° C.
4. Son higroscópicas y necesitan precauciones para su almacenamiento y secado eficaz antes de estar transformadas.
5. El contenido residual y la formación del acetaldehído durante la extrusión, inyección hace su proceso difícil.

Un continente de buena transparencia tiene generalmente la orientación y resistencia deseadas si la preforma y el continente ha sido concebido correctamente.

## PRINCIPALES PRODUCTORES DE RESINA.

TABLA 1.1. HOECHST-ICI - AKZO-EASTMAN KODAK-GOODYEAR-DOW CHMCAL.

DENOMINACION COMERCIAL	PET PARA OTRAS UTILIZACIONES DE BOTELLAS	PET PARA BOTELLAS
ICI DUPONT HOECHST KALLE AKZO EASTMAN KODAK GOODYEAR DOW CHEMICAL	TERYLENE DACRON TREVIRA  TENITE  LUREX	MELINEX O MELINAR MYLAR  HOSTAPHAN ARNITE A O D KODAPAK

### PROPIEDADES DE LAS BOTELLAS EN PET BIORIENTADA.

- a) Transparencia y brillantez perfecta.
- b) Buenas cualidades mecánicas y de resistencia a los choques.
- c) Buena resistencia química.
- d) Buena estabilidad dimensional a temperatura normal (20 a 30° C).
- e) Ligereza.
- f) Impermeabilidad a los gases bastante buena.

### DEFINICION DE LOS TERMINOS UTILIZADOS EN LA TRANSFORMACION DEL PET.

#### DENSIDAD DE LA MATERIA:

En la densidad del producto al estado máximo de cristalinidad es de 1.4 kg/dm<sup>3</sup>.

Para el cálculo del peso de una preforma, se debe tener en cuenta la densidad bajo presión y la temperatura debe ser de 1.28 a 1.35 kg/dm<sup>3</sup>. Sin embargo, se pueden encontrar limitaciones prácticas referentes a las cadencias del moldeado con la utilización de resinas de baja viscosidad.

Relaciones de estirado muy superiores a los naturales del estirado biaxial, son necesarios únicamente para la fabricación de botellas que requieren gran rigidez como para el acondicionamiento de bebidas con gas.

La orientación molecular es el resultado del estirado aplicado a la materia plástica dentro de condiciones de geometría, temperatura y tiempo bien definido. Es importante disociar el estirado y la biorientación.

La gama de temperaturas de estirado más apropiadas son entre 90 y 110° C, se suscitara precisamente encima de la transición vítrea porque todos los polímeros amorfos se portan como cauchos en una zona más o menos larga.

La velocidad de estirado deberá ser suficientemente elevada referente a las características de relajación del polímero para evitar la desorientación del polímero durante su estirado y su enfriamiento hasta temperaturas inferiores a la transición vítrea.

La relación de estirado será evidentemente la más alta posible debido a las posibilidades ofrecidas por el mismo polímero (elongación a la rotura por ejemplo) y por el dispositivo de estirado (fuerza necesaria para asegurar la deformación).

#### OXIDACION:

PET Calor y oxígeno PET oxidado. (Amarillento).

Consecuencias: Material descolorado.

Prevención: Optimizar tiempo y temperatura del lavado, (sin comprometer el lavado).

#### HIDROLISIS:

El PET tamaño IV + H<sub>2</sub>O, calor de fusión = PET IV bajo.

Consecuencias: Pérdidas de propiedades mecánicas, propiedades de procesamiento y claridad.

Prevención: Minimizar humedad del PET antes del proceso.

## DEGRADACION TERMICA:

PET calor de fusión PET + AA(acetaldehído).

Consecuencias: Añade sabor a los productos empacados en las botellas.

Prevención: Minimizar tiempo y temperatura en la maquina de inyección.

## VISCOCIDAD INTRINSICA.

Medida del tamaño del polímero.

Directamente proporcional al peso molecular.

Medida de disolución del PET en ácido fólico.

Son las características que más los diferencian del poliéster.

## HOMOPOLIMEROS.

Están hechos a partir de TPA y EG únicamente, se cristalizan rápidamente. Tienen una proporción moderada de elasticidad, no pueden ser usadas en una pieza (botellas CSD).

## COPOLIMEROS.

Están hechos a partir de TPA, EG y un segundo ácido o glicol, cristalizan lentamente. Tienen una proporción de elasticidad natural más alta que los homopolímeros (permiten hacer formas difíciles). Proporcionan la mejor fuerza y resistencia al rompimiento.

### 1.3 PROCESO DEL SECADO DEL PET.

Un requisito esencial para el procesamiento de la resina de polietileno tereftalato (PET), es el control cuidadoso del secado del material.

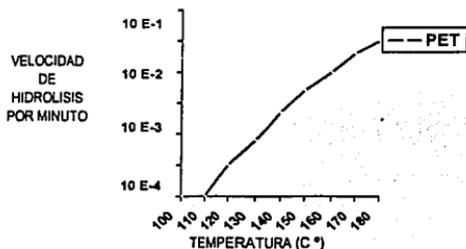
El PET en forma sólida, absorbe humedad del medio ambiente (semejante a un desecante) así, durante el almacenaje, la resina absorberá humedad hasta alcanzar el equilibrio. Este valor puede ser tan alto como 0.6 % en peso, dependiendo de las condiciones del lugar donde sea almacenado. En la práctica TERCEL no absorbe niveles de humedad mayores a 0.24% en peso. Si se mantiene en un lugar cubierto y durante periodos cortos de tiempo.

Sin embargo, para fabricar un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 partes por millón) y de ser posible hasta 30 ppm, antes de inyectar el material.

La razón para esto, es que a temperatura arriba del punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo su peso molecular así como sus propiedades características.

La hidrólisis puede ocurrir en el sólido desde temperaturas tan bajas como 150 °C aunque a poca velocidad. A medida que la temperatura se incrementa, la velocidad de hidrólisis también aumenta, tal y como se muestra en la Figura 1.1.

FIGURA 1.1. HIDROLISIS DE PET

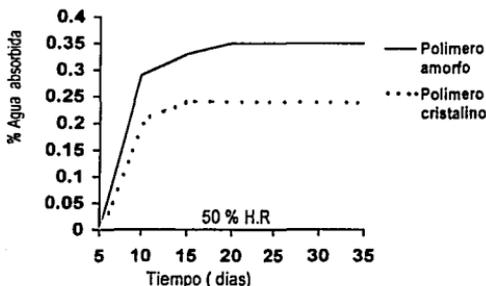


Existe sin embargo, un límite de temperatura máxima de secado sin causar una caída excesiva de viscosidad intrínseca V.I. En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 145 y 150 °C.

## ABSORCION DE HUMEDAD.

Como ya se indico, existe absorción de humedad del medio ambiente tan pronto como el granulado de PET sale del proceso final de su elaboración. La velocidad de absorción depende de cuatro factores para un tamaño específico de recorte. Estas son: Tiempo, temperatura, humedad atmosférica (punto de recio) y la cristalinidad del chip. El PET amorfo absorbe humedad mas rápidamente que el PET cristalino. En este sentido, la alta cristalinidad natural del TERCEL (> 50 %), confiere una reducción en la velocidad de absorción de humedad, bajo ciertas condiciones, tal y como se indica en la Figura 1.2.

FIGURA 1.2. ABSORCION DE HUMEDAD DEL PET.



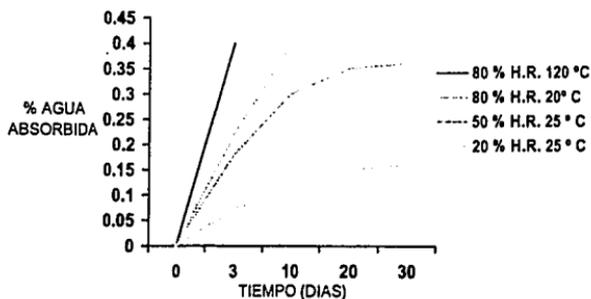
La Figura 1.3 ilustra la influencia de la temperatura y humedad del medio ambiente sobre la humedad absorbida así como la necesidad de tener cuidado con el almacenaje, el cual de preferencia debe ser bajo cubierta.

## ELIMINACION DE HUMEDAD – PROCESO DE DIFUSION.

El proceso inverso a la absorción de humedad, es sin duda el secado. En el caso de PET, la humedad contenida no solo se encuentra en la superficie si no también absorbida por el granulado al introducirse en el interior de este por difusión, de aquí que el secado del PET difiera de otros procesos, donde solo la humedad superficial tiene que ser eliminada.

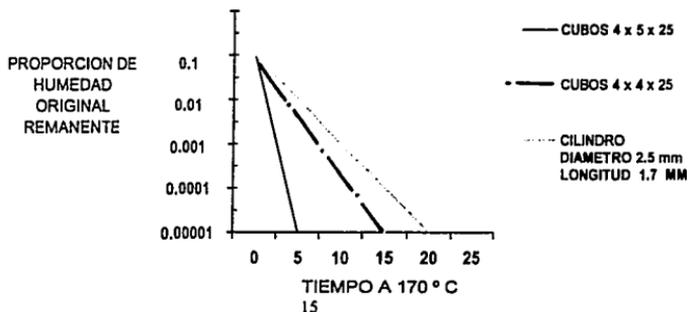
Debido a esta penetración de humedad, se requiere un tiempo relativamente largo de secado a temperaturas elevadas de operación.

FIGURA 1.3. INFLUENCIA DE TEMPERATURA SOBRE LA HUMEDAD ABSORBIDA



Por otro lado la estructura y tamaño del granulado, influye en la velocidad del secado, siendo la forma cilíndrica de TERCEL óptima para ayudar a la eliminación de humedad tal y como se indica en la Figura 1.4. Esto se debe a que el peso que controla el proceso de dehumidificación, es el de difusión de agua a través del chip hasta su superficie el cual se puede minimizar con menor tamaño de granulado y con un diseño que aumenta el área superficial de contacto del chip con el aire de secado.

FIGURA 1.4. EFECTO DE LA FORMA DEL CHIP SECADO DE PET A 170° C



Los otros dos tipos de transferencia de masa que ocurren en el secado de PET son:

- a. La transferencia de agua a través del sistema binario sólido/gas.
- b. La difusión de vapor de agua dentro de la atmósfera o medio que la rodea.

Una precaución adicional debe ser considerada con respecto al manejo previo del chip secado antes de la inyección. Como ya se menciona, el PET es un descante el cual aumenta su capacidad para captar humedad cuando se incrementa la temperatura. El poliestero seco y caliente puede ganar humedad a una velocidad de 5 a 10 ppm por segundo en contacto con aire ambiental, por lo que es esencial que el manejo de chip seco se efectúa con aire cuyo punto de rocío no sea mayor al que tiene el aire de secado. Por lo anterior se recomienda contar con algún equipo de prueba para determinar el contenido de humedad retenida en el material.

## EQUIPO DE SECADO.

El análisis hasta aquí efectuado sobre el secado de PET nos lleva a requerir de un equipo capaz de generar un gas (aire o nitrógeno) con un bajo punto de rocío, con control de temperatura utilizando un proceso mecánico que garantice una variación mínima de temperatura entre el granulado individual y el contacto efectivo gas/sólido. La selección puede ser entre una operación batch o en continuo. Los secadores tipo batch ya sea con cama fluidizada o por métodos rotatorios, tienen la desventaja de variar de batch a batch provocando cambios potenciales en las características del producto. Además el costo del equipo es incrementado debido a la necesidad de adquirir en forma adicional la tolva de sostenimiento. Los secadores de proceso continuo tipo columna con movimiento vertical, son usados por algunas compañías, obteniendo buenos resultados en la operación así como en el costo. Los puntos esenciales en la selección de este tipo de secador son asegurar un buen flujo del polímero, distribución uniforme del gas a través del polímero y obtener un gradiente mínimo de temperatura entre la longitud y radio de la columna. Debido a que TERCEL esta ya cristalizado, no se requiere de un precristalizador antes del secado tal como se requiere con el polímero amorfo.

### 1.3.1 SECADO DEL PET.

#### REQUERIMIENTOS CLAVES E IMPLICACIONES PRACTICAS.

A continuación se presentan los aspectos más importantes para un buen proceso de secado así como los problemas prácticos y los aspectos que deben ser considerados para augurar un proceso confiable y eficiente.

#### REQUERIMIENTOS CLAVES PARA UN SECADO COMFIABLE.

1. Temperatura correcta de secado.

- La temperatura del chip deberá estar entre 145 y 150 ° C.

2. Temperatura correcta del aire de secado.

- Esta no debe exceder de 180 ° C, medido a la entrada del aire del secador.

3. Punto de rocío correcto del aire de secado.

- Este no deberá ser mayor de - 30 ° C, siendo recomendable en la practica valores menores o iguales a - 40 ° C medido a la entrada del secador.

4. Adecuado flujo de aire de secado a través del chip.

- Muchos secadores operan con flujos de aire de un pie<sup>3</sup> / min. Para 1 Lb / hr de chip inyectado como requerimiento mínimo. Obviamente del flujo de aire debe tener la temperatura y punto de rocío.

5. Tiempo de residencia del chip (tiempo de secado).

- Canalese Mexicana, S.A. recomienda que el tiempo de residencia para la resina PET TERCEL no sea menor a 4 horas, siendo común trabajar entre 6 y 8 horas. El tiempo de

secado teórico puede ser calculado dividiendo la capacidad del secador (Kg) entre la productividad de la maquina (Kg/hr).

## **PRINCIPALES PROBLEMAS QUE DEBEN SER CONSIDERADOS.**

En una operación eficiente, con un buen cumplimiento de los requerimientos básicos del secado, los problemas deben de ser mínimos, sin embargo, los siguientes puntos deben ser considerados:

### **1. Filtro de aire.**

La limpieza de los filtros en forma rutinaria es esencial. Los filtros protegen el desecante del polvo; se debe tener mucho cuidado para no dañar los filtros, lo que disminuirá su eficiencia en el secado.

### **2. Mal funcionamiento.**

Si ocurre algún bloqueo o falla mecánica del enfriador del aire, se provoca una pérdida de la eficiencia en la capacidad de regeneración del desecante, incrementándose el punto de rocío y disminuyendo su capacidad de captación de humedad.

### **3. Falla de calentador.**

Las fallas en el calentador de aire pueden presentarse debido a:

- a) incapacidad para alcanzar la temperatura correcta de secado y/o.
- b) incapacidad para alcanzar la temperatura adecuada para la regeneración del desecante.

### **4. Ingreso del aire ambiente.**

Este se aplica particularmente a sistemas que emplean succión para transportar el chip. El aire del medio ambiente siempre estará húmedo comparado con el gas de secado. Si alguna cantidad de este aire es introducido en el sistema, se producirá una variación en el punto de rocío y por lo tanto en la eficiencia del secado. Bajo estas circunstancias, en el caso de remover un componente del secador, se debe tener cuidado al reensamblar la parte, colocando empaques adecuados y probando el sistema contra fugas.

## 5. Transporte del chip seco.

Si el secador no está colocado encima del inyector, es esencial que los gránulos de PET sean transportados con aire seco con una temperatura y punto de rocío equivalente al gas de secado. De no hacerlo así puede provocar la humidificación del granulado con los subsecuentes efectos negativos sobre su procesamiento, claridad del producto y degradación hidrolítica.

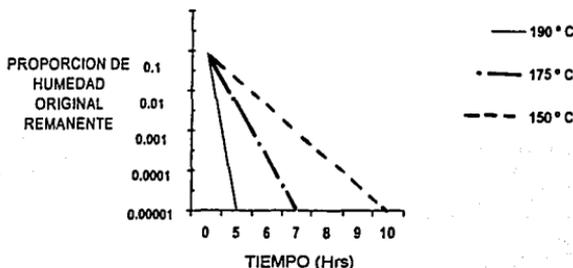
### IMPLICACIONES PRACTICAS.

Ante todo es importante seguir las instrucciones operativas sugeridas por el proveedor del equipo. Se deben llevar a cabo los programas de mantenimiento, los cuales están basados en una amplia experiencia. Las fallas en el equipo pueden provocar un secado ineficiente, produciendo preformas y botellas fuera de especificación así como incremento en los costos de operación. En este sentido, un flujo de gas con bajo punto de rocío es normalmente utilizado, el cual además de mantener un diferencial en la presión parcial del agua entre la fase sólida y gaseosa, también provee de la transferencia de calor requerido en la dehumidificación. De los tres tipos de transferencia de masa involucrada, el de difusión resulta ser el que controla el proceso debido a que es el que se efectúa a mucho menor velocidad.

Otros parámetros que influyen en la velocidad de secado son la humedad y temperatura del gas utilizado tal y como se indica en la Figura. 1.5 en donde se observa un incremento de la velocidad a temperaturas elevadas. Este resultado sin embargo, no es suficiente para asumir que se tienen las mejores condiciones de operación en el secado del material.

La influencia de la humedad y temperatura del gas de secado es mucho más compleja teniendo efectos significativos sobre la estructura química y propiedades finales de la resina debido a una degradación potencial del material por los procesos térmicos y de hidrólisis.

FIGURA 1.5. EFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO DE HUMEDAD REMOVIDA



## REQUERIMIENTO DEL GAS DE SECADO.

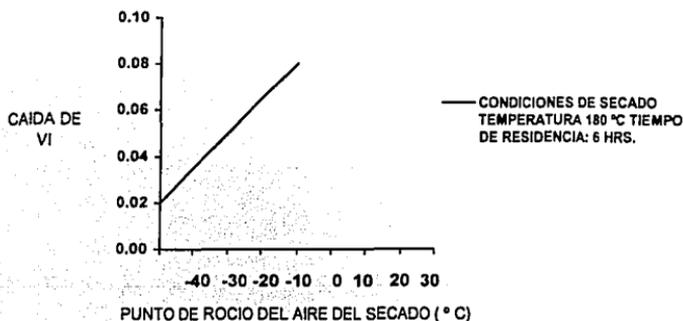
Como ya se menciona, la velocidad en el proceso de hidrólisis con la consecuente reducción de la viscosidad intrínseca se incrementa a temperaturas arriba de 150 ° C y si el proceso de transferencia de calor es más rápido que el proceso de difusión, el secado puede ser una desventaja en la operación.

Adicionalmente, la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180 ° C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa en donde se rompen las cadenas del polímero produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas. Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído y cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquesina en las preformas debido a la disminución de V.I., así como una tonalidad amarillenta producida por la degradación.

TERCEL esta formulado para minimizar cualquiera de estos cambios. No obstante, se recomienda efectuar el secado entre 145 y 150 ° C. Con un tiempo entre 4 y 8 horas. Hasta lograr que el contenido de humedad del chip sea de un máximo de 40 ppm. Estas condiciones minimizaran las interacciones entre los procesos involucrados.

La influencia de la humedad del gas de secado a una temperatura dada es un factor que debe ser también considerado tal y como se indica en la Figura 1.6.

FIGURA 1.6. DEPENDENCIA DE LA CAIDA DE VISCOSIDAD INTRINSECA VI (HIDRÓLISIS DEL PET) CON EL PUNTO DE ROCIO.

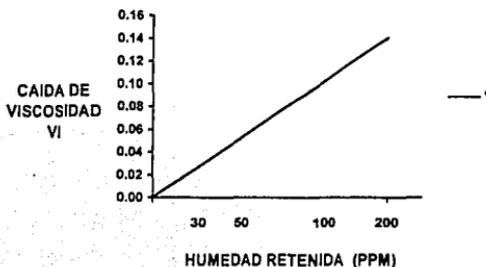


De aquí se puede observar que el punto de rocío, el cual es una medida indirecta del contenido de humedad del gas de secado, debe ser menor a  $-30^{\circ}\text{C}$ , condición que evita una elevada caída de viscosidad sin disminuir la eficiencia del secado. En la práctica, el punto de rocío comúnmente usado para el aire es de  $-40^{\circ}\text{C}$ .

#### HUMEDAD RETENIDA EN EL CHIP DE SECADO.

La importancia de la eliminación de humedad, es mostrada mediante un cálculo teórico en donde se obtienen una pérdida de V.I. de 0.01 casi en forma instantánea, pero cada 16 ppm de humedad retenida en PET fundido. TERCEL esta formulado para permitir esta variación sin causar una disminución significativa en las propiedades físicas.

FIGURA 1.7. RELACION ENTRE CAIDA DE VISCOSIDAD Y HUMEDAD RELATIVA



## 1.4 EMPAQUE, ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DEL PET.

### 1.4.1 EMPAQUE.

Describiremos los tipos de empaque, distribución y condiciones de almacenamiento recomendadas para la resina PET "tercel". La resina PET "tercel" es distribuida por Celanese Mexicana, S.A. en sacos, bolsas jumbo y a granel. Actualmente llamada KOSA.

#### SACOS.

Uno de los empaques utilizados para la venta de resina PET "tercel", son sacos de 25 kg. Su estructura esta constituida por 4 capas de papel Kraft y un liner de PE en su interior, lo cual le proporciona alta resistencia y consistencia, ayudando así a su manejo y estiba. Sus dimensiones son de 40x70x13 cm cuando el saco esta lleno, siendo diseñado con una válvula de descarga en uno de los extremos para facilitar el acceso del material. Por las características de este empaque, es conveniente que los sacos sean almacenados en lugares cerrados sobre tarimas, evitando que se ensucien o se mojen. El uso de sacos es recomendable en compañías en donde no cuentan con montacargas, zona de descarga al nivel de la plataforma del vehiculo o bien en donde los espacios en la planta para el manejo y almacenamiento del material son reducidos, de tal manera, que los sacos resultan una buena elección.

#### BOLSAS JUMBO.

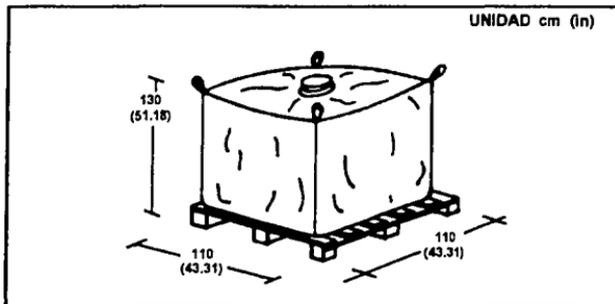


FIGURA 1.8. SACOS JUMBO.

La capacidad nominal de estas bolsas es de 1000 Kg aunque puede haber variaciones si el cliente lo solicita. La bolsa jumbo estándar está hecha de rafia de polipropileno que es un material fuerte y flexible de alta resistencia, llevando en su interior una bolsa de PE que aísla el material del exterior. Adicionalmente para proteger las bolsas jumbo del polvo, se les coloca una cubierta de PE la que se recomienda sea removida hasta el momento de su uso. Las dimensiones y diseño de la bolsa llena, aparecen en el esquema de la Figura 1.8. Para facilitar el manejo, las bolsas jumbo pueden ser distribuidas con o sin tarimas.

#### DESCARGA DEL MATERIAL.

En el caso de las bolsas jumbo, la resina puede ser descargada por el fondo, a través de una media flexible, para evitar cualquier derrame figura 1.9-a, o bien, por la abertura superior de la bolsa, introduciendo en el centro de esta, una manguera unida a una punta metálica, siendo por succión el proceso requerido de descarga figura 1.9-b.

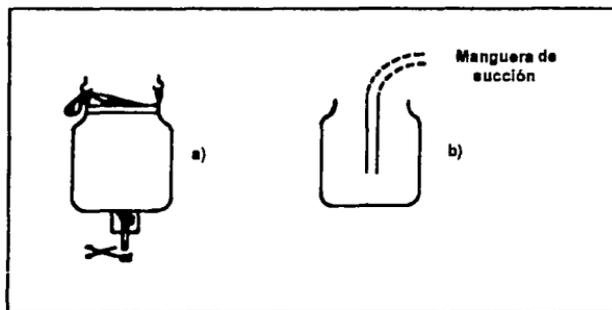


FIGURA 1.9. SISTEMA DE ALMACENAJE DEL PET.

En el proceso de descarga inferior, la bolsa debe ser suspendida, por lo que se deben considerar los siguientes puntos:

1. Sujetar la bolsa mediante las 4 presillas u orejas que tiene en las esquinas superiores. Con montacargas o grúa, use al menos dos ganchos (uno para dos orejas), ajustándolos en forma vertical o inclinados hacia dentro en el momento de la elevación.

2. Amarrar la bolsa de PE en la parte superior de la bolsa jumbo, para evitar que se resbale mientras se descarga el material.
3. Elevar cuidadosamente la bolsa jumbo y limpiar el fondo. Evitar tirones o movimientos bruscos, para no causar algún accidente.
4. Suspender la bolsa en posición centrada a la tolva o recipiente donde se haga la descarga.
5. Corte el listón que amarra la manga de descarga y saque la bolsa de PE.
6. Si es necesario, acomode la bolsa de PE y córtela del fondo.
7. Coloque la manga de plástico sobre la boca de la tolva o recipiente en donde se haga la descarga.
8. Cuidadosamente corte la grapa plástica que tiene la bolsa de PE y permita el flujo de la resina.
9. A medida que se vacíe la bolsa, súbala gradualmente para ayudar a la completa descarga del polímero.

## **1.4.2 ALMACENAJE.**

- a. Las bolsas Jumbo deben ser almacenadas en lugares cerrados, sobre tarimas para su fácil manejo. En largos periodos de almacenamiento, se recomienda cubrir las bolsas con lona o cubierta impermeable y opaca, protegiendo al producto.
- b. Almacenar el material lejos de cualquier fuente de calor, ya que esto puede afectar el material.
- c. Las bolsas Jumbo pueden ser apiladas con o sin tarima, siendo recomendable hasta 2 bolsas por estiba.
- d. Asegurarse que las tarimas estén libres de astillas o clavos que pueden rasgar las bolsas, causando derrame de material. Es recomendable colocar una tapa de cartón entre la tarima y la bolsa para mayor seguridad.

### **1.4.3 DISTRIBUCIÓN.**

Los sacos y bolsas Jumbo pueden ser distribuidos en camiones con reja (redila), o con caja cerrada.

Cuando el embarque se realiza en camión con reja, el material va perfectamente cubierto, evitando que se moje o se contamine en su transportación. En este caso, la descarga de las bolsas se realiza con montacargas a un lado del tractocamión, siendo fácil el acceso para bajar el material.

En el caso de camión con caja la descarga se hace a través de las puertas posteriores, el final del vehículo. Cuando el cliente cuenta con zona de descarga elevada, al nivel de la plataforma del vehículo, la descarga puede hacerse directamente con patín o montacargas de poca altura. Cuando la descarga se efectúa bajando primero el material del camión, las bolsas próximas a la puerta se mueven con montacargas, subsecuentemente, las bolsas de fondo de la caja, tienen que ser transportadas con un patín hasta la puerta donde serán tomadas por el montacargas.

### **MANEJO DE RESINAS A GRANEL.**

La resina PET "tercel" puede ser distribuida a granel; si el cliente lo solicita. Sin embargo, para asegurar que la resina llegue en buenas condiciones manteniendo la calidad del producto, los siguientes requisitos deben ser señalados:

### **VEHICULO DE TRANSPORTE.**

Considerando que la resina PET "Tercel" a granel es entregada la planta Celmex; el cliente debe de poseer o contratar carros-tanque o pipas destinadas exclusivamente para este servicio para eliminar cualquier posibilidad de contaminación. Las tolvas del carro-tanque deben de llegar a la planta libre de polvo o cualquier suciedad, sin humedad (100 % secas) y sin olor. En caso de estar sucias o con olores deberán sopletearse con aire o inclusive lavarse con agua o vapor, secándose posteriormente hasta asegurar su limpieza. La tolva debe ser de acero inoxidable 304 mínimo y 100 % hermética para evitar la introducción de agua en época de lluvias.

Para asegurar que el producto sea depositado adecuadamente en los silos de almacenamiento, las unidades deben estar equipadas con sistemas de descarga que sean capaces de soplar polímero de manera segura y efectivo. Velocidades arriba de 24 ton/hr son apropiadas para mover el material sin problemas. Se recomienda que los vehículos cuenten con conexiones y mangueras flexibles de 4 pulgadas de diámetro adecuadas para conectarse a las tuberías del silo, facilitando la descarga del material.

## ACCESO.

Debe considerarse una área lo suficientemente amplia para que los carros-tanques tengan un fácil acceso hasta donde se encuentren los silos de almacenamiento. La longitud y número de codos de las líneas que unen los vehículos con los silos, deben ser minimizados para eficientar el transporte del polímero. En este caso se recomienda tuberías de 4 pulgadas de diámetro y radios de curvatura de 1 metro.

## SILOS DE ALMACENAMIENTO DE RESINAS.

Aunque no existe un diseño especial de silo que se venda para esta aplicación, existen algunas características que el cliente debe considerar para la construcción o acondicionamiento de los silos que utilice:

- a. Tener una estructura segura.
- b. Proteger la materia prima recibida a granel contra alguna contaminación, introducción de agua de lluvia, corrosión, condensación o introducción de aves o insectos.
- c. Tener la capacidad suficiente que satisfaga los requerimientos de la planta mientras llega nuevo material así como futuros incrementos de producción.
- d. Tener un flujo de material óptimo que evite problemas en la transportación.
- e. Considerar salidas alternativas del polímero en caso de introducción accidental de algún contaminante que pueda ser evacuado con facilidad.
- f. Fácil mantenimiento.

Los materiales de construcción son variables. Es común encontrar silos fabricados de aluminio, acero al carbón recubiertos con resina epoxica, acero inoxidable, plásticos reforzados con fibra de vidrio así como PVC con poliuretano en su interior.

En el caso de silos prefabricados se debe considerar sin dimensiones externas ya que están limitadas en función de su facilidad de manejo y transporte.

Silos largos y estrechos son difíciles de mover por lo que se sugiere en estos casos incrementar el diámetro, dando una capacidad equivalente.

El fabricante de silos debe incluir en su entrega, una especificación de diseño en donde se considere:

- a. Sistema de carga neumática.
- b. Diseño de la zona de carga de material.
- c. Diseño del cono inferior.
- d. Respiraderos.
- e. Mirillas.
- f. Entrada y salida de personal en caso de reparación o limpieza.

Proveedores bien establecidos que pueden dar asesoría y ofrecer el equipo más conveniente que cubra las necesidades requeridas por el cliente.

#### **DETALLES DE INSTALACION Y OPERACIÓN:**

- a. Cada silo debe ser conectado a tierra con una resistencia máxima de 10 ohms. Esto es particularmente importante cuando se introduce personal dentro del silo. Se recomienda tener cable con terminal en forma de pinza que puede ser conectado al carro-tanque, quedando también aterrizado.
- b. Es importante inspeccionar el silo antes de ser llenado. Particular atención debe ser dada a los aspectos de seguridad, limpieza y correcta construcción.
- c. El equipo en operación debe ser revisado con frecuencia, especialmente las conexiones y tuberías de llenado del carro-tanque a los silos, para evitar problemas de pérdidas o contaminación de material.

La resina PET "Tercel", es considerada como un material inerte, no prestando ningún problema de almacenamiento sin embargo, el material debe ser almacenado en una área apropiada, protegida en caso de incendio. El PET no produce gases tóxicos o aromas durante su almacenamiento.

En el manejo del polímero no ofrece ningún peligro excepto que su derrame en el piso provoca una área resbaladiza, por lo que inmediatamente debe ser limpiado el material. Finalmente es recomendable que todo equipo en donde se maneja la resina sea conectado a tierra para prevenir la generación de electricidad estática durante el movimiento del polímero sólido en el equipo de proceso.

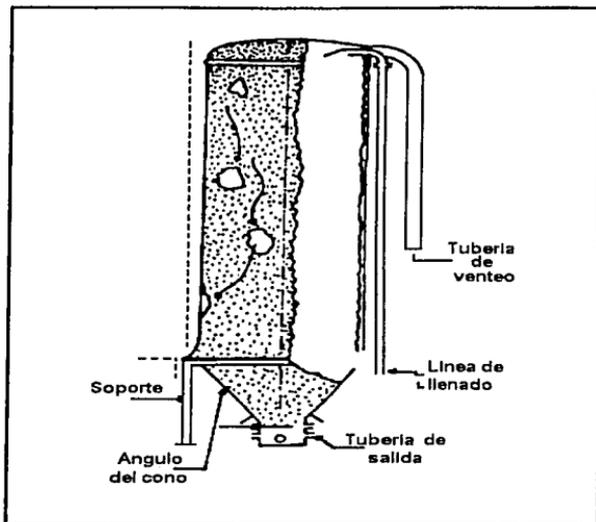


FIGURA 1.10. SILO DE ALMACENAMIENTO DEL PET.

## **2. PREFORMAS Y SOPLADO.**

### **2.1 PREFORMAS**

Las preformancias de una botella en PET depende en la tasa de orientación biaxial y de la distribución regular del material en las paredes, todas estas características son obtenidas durante el procedimiento de soplado.

La tasa de estirado depende de las dimensiones iniciales de la preforma. Así, es necesario determinar los parámetros de la preforma para que se obtenga el máximo estirado y por consiguiente, la orientación optima.

Es también necesario diseñar la preforma para que sus capacidades de estirado y su comportamiento al enfriamiento y al recalentamiento estén adaptados al sistema de la maquina y al tipo de polímero empleado.

#### **ESPESOR DE LA PARED DE LA PREFORMA.**

Con los polímeros de uso corriente, el espesor máximo de la pared de la preforma no debe sobrepasar 4.5 mm por que encima de este límite, la pieza moldeada presentara un efecto brumoso inaceptable. La baja conductividad térmica del PET impide un enfriamiento eficaz de la materia al medio espesor de la pared de la preforma, a pesar de la temperatura o del caudal del fluido de refrigeración del molde que tiene casi ninguna influencia. Al enfriar el material inyectado, ocurre una cristalización que aumenta la opacidad.

#### **RELACION DEL ESTIRADO EN LONGITUD.**

La longitud de la preforma esta relacionada directamente a la longitud de la botella terminada, según una relación que permite la formación de una membrana estirada uniforme durante la primera fase del procedimiento de estirado - soplado.

Quando sometido a una temperatura encima de la transición vítrea, el polímero tiende a estirarse desde un solo punto de menor resistencia. Al estirarse, la orientación molecular confiere muy rápidamente una resistencia superior a esta zona, primero baja, hasta que la zonas contiguas estén comparativamente de menor resistencia y empiecen a estirarse.

Eso implica que el estirado empieza generalmente a la media longitud de la preforma y que la zona estirada se extienda progresivamente hacia las dos extremidades hasta que el mandril de estirado alcance el fondo del molde de soplado y se separe.

Este comportamiento implica una tendencia a terminar la operación de estirado con un material no orientado en la extremidad y el cuello. El poliéster tiene una relación de estirado intrínseco natural y para garantizar un estirado perfectamente uniforme, las dimensiones de la preforma dependen de la naturaleza del polímero utilizado. El MELINAR PET ha sido formulado para ofrecer propiedades óptimas con relaciones de estirado de 2.4 a 2.6.

## **RELACION DE ESTIRADO EN SUPERFICIE.**

Como se a indicado anteriormente, las propiedades físicas de un envase en PET depende del espesor de la pared y del nivel de uniformidad de la orientación.

En la pared de una botella el valor optimo de la relación de estirado en superficie depende igualmente de la relación de estirado natural del polímero. Al dividir la relación de estirado en superficie por la relación de estirado en longitud, se calcula fácilmente la relación de estirado circular. Esta relación esta generalmente alrededor de 4 a 4.5 y sirve para determinar el diámetro de la preforma a media pared.

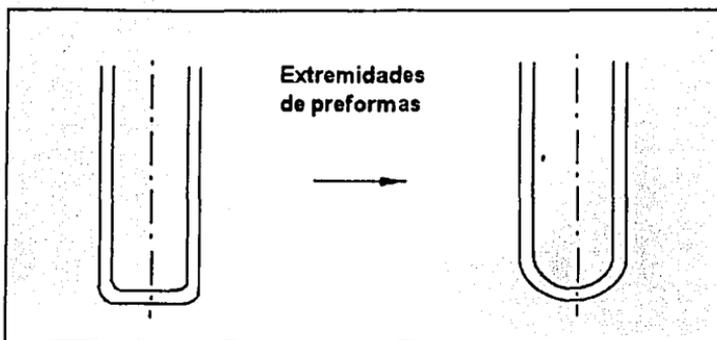
## **FORMA DE LA ESTREMIDAD DE LA PREFORMA.**

La extremidad cerrada de la preforma contiene el punto de entrada del polímero fundido. En el molde de inyección, el material entra en la cavidad y choca el núcleo del molde antes de fluir en la cavidad. Así la zona de la extremidad esta sometida a la mas elevada temperatura y presión.

Así es necesario que la extremidad de la proforma tenga curvas de gran radio por que los ángulos entrantes o salientes pueden hacer líneas opacas excesivas que son comúnmente imputadas a la cristalización del material que fluya. (Figura 2.1)

## **DECLIVE DEL MOLDE PARA EXTRACCIÓN DE LA PREFORMA**

Para facilitar su extracción del molde y del núcleo, la preforma debe tener un declive. Aun que los ángulos de declive pueden ser definidos en parte por el fabricante de molde, hay que adaptar el declive mínimo aceptable por que un declive excesivo puede provocar un efecto indeseable en la preforma por variación del calentamiento y enfriamiento del material.



**FIGURA 2.1 PREFORMA**

#### **DECLIVE DEL MOLDE PARA EXTRACCION DE LA PREFORMA**

Para facilitar su extracción del molde y del núcleo, la preforma debe comportar un declive. Aun que los ángulos de declive pueden ser definidos en parte por el fabricante de molde, hay que adaptar el declive mínimo aceptable por que un declive excesivo puede provocar un efecto indeseable en la preforma por variación del calentamiento y enfriamiento del material.

#### **CUERPO DE LA PREFORMA (TRANSICION CON LA ZONA DE TAPONADO).**

Generalmente, el sistema de taponado de la botella es perfectamente especificado, lo que puede crear un problema si el diámetro interior del cuello no corresponde al diámetro interior de la preforma teórica óptima.

Se puede resolver este problema, modificando las relaciones de estirado de manera que el diámetro interior de la preforma sea adaptado al manguito del cuello, ó sea creando una zona de transición (interface) entre el cuerpo de la preforma y el cuello, previendo un elemento tronconico a

la parte superior del cuerpo de la preforma. La elección final depende de la forma propia de la botella y de las propiedades físicas requeridas.

No se puede siempre predecir el comportamiento real al moldeado y al soplado con certitud y es generalmente necesario proceder al moldeado de un prototipo para optimizar la forma final elegida.

## RELACION PREFORMAS/CADENCIAS.

Para una botella de capacidad idéntica, el espesor de la preforma será en función de la relación de estirado que se desea. Por ejemplo, para una botella de un litro y medio, con un fondo hemisférico, un peso de 50 gr, una relación de estirado de 8.5, necesita una preforma de espesor de 4 mm, una relación de 9 implica una preforma de espesor 4.3 mm, una relación de 10, una preforma de 4.9 mm.

Como es sabido que el tiempo de enfriamiento de una preforma es proporcional a la relación del cuadrado de los espesores y si se obtiene 20 seg. para un espesor de 3.6 mm, habremos:

$$\text{Para un espesor de 4 mm: } \frac{4^2 \times 20}{3.6} = 24.7 \text{ seg.}$$

$$\text{de 4.3 mm : } \frac{4.32 \times 20}{3.6} = 28.5 \text{ seg.}$$

$$\text{de 4.9 mm : } \frac{4.92 \times 20}{3.6} = 37 \text{ seg.}$$

Lo que significa que es necesario establecer un conjunto de especificaciones muy precisas de la botella.

## TIPOS DE DEFECTOS DE PREFORMAS.

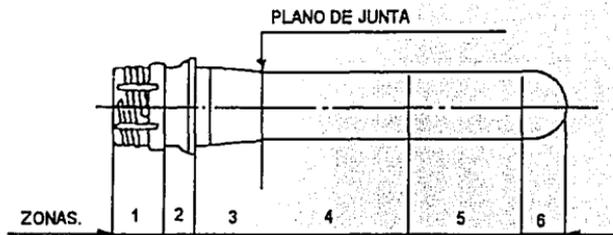


FIGURA 2.2. PREFORMA Y SUS FALLAS

TABLA 2.1. RELACION DE DEFECTOS

REF.	DESIGNACION	ZONAS	CAUSAS	SOLUCIO- NES
D1	Burbujas de aire no rumpidas en la pared.	4, 5	C1 C2	R1 R2
D2	Burbujas de aire rumpidas en la pared (cola de cometa, oreja o raspa de pescado).	4, 5, 6	C3 C4 C5	R3 R4 R5
D3	Agujeros por retracción en los anillos debajo del cuello.	1, 2	C6 C7	R6 R7/R8
D4	Agujeros por retracción entre el cuello y el cuerpo.	3 et 4	C7 C8	R9
D5	Agujeros en el plano de junta.	Plano de junta	C9	R6
D6	Estricciones en el cuerpo	3 et 4	C10	R10 R11 R12
D7	Descomposición del material (de color pardo) en la extremidad del cuello, al termino de un perfil (filete por ejemplo).	1	C15 C2 C7	R7 R2
D8	Rebabas (lado del cuello) en todas las preformas.	1	C14 C16 C17	R16 R17 R18

REF.	DESIGNACION	ZONAS	CAUSAS	SOLUCIONES
D10	Estrías anulares	3 et 4	C11 C12	R13 R12
D11	Preformas muy calientes cuando son inyectadas (pegado, deformación del cuerpo del cuello)		C13	R12 R14 R10
D12	Hilos en el punto de inyección	6	C14 C5	R8 R7 R11
D13	Arrancamiento del fondo de preforma (alrededor del punto de inyección)	6	C20	R10
D14	Arrancamiento (succión, agujero), al punto de inyección	6	C21 C4	R13 R3
D15	Agujero al punto de inyección	6	C19	R23
D16	Dosificación irregular de las preformas (hilos, agujeros por retracción del material)	6,5,4,3	C24 C22 C23	R24 R15 R25
D17	Cristalización de todas las preformas	1 a 6	C25	R18 R26
D18	Cristalización parcial de todas las preformas encima del fondo.	6, 5	C26  C25	R28 R29 R10 R27 R18
D19	Cristalización parcial de una preforma encima del fondo	6	C26	R30
D20	Líneas blancas desde el punto de inyección hasta el cuello	6,5,4	C27	R31
D21	Cambio de transparencia (amarilleo)	1 a 6	C28	R18 R26
D22	Cambio de transparencia (amarilleo)	1 a 6	C29	R32

#### CAUSAS DE LOS DEFECTOS DE PREFORMAS

- C1 - Contrapresión insuficiente.
- C2 - Agujeros de escape de aire obstruidos.
- C3 - Descompresión muy rápida.
- C4 - Carrera de inyección muy larga.
- C5 - Temperatura del distribuidor muy alta.
- C6 - Llenado imperfecto de las cavidades.
- C7 - Segunda velocidad de inyección muy rápida.

- C8 - Carrera de inyección muy corta.
- C9 - Dosificación insuficiente.
- C10 - Utillaje muy caliente.
- C11 - Velocidad de inyección muy lenta.
- C12 - Diferencia de temperatura entre el molde y el núcleo muy grande.
- C13 - Enfriamiento del molde.
- C14 - Dosificación muy importante.
- C15 - Aceleración de la oxidación.
- C16 - Segunda presión de inyección muy alta.
- C17 - Materia muy fluida.
- C18 - Circuito preferencial.
- C19 - Cuerpo extranjero en el molde (plano de junta, correderas).
- C20 - Comienzo de la apertura del molde muy rápido.
- C21 - Succión muy importante.
- C22 - Carrera de descompresión después de la dosificación incorrecta.
- C23 - Válvula defectuosa.
- C24 - Comienzo de la inyección antes de la apertura completa de la válvula.
- C25 - Humedad en el PET.
- C26 - Insuficiente potencial de los elementos de calefacción.
- C27 - Flujos no equilibrados.
- C28 - Modificación del estado del material.
- C19 - Ensuciamiento del cilindro y del distribuidor.

#### **SOLUCIONES A LOS DEFECTOS DE LAS PREFORMAS.**

- R1 - Aumentar la presión de la inyección.
- R2 - Limpiar los agujeros de escape de aire del molde.
- R3 - Aumentar el tiempo de descompresión.
- R4 - Reducir la carrera de descompresión.
- R5 - Bajar la temperatura de los elementos concernidos.
- R6 - Aumentar la dosificación de inyección.
- R7 - Disminuir la segunda velocidad de inyección.
- R8 - Aumentar la carrera de inyección.
- R9 - Arreglar la segunda velocidad o la carrera de inyección (+ o -)
- R10 - Aumentar el tiempo del ciclo de producción.
- R11 - Bajar la temperatura del molde.
- R12 - Comprobar el circuito de enfriamiento (válvulas de marcha/parada, temperatura del agua, refrigerante).
- R13 - Aumentar la primera velocidad de inyección.
- R14 - Aumentar el tiempo de enfriamiento.
- R15 - Comprobar el funcionamiento de la válvula de obturación de inyección.

**Nota:** La válvula de obturación debe estar cerrada antes del comienzo de la rotación del husillo (ajuste tiempo 0,3 a 0,5 s).

- R16 - Disminuir la dosificación de inyección.
- R17 - Bajar la segunda presión de inyección.
- R18 - Comprobar el secado del material. Tiempo y temperatura máximos : 5 h a 182° C.
- R20 - Temperaturas de trabajo del material demasiado elevadas.
- R21 - Comprobar el molde (cuerpo extraño en el plano de junta de las correderas, corregir los defectos encontrados en el molde).
- R22 - Aumentar la velocidad de descompresión.
- R23 - Purgar en el molde, aislando las cavidades no concernidas.
- R24 - Aumentar la carrera de descompresión.
- R25 - Aumentar el tiempo de atraso de inyección (0,3 seg. a 0,5 seg.).
- R26 - Análisis del material (cambiar de lote, por ejemplo.)
- R27 - Restablecer el ciclo inicial.
- R28 - Aumentar la temperatura de los elementos de calefacción del distribuidor (350° C max.)
- R29 - Aumentar la temperatura del cilindro (300/310 °C max.).
- R30 - Aumentar la temperatura del elemento de calefacción concernida.
- R31 - Equilibrar la temperatura de las cruces del distribuidor y de los elementos.

## **2.2 INYECCION DE PREFORMAS.**

Las preformancias de una botella en PET depende en la tasa de orientación biaxial y de la distribución regular del material en las paredes, todas estas características están obtenidas durante el procedimiento de soplado.

La tasa de estirado depende de las dimensiones iniciales de la preforma. Así, es necesario determinar los parámetros de la preforma para que se obtenga el máximo estirado y por consiguiente, la orientación óptima.

Es también necesario diseñar la preforma para que sus capacidades de estirado y su comportamiento al enfriamiento y al recalentamiento estén adaptados al sistema de la maquina y al tipo de polímero empleado.

### **ESPESOR DE LA PARED DE LA PREFORMA.**

#### **CON LOS POLIMEROS DE USO CORRIENTE**

El TERCEL es un polímero de PET que puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección. El moldeo

de tales preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde en la que una vez llena, es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de excelente calidad.

#### **EL PROCESO DE INYECCION PUEDE SER DIVIDIDO EN LAS SIGUIENTES FASES.**

- a. Secado del granulado hasta lograr que el contenido de humedad sea menor de 40 ppm.
- b. Fusión del polímero en un equipo de inyección, utilizando de preferencia un husillo que este diseñado especialmente para PET, aunque un husillo convencional, de longitud 20:D y una relación de compresión de 3:1, puede ser de utilidad.
- c. Inyección del material dentro de las cavidades del molde, que normalmente es de colada caliente, aunque los de colada convencional también pueden encontrar alguna aplicación.
- d. Enfriado rápido del material dentro del molde para obtener piezas amorfas, es decir, transparentes.
- e. Apertura del molde y expulsión de las preformas.

Durante el moldeo por inyección de la preforma, se deben controlar perfectamente los siguientes aspectos:

- a. Retención de viscosidad intrínseca.
- b. Generación mínima de acetaldehído.
- c. Transparencia máxima de la preforma.

El "tercel" esta formulado de tal manera que ofrece un rendimiento óptimo en cada una de las etapas del proceso, sin embargo las ventajas principales inherentes del PET pueden quedar destruidas durante la inyección de la preforma si no se tiene una óptima operación.

#### **RETENCION DE LA VISCOSIDAD INTRINSECA.**

La viscosidad intrínseca (VI) es una medida indirecta del peso molecular, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero. La viscosidad intrínseca del PET de uso general es de 0.76

$\pm 0.02$  dl/g que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24000 g/mol. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su peso de granulado a preforma, significara una reducción del peso molecular. Bajo condiciones controladas de secado y de moldeo, la pérdida de viscosidad no deberá ser mayor de 0.03 dl/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un detrimento en la transparencia de la preforma. Debido a un incremento en la velocidad y cristalización trae como consecuencia a las pérdidas de las propiedades mecánicas del envase, particularmente al impacto y a la carga vertical aplicada sobre la tapa.

La pérdida de viscosidad se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión que es donde el agua a niveles superiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero.

Una segunda causa de la caída V.I. es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. De ahí que se deba emplear un perfil de temperaturas de moldeo y velocidades de corte lo más suave posible que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

## **GENERACION DE ACETALDEHIDO.**

El acetaldehído ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ) se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión del PET; la cantidad de agua presente no influye en la generación de acetaldehído. Durante la fabricación del polímero, el nivel de acetaldehído se controla perfectamente, entregando un producto al mercado con un contenido de 3 ppm como máximo. El acetaldehído es un líquido volátil e incoloro (punto de ebullición  $20.8^\circ\text{C}$ ) y que se distingue por su olor a frutas. Precisamente por su olor característico, el acetaldehído ha sido empleado con mucha frecuencia en la industria alimenticia como un saborizante.

Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles al acetaldehído.

El acetaldehído se genera por la degradación técnica de las moléculas de PET mientras este en estado de fusión por lo que tiene una relación directa con la historia técnica del polímero.

El efecto de la temperatura y el tiempo de resistencia del polímero dentro del cañón, en relación con la generación de acetaldehído se ilustra a continuación Figura 2.3. y Figura 2.4. En las curvas de la Figura 2.5. se puede observar el efecto, de la velocidad de husillo (RPM) y la contra presión en la generación de acetaldehído. La transparencia de la preforma esta relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero, es decir, el PET es transparente cuando tiene una estructura molecular amorfa; y será opaco cuando este cristalizado.

Cuando el EPT se encuentra a una temperatura entre los 85 ° C y los 250 ° C, las moléculas tienden a alinearse para formar una estructura cristalina. La velocidad de cristalinidad es muy lenta en ambos extremos de este rango y es más rápida en el centro, o sea entre 140 °C y 180 °C.

En el punto mas alto de la curva de cristalización, alrededor de 165 ° C, el PET alcanza un grado visible de cristalinidad en menos de un minuto, de tal manera que el polímero debe ser enfriado dentro de la cavidad del molde lo más rápido posible.

Desde que la conductividad térmica del PET es relativamente baja, el contenido de calor en el centro de la pared de la preforma es el principal contribuyente para tener una determinada cristalinidad en la pieza. La tecnología actual del moldeo por inyección esta limitada a un espesor máximo de 4 mm aproximadamente.

La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma. Mientras más elevada sea la temperatura se tendrá una mayor cantidad de cristalitas fundidos, sin embargo, no se puede elevar la temperatura en forma indiscriminada ya que se corre el riesgo de generar una cantidad indeseable de acetaldehído. Algo similar ocurre con la viscosidad intrínseca, ya que entre mayor sea el peso molecular del polímero existe una menor tendencia a la cristalización pero debido a que se requiere una mayor temperatura de fusión se ve incrementada la generación de acetaldehído.

Considerando estos dos aspectos, es que se ha formulado el tercel, de tal manera que se tiene una viscosidad intrínseca y una cristalinidad que permite el procedimiento del material con relativa facilidad, obteniendo una buena transparencia y bajo nivel de acetaldehído.

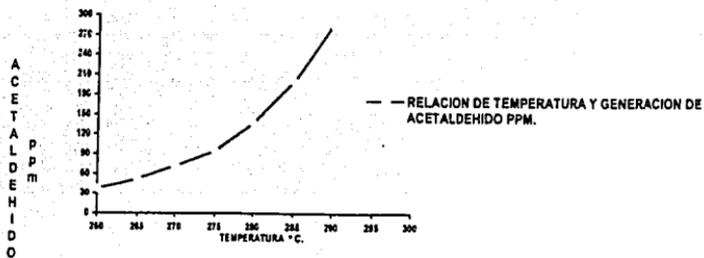


FIGURA 2.3

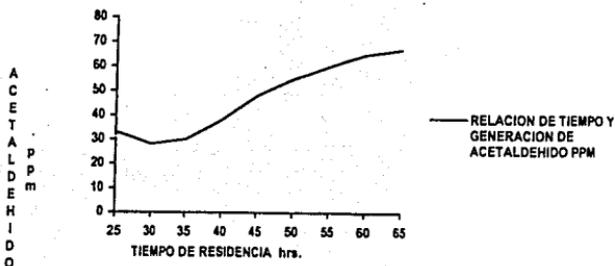
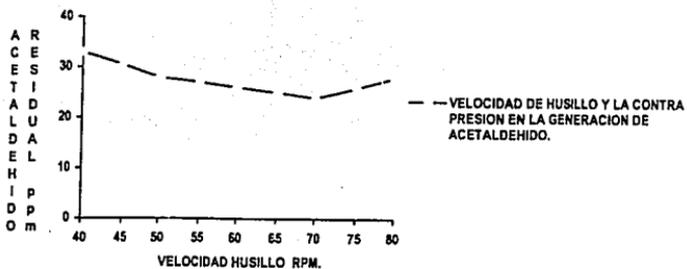


FIGURA 2.4



FIGRA 2.5

### **3. FABRICACION DE BOTELLAS.**

#### **3.1 SOPLADO DE LAS PREFORMAS.**

##### **a) ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO:**

Las preformas giran en la rueda del horno del tipo carrusel y pasan delante de los tubos de infrarrojo de calentamiento.

A su salida del horno, la temperatura de la pared de las preformas deberá ser comprendida entre 90 °C y 110 °C, sea una lectura de 110 °C a 135 °C con la cámara (radiotermómetro de infrarrojos). Un tiempo de estabilización térmica suficiente (alrededor de 10 seg.) permite una distribución regular de la temperatura en la pared de la preforma antes de ser introducida en el molde de soplado.

Las preformas que presentan perfiles de temperatura que varían excesivamente pueden conducir a una orientación no uniforme en las paredes de la botella. Ocurren perfiles irregulares de temperatura cuando después de exponer las preformas a un calor radiante al exterior en un tiempo de estabilización térmica no ha sido suficiente largo y a consecuencia de la baja conductividad térmica, la pared de la preforma siempre tiene un ligero gradiente de temperatura entre el exterior (temperatura superior) y el interior (temperatura inferior).

Para obtener propiedades físicas y una biorientación óptima, hay que mantener la temperatura de la pared de la preforma, antes de ser soplada, al mínimo posible. La calidad de la biorientación en una botella soplada con preformas a una temperatura de 105° F/110° C es mucho mejor que una soplada a 230° F/110° C.

##### **b) SOPLADO.**

###### **ETAPA 1**

Se cierra el molde y baja la vara de estirado.

###### **ETAPA 2**

Cuando baja la vara de estirado en el molde, se introduce una presión de aire que sopla la preforma en el sentido circunferencial = formación de balón.

### ETAPA 3

La vara de estirado sigue penetrando y gula la extremidad del balón, mientras que la baja presión sigue inflando la circunferencia del balón en las paredes del molde.

### ETAPA 4

La vara de estirado alcanza el fondo del molde y el inflado baja presión del balón se sigue inflando a alta presión para formar la botella.

### ETAPA 5

Se mantiene la alta presión de soplado hasta que sea soplada la botella en la forma del molde y enfriada.

Para respetar las especificaciones de la botella, lo mejor posible, se puede efectuar los ajustes siguientes:

#### a) Horno de infrarrojos:

1. Potencia eléctrica de los tubos de infrarrojo son ajustados por unidades de tristores.
2. Ajuste mecánico de la altura y distancia de los tubos de infrarrojos.
3. Ajuste de la orientación de los tubos por rotación en su soporte.
4. Ajuste de las válvulas de aspiración de los ventiladores.
5. Ajuste de la altura de los elementos de refrigeración para proteger los cuellos de una subida excesiva de la temperatura.

#### b) Rueda de Soplado.

1. Ajuste de la baja presión de pre-soplado
2. Ajuste del caudal y de la presión de soplado a alta presión
3. Ajuste del comienzo del pre-soplado baja presión y del soplado a alta presión en relación a la acción del estirado efectuada de manera repetitiva por una leva de estirado, cuyo ángulo está determinado por la velocidad de rotación de la rueda de soplado.

Para un perfil de temperatura determinado, es posible aumentar el estirado del fondo en relación con el hombro, al aumentar la baja presión o al efectuar el pre-soplado más temprano.

## 3.2 DEFINICION DE BOTELLA.

Se basa la concepción de la botella en PET, primero en la imagen que desea dar al envase el fabricante. La forma de la botella debe llamar la atención, permitir la identificación de un producto y ser atractivo estéticamente. Sin embargo, la estética de la botella no debe comprometer de ninguna manera las propiedades mecánicas y la conservación del gas. En práctica, hay que alcanzar un compromiso entre las necesidades impuestas por la estética y por las prestaciones del envase.

Si tomamos como ejemplo las botellas para las bebidas con gas sin alcohol, hemos elegido para las botellas de gran capacidad una forma que hace abstracción de la individualidad a favor de prestaciones máximas. La forma óptima de la botella de bebidas con gas es una esfera, que es la forma geométrica de un envase bajo presión cuya superficie por unidad de volumen es mínima. Naturalmente, no se puede aceptar esta forma en práctica y hemos diseñado una botella en forma de torpedo de un aspecto que es ahora familiar; es un cilindro que termina a cada extremidad en una semiesfera y cuya altura del hombro debajo del anillo de soporte es la menor posible.

En cuanto a las botellas para bebidas sin gas, es posible adaptar formas más individualizadas porque las prestaciones no necesitan propiedades tan críticas.

Para obtener propiedades óptimas, es necesario diseñar envases sin ángulos vivos y sin cambios excesivos de forma. En las zonas de transición, se puede reducir como mínimo la concentración de los esfuerzos al prever curvas de gran radio al enlace. Según nuestra experiencia, un elemento de protección del etiquetado no concebido correctamente puede reducir la carga vertical aceptable de la botella de 30%.

Para una aplicación sin gas que permite la utilización de botellas más ligeras y de pared más delgada, se hacen a veces ondulaciones o gargantas transversales para mejorar la rigidez al vaciar el producto y asegurar una mejor tomadura en la mano y un mejor aspecto estético. Sin embargo, esas características provocan una disminución excesiva de la resistencia de la botella a cargas verticales. Mientras que anteriormente se admitía que una preforma bien concebida producía automáticamente una botella correcta, se aprecia ahora la importancia del diseño de la botella por su verdadero valor. Disponemos ahora de diseños de botella que evitan un número excesivo de paneles y comprende fondos de varias formas que mantienen la botella en pie. Los fondos planos no son aconsejados porque conducen a una orientación inferior y una resistencia al choque.

Al estudiar el fondo de la botella, siempre obsérvese la regla general que consiste en evitar los ángulos vivos que resultan en botellas de poca solidez.

Según este principio, los diseños de bases en forma de botella de champagne o petaloide dan representaciones satisfactorias.

### **3.3 FABRICACION DE ENVASES DE PET.**

Existen en el mercado dos tipos de instalaciones para fabricar envases de PET:

1. Sistema de dos etapas
2. Sistema de una etapa o también denominado sistema integrado.

#### **SISTEMA DE DOS ETAPAS.**

En este sistema, la primera etapa consiste en inyectar una preforma en un equipo de inyección, el cual deberá tener ciertas características especiales para que pueda procesar al PET\* y obtener de él un rendimiento óptimo en cuanto a sus propiedades físicas y de transparencia. Sin embargo, en los equipos convencionales de inyección también puede ser procesado el material mediante un ligero acondicionamiento del equipo obteniendo preformas de calidad.

Los moldes deben ser de colada caliente cuando se trata de elevados niveles de producción y deberán tener un sistema de refrigeración muy eficiente. Estos moldes suelen tener desde 16 hasta 96 cavidades; una vez que las preformas están lo suficientemente frías para que no se deformen o se peguen entre sí, son expulsadas y posteriormente enviadas a donde se localice el equipo de soplado, el cual puede estar en la misma planta o en cualquier otro lugar.

La segunda etapa del proceso consiste en calentar las preformas hasta una temperatura tal que puedan ser estiradas y sopladas, en un equipo de soplado de alta productividad que normalmente se encuentra localizado en las plantas embotelladoras.

#### **COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE FABRICACION.**

##### **ETAPAS Y VENTAJAS.**

1. Adecuado para grandes producciones, más de 20 MM. de botellas/año.
2. Permite centralizar la producción de preformas para suministrarlas posteriormente a las plantas de soplado.

3. Las máquinas para el soplado de botellas pueden ser adquiridas por separado, lo que permite:
  - a. Adquisición de preformas, evitando así las dificultades técnicas de la fase de producción de las mismas.
  - b. Menor monto de la inversión inicial antes de adquirir la instalación para la producción de preformas.
  - c. Ideal para la producción múltiple en plantas, empleando un centro productor de preformas.
4. Menor inversión inicial.
5. Dado o que la capacidad es inferior, permite un aumento escalonado de la producción e inversión.
6. Adecuado para varios tipos de productos, o para capacidades de producción bajas, con diseños de envases más complejos, bocas anchas y multicapas.

## **SISTEMA INTEGRADO O DE UNA ETAPA.**

En este sistema, el molde de la preforma y el soplado de la misma para obtener la botella se realizan en una sola máquina, es decir, los procesos de inyección y soplado están integrados en una misma unidad, por lo que es necesario sacar las preformas de la máquina para que puedan ser sopladas y llevadas a su forma y tamaño definitivo.

## **SECADO DEL POLÍMERO.**

Debido a que el PET absorbe humedad requiere de un proceso de secado antes de ser moldeado por inyección. Existen en el mercado equipos de secado de aire deshumidificado fabricados especialmente para PET.

## **APLICACIÓN DE LA BASE.**

Las botellas que van a contener bebidas con CO<sub>2</sub>, como refrescos, agua mineral, sidra o cerveza, deben estar diseñadas de tal manera que puedan soportar hasta 5 volúmenes de dióxido de carbono. Esto significa que deberán tener un fondo que soporte dicha presión sin deformarse; los diseños más empleados para tal efecto son el de forma esférica en la base y los de fondo petaloide. Para poder parar las botellas de forma esférica se hace necesaria la utilización de bases que pueden ser de polietileno o polipropileno. Aplicadores de dichas bases a la botella se encuentran disponibles en el mercado y están diseñadas para poderlos integrar a las máquinas sopladoras. Para productos que no contengan CO<sub>2</sub> suelen emplearse botellas de base plana normal donde solo se necesita una base adicional.

### **3.4 ESPECIFICACIONES Y DIMENSIONES DE LA FABRICACIÓN DE LAS BOTELLAS.**

#### **NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE DE LAS BOTELLAS:**

Cuando está requerido un nivel de calidad aceptable, todas las muestras serán estudiadas en bases a estadísticas. Muchas muestras representan por ejemplo, 2 a 10,000 botellas. Si no está precisado el nivel de calidad aceptable según condiciones o disposiciones particulares, se encarga al proveedor de suministrar envases conforme a las especificaciones.

#### **ESPECIFICACIONES DE LAS BOTELLAS:**

Precisan las particularidades siguientes en función del producto a envasar:

1. Planos y dimensiones, color y transparencia, acabado del cuello, aspecto general, peso de las botellas.
2. Niveles de llenado, "botellas producidas", "botellas entregadas", perpendicularidad, disminución del peso, contenido de acetaldehído, longevidad, comportamiento a la presión vertical, variación del nivel, estabilidad térmica, resistencia a los choques, disminución del gas, distribución del material, eventualmente el peso de las bases, el comportamiento de las bases y su resistencia a los choques.

#### **ESPECIFICACIONES PARA BOTELLAS NO REUTILIZABLES DE 1.500 L. EN PET. PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE COCA-COLA O SIMILAR.**

A continuación se muestra un conjunto de especificaciones de COCA-COLA, EUROPA para las botellas de 1,500 litro con fondo hemisférico. Las especificaciones más abajo, excluyendo las referencias PNR1500-01 & PNR 1500-06A & 06B, se aplicaran a las botellas sometidas a las condiciones siguientes, sin sobrepasarlas:

Temperatura ambiente.	Contenido de humedad.	Tiempo.
37°C a 4°C	Cualquier %	7 días
5° C a 27°C	Cualquier %	24 días
28°C a 38°C	Cualquier %	12 días
39°C a 49°C	Cualquier %	7 días

#### NED-PNR 1500-01

#### PLANOS Y DIMENSIONES.

- Las botellas deben conformar con los planos de los suministradores aprobados y aceptados por el departamento COCA COLA.
- Se aplican las tolerancias siguientes para botellas tomadas después de 72 horas de su fabricación y almacenadas a 50 % de humedad ambiente.

Altura	+ 12 mm	- 1,2 mm
Diámetro	+ 0,75 mm	- 0,75 mm
Capacidad	+ 10 mm	- 10 mm

Para las botellas entregadas, las tolerancias son las siguientes:

Altura.	+ 1.2 mm.	1.5 mm.
Diámetro.	+ 0.75 mm.	1.0 mm.
Capacidad.	+ 10 ml.	15 ml.

- Las bases deben conformar con el plano autorizado por el departamento COCA-COLA.

#### NED-PNR 1500-02

#### TAPONADO.

El cuello debe conformar con el plano METAL CLOSURE K 103 201 del 23/1/79, con agujeros de escape de aire. El cuello de la botella es concebido para utilizar tapones de filetes y tapones de aluminio "P.O.P.".

El diámetro interno del cuello será mantenido entre 0.25 mm y 0.30 mm. El diámetro de escariado de 21.6 mm + 0.12 mm - 0.12 mm, será mantenido a cualquier punto desde la cima del cuello en una profundidad de 0.25 mm. Y 1.87 mm. No debe tener ningún defecto o irregularidad que podría atacar la estanqueidad del taponado.

#### **NED-PNR 1500-03**

##### **COLOR Y TRANSPARENCIA.**

El color y la transparencia de las botellas deben confirmar con los límites o normas autorizados por el departamento COCACOLA.

#### **NED-PNR 1500-04**

##### **ASPECTO GENERAL.**

No deben aparecer defectos (burbujas, material no fundido, polvos, agujeros, marcas de condensación, que son más importantes, que los limitados a muestras sometidas y aceptadas por el departamento COCA-COLA. Salvo a base exterior de la botella, no debe tener cuerpos extraños (polvos) en la superficie que no se puede eliminar al aclarado.

La zona cristalizada en la base no debe sobrepasar 25.40 mm. (máximo de diámetro). Las botellas entregadas no deben presentar rozaduras más largas que hechas en las muestras sometidas por el departamento COCA-COLA.

#### **NED-PNR 1500-05.**

##### **PESO DE LAS BOTELLAS Y BASES.**

El peso de la botella y base, sin la etiqueta, debe ser especificado en planos del suministrador y aceptado por el departamento COCA-COLA. Las tolerancias de peso son de  $\pm 1.0$  mg del valor nominal.

## **NED-PNR 1500-06a**

### **CAPACIDAD DEL NIVEL DE LLENADO DE LAS "BOTELLAS PRODUCIDAS".**

#### **1. CAPACIDAD MEDIA:**

La media aritmética para el nivel de llenado de una muestra e botellas 40 mm del punto de llenado, medido desde la parte superior del cuello hasta la parte inferior de cada botella, 72 horas después de su fabricación, a temperatura ambiente y 50% de humedad, con una presión interna de 0 kilopascal, será la siguiente:

Capacidad: 1515 ml + 10 ml - 0 ml

#### **2. CAPACIDAD INDIVIDUAL:**

Según las mismas condiciones que las mencionadas en el precedente, la tolerancia para la capacidad individual es la siguiente:

Capacidad de la botella: 1515 ml. Tolerancia: + 10 ml. - 10 ml.

## **NED-PNR 1500-06b**

### **CAPACIDAD DEL NIVEL DE LLENADO DE LAS "BOTELLAS ENTREGADAS"**

El nivel de llenado individual de las botellas entregadas, medido según las condiciones mencionadas, es sometido a las tolerancias siguientes:

Capacidad de la botella: 1515 ml. +10 ml. -15 ml.

## **NED-PNR 1500-07**

### **PERPENDICULARIDAD DE LA BOTELLA VACIA Y LLENADA (NO TAPONADA).**

La desviación al eje perpendicular de la botella vacía o no taponada, llenada de un líquido hasta el nivel de llenado nominal (las botellas deben ser testadas como recibidas) debe ser inferior a 6.4 mm.

**NED-PNR 1500-08**

**CONTENIDO DE AA (SABOR).**

- a) La concentración de AA en una botella acabada de ser soplada, medida según el método de análisis durante 24 horas, debe ser como sigue:
1. La medida de muestras uniformes de botellas que representan cada cavidad del molde, no debe sobrepasar 3.0 microgramos por litro.
  2. La cantidad máxima en una única botella no debe sobrepasar 4.0 microgramos por litro.
- b) El contenido de AA en una botella acabada debe ser soplada, medido según el método standard durante 24 horas, debe ser como sigue:
1. La medida de muestras uniformes de botellas que representan cada cavidad del molde, no debe sobrepasar 15.0 microgramo por litro.
  2. El contenido máximo en una única botella no debe sobrepasar 15,0 microgramo por litro.
- c) No debe haber ningún cambio de gusto o de sabor del líquido en contacto con la botella cuando sometida a una temperatura entre 2° C y 27° C con cualquier cantidad de humedad durante 24 semanas o 38 °C a cualquier cantidad de humedad durante 7 días.

Se debe efectuar el test para determinar el cambio de gusto por el departamento de COCA-COLA, según el procedimiento del test PE 12-3.

**NED-PNR 1500 - 09**

**DISMINUCION DEL PESO.**

La disminución del peso de la botella no debe sobrepasar 1 % durante un período de 24 semanas a una temperatura 2° C y 27° C a cualquier cantidad de humedad.

## **NED-PNR 1500 - 10**

### **LONGEVIDAD.**

La botella no debe dar muestras de endeblez en condiciones de manipulación normales y durante su distribución en un período de 24 semanas.

## **NED-PNR 1500 -11**

### **PRUEBA DE COMPRESIÓN VERTICAL.**

Cuando se hace la prueba de testado según el procedimiento establecido, la resistencia a la compresión vertical no debe ser inferior a 60 kg. El cuello y el anillo de soporte no deben romperse o deformarse bajo una carga vertical o lateral aplicada durante el llenado y taponado.

## **NED-PNR 1500-12**

### **VARIACIÓN DEL NIVEL DE LLENADO.**

Después de ser sometida a 414 Kilopascal a 24 °C durante 60 segundos, la diferencia entre la altura de llenado del líquido presurizado y la altura de llenada del líquido no presurizado en una botella de muestra (llena de agua) no debe variar más de 1.5 mm.

Se obtiene la presión interna por inyección de gas bióxido de carbono en la proporción de 69 Kpascal por segundo.

## **NED-PNR 1500-13**

### **ESTABILIDAD TERMICA "BOTELLAS LLENADAS".**

Las botellas taponadas, llenadas al nivel nominal con un líquido de un contenido aparente de CO<sub>2</sub> de 4.0 volúmenes (a una temperatura entre 2 °C y 24 °C y con una proporción de CO<sub>2</sub> según la tabla de Zahn y Nagel), El CO<sub>2</sub> disuelto en agua y 28 Kpascal de aire máximo, deben conformar con las condiciones siguientes a cualquier contenido de humedad relativa:

A 38° C 24 horas.

**CRITERIOS:**

- a) No debe romperse.
- b) No debe tener bases inestables.
- c) No debe aumentar el diámetro más de 2.5% en relación con el diámetro inicial.
- d) No debe aumentar la altura total más de 3% en relación con la altura inicial.
- e) No debe presentar un aspecto expuesto a objeciones.
- f) El nivel de llenado no debe sobrepasar 15 mm del nivel de llenado nominal.
- g) La perpendicularidad de la botella no debe desviarse más de 9 mm.

El tiempo de acondicionamiento termico empezará con un liquido agitado para equilibrar la presión a 24° C.

**NED - PNR 1500-14**

**RESISTENCIA AL CHOQUE DE LAS BOTELLAS.**

Una botella llenada de un liquido con un contenido aparente de CO<sub>2</sub> de 4 volúmenes (según test de Zahm y Nagel) no debe romperse cuando cae (salvo en el cuello) de una altura de 2 metros en un suelo duro, cuando no ha sido expuesta la botella a condiciones que sobrepasan:

T ° ambiente	Tiempo
2 °C - 27 °C	24 semanas
28 °C - 38 °C	24 horas.

**NED-PNR 1500-14B.**

**RESISTENCIA AL CHOQUE DE LAS BASES.**

No deben aflojarse, romperse o deformarse las bases de tal manera que no puedan mantenerse en pie las botellas en una superficie horizontal cuando la botella cae.

## NED-PNR 1500-15

### ADHERENCIA DE LA BASE.

La fuerza mínima de tracción axial debe ser de 9 kg y la fuerza mínima de cizalladura circunferencial debe ser de 8,5 Newton/metro a una temperatura entre 2 °C y 27 °C durante 24 semanas. Prueba hecha a 24° C.

## NED-PNR 1500-16.

### DISMINUCIÓN DEL CO<sub>2</sub>- PERMEABILIDAD.

El contenido de CO<sub>2</sub> de un lote de botellas llenadas de un líquido con un contenido de CO<sub>2</sub> entre 3,5 y 4 volúmenes, no debe reducirse más de 15% después de 12 semanas de almacenamiento a temperatura ambiente.

## NED-PNR 1500-17

El espesor de la materia en las paredes de la botella debe ser distribuida de tal manera que las performances de la botella no sea afectada durante las operaciones normales de manipulación. El espesor es uno de los factores que contribuyen en las performances de la botella. El espesor mínimo mencionado más abajo no determina necesariamente una botella que conforma con las especificaciones. Son valores de referencias para los suministradores:

- |   |               |
|---|---------------|
| a. Zona cristalina cerca del punto de inyección.  | Min. 1.55 mm. |
| b. Base de la botella curvatura definida por el rayo de la base, excluyendo la zona cristalina. | 0.30 mm.      |
| c. El talón: mayor diámetro a la parte inferior y/o la parte justo encima de la base.           | 0.30 mm.      |
| d. Pared del cuerpo y espacio para la etiqueta  | 0.30 mm       |
| e. Hombros: mayor diámetro a la parte superior y encima de la etiqueta.                         | 0,30 mm       |
| f. Hombro superior: curvatura encima de la etiqueta y debajo del anillo de soporte.             | min. 0.30 mm. |

**TABLA 3.1 DEFECTOS VISIALES DE LA PREFORMA.**

REF.	DESIGNACIÓN	ZONA S	CAUSAS	SOLUCIONES
D1	Efecto nacarado, color de plata en la parte lateral.	3	C1	R1
D2	Opalescencia, comienzo de cristalización.	2,3,4	C2	R2
D3	Pliegue externo en el fondo (botón).	4	C3,C10, C11	R2, R11, R9
D4	Pliegue interno del fondo.	4	C4, C3, C10, C11	R2, R9, R11
D5	Excesiva materia en el fondo (excrecencia)	4	C3, C10, C11	R1, R9, R11
D6	Fondo descentrado.	4	C12, C9, C8	R12, R10, R7
D7	Pliegue interno de la zona del cuello.	2	C11, C10, C4	R11, R9, R1, R2
D8	Cuello deformado.	1	C5, C6, C17	R5, R6, R17, R25
D9	Marcas en el cuerpo de la botella.	2,3,4	C25	R24
D1	Plano de juntas acentuado.	2,3	C18	R18
D12	No formada correctamente.	4	C15, C14, C4	R13, R15, R3
D14	Deformación local de la botella después de su salida de la máquina.	2,4	C14	R20
D15	Excesivo espesor en forma de anillos.	2,3	C11, C4	R11, R3
D16	Distribución del espesor circunferencial defectuosa.	2,3	C27, C28	R4, R21
D17	Distribución del espesor longitudinal defectuosa.	2,3,4	C4, C11, C1 2, C10, C9	R3, R11, R12, R9, R10
D18	Variación del volumen en la botella en el tiempo.	2,3,4	C15, C14	R13, R15
D19	Resistencia a la compresión insuficiente.	2,3,4	D16 et17 C20, C26	R19, R22
D20	Estalla la botella cuando se cae.	4	C21, C3, C11, C10	R23, R24, R11, R11, R9
D21	Disminución anormal del CO <sub>2</sub> .	1	D8, C2, C24	R2, R24
D22	Deformación muy importante.	2,3,4	D16-et17 C26	R22
D23	Estalla la botella cuando es sometida a presión anormalmente baja.	3,4	C21, C3, C11, C10, C22, C26	R1, R11, R9, R23, R22

**DESCRIPCION DE ALGUNOS DEFECTOS VISUALES.**

1. Grietas o resquebrajaduras en la superficie de sellado.
2. Defecto producido al momento de la fabricación a consecuencia del rellenado incompleto del molde de la botella con el material (resina).
3. Causadas por roscas con un perfil reducido.
4. Inadecuada formación de las ranuras en la rosca.
5. Rellenado incompleto de la banda debajo de la rosca durante su fabricación.
6. Ondulaciones o irregularidades a la altura de la superficie de sellado.

7. Desalineamiento en la unión del molde, pudiendo ser horizontal o vertical.
8. Falla de redondez en el acabado del envase (elíptico).
9. Dimensiones fuera de especificación en cualquiera de los diámetros: T,E,A e I (acabado).
10. Su presencia puede afectar en la pérdida de carbonatación gradual.
11. Protuberancias de resina localizadas en el contorno del envase. Su ocurrencia afecta al cerrado de la botella, modificando significativamente las condiciones del troqué de remoción.
12. Material extraño que pudiese haber sido liberado por el molde durante el soplado, afectando el interior de la botella. Causadas durante la manipulación de la preforma o botella. La retención de carbonatación puede verse afectado significativamente. Formados por el agua condensada durante la inyección de la preforma, variando así la composición de la resina.
13. Secciones blanquecinas, causadas por una diferente configuración molecular de la resina. Normalmente conocidas como "Knit lines" o "Weid lines", son imperfecciones en el plástico, semejando un corte de material, localizadas a la altura de las líneas de venteo (aberturas) y la superficie de sellado.
14. Hilos de resina permanente en la preforma y depositadas en el cuerpo de la botella soplada.
15. Resina no fundida o material extraño incrustado en la botella.
16. Cristalización pequeña o cuarteaduras en el espesor de la pared, las cuales reflejan la luz a diferentes ángulos.
17. Superficie rugosa, similar a la cáscara de naranja.
18. Protuberancia en la parte terminal de la preforma (punto de inyección).
19. Exceso o falta de parafina sobre la superficie exterior de la preforma.
20. Su presencia puede afectar a los parámetros de perpendicularidad y distribución de material.

**TABLA 3.2 ATRIBUTOS VISUALES A EVALUAR EN UN ENVASE PET.**

<b>CRITICOS (AQL: 0.65)</b>	<b>MAYORES (AQL: 1.0)</b>	<b>MENORES (AQL: 4.0)</b>
Acabado incompleto.	Anillos de humedad.	Rayones.
Compresión del acabado.	Cristalinidad en el gate >15 mm.	Venas.
Cuerda incompleta.	Fracturas el anillo de soporte.	Burbujas < 1.6 mm. (1/16 in.).
Paso de la cuerda deformada.	Líneas de unión (Knit lines)	Inclusiones.
Banda del cuello incompleta.	Líneas de soldadura (weld Fines)	Periscencia.
Acabado torcido o deformado.		Color.
Acabado descentrado.		Superficie rugosa.
Acabado oval.		Gate alargado.
Dimensiones incorrectas.		Resina fundida 1.0 mm <sup>2</sup> .
Orificios en rejilla.		Exceso de recubrimiento.
Rebabas en el acabado > 0.30 mm. (0.012 in).		Falta de recubrimiento.
Contaminación interna.		Gate descentrado.
Golpes en TSS*.		

\*TSS (Superficie de sellado)

## CAUSAS DE LOS DEFECTOS DE LAS BOTELLAS.

- C1 Temperatura de soplado de la preforma muy baja.
- C2 Temperatura de soplado de la preforma muy alta.
- C3 Fondo de la preforma no calentado correctamente
- C4 Perfil de temperatura inadecuado
- C5 Calentamiento anormal de los mandriles rotativos o de las protecciones de los mandriles.
- C6 Circulación del aire en el fondo incorrecto.
- C7 Presión de estirado muy alta.
- C8 Vara de estirado no ajustada correctamente.
- C9 Pre-soplado muy temprano.
- C10 Pre-soplado muy tardío.
- CI 1 Presión de pre-soplado muy baja.
- CI 2 Presión de pre-soplado muy alta.
- CI 3 Presión de soplado muy temprano.
- C14 Presión de soplado muy tardío.
- CI 5 Presión de soplado muy baja.
- C17 Apoyo de las boquillas muy excesivo.
- C18 Bloqueo del molde muy aflojado.
- C19 Temperatura del molde muy alta.
- C20 Temperatura del molde muy baja.
- C21 Fondo no biorientado correctamente.
- C22 Fragilidad al punto de inyección.
- C23 Espesor del fondo incorrecto.
- C24 Borde superior exterior del cuello rayado o incompleto.
- C25 Preformas de mala calidad.
- C26 Viscosidad de la materia muy baja.
- C27 Rotación de las preformas irregular.
- C28 Geometría incorrecta de la preforma.
- C29 Molde de fabricación de la preforma muy caldo.

## SOLUCIONES A LOS DEFECTOS DE LAS BOTELLAS.

- R1 Aumentar la temperatura del horno o de la zona concernida.
- R2 Bajar la temperatura del horno o de la zona concernida.
- R3 Aumentar el perfil de calefacción.
- R4 Comprobar la rotación del mandril.
- R5 Comprobar el circuito de agua de los mandriles rotativos y de las protecciones de esos mandriles.
- R6 Comprobar el funcionamiento de los ventiladores del horno y el ajuste de las válvulas de aspiración.

- R7 Ajustar el entrehierro vara de estirado/fondo del molde.
- R8 Aumentar la presión de estirado.
- R10 Efectuar el presoplado más temprano.
- R11 Aumentar la presión de presoplado.
- R12 Bajar la presión de presoplado.
- R13 Aumentar la presión de presoplado.
- R14 Bajar la presión de presoplado.
- R15 Efectuar el soplado más temprano.
- R16 Efectuar el soplado más tarde.
- R17 Ajustar la posición de la boquilla (acción en la presión del muelle)
- R18 Apretar el bloqueo del molde.
- R19 Aumentar la temperatura del molde.
- R20 Bajar la temperatura del molde.
- R21 Comprobar la geometría de la preforma.
- R22 Comprobar la cualidad de la materia.
- R23 Comprobar el punto de inyección de la preforma.
- R24 Comprobar la cualidad de las preformas (choque, rayas, pegado, llenado incompleto).
- R25 Ajustar la altura de las protecciones de los mandriles rotativos /cuello (2 a 3 mm. Encima del Anillo de soporte).
- R26 Retardar el comienzo del soplado a alta presión al fin del estirado.

### 3.5 AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO.

#### EASTMAN

#### AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO EN BOTELLAS DE PET (STRESS CRACKING)

Mecanismos

Razones para preocuparse

Factores involucrados

Tipos de análisis

Ejemplos de estudios hechos por Eastman.

¿Cómo evitar los problemas de agrietamiento por esfuerzo?

## **EASTMAN**

### **RAZONES PARA PREOCUPARSE**

1. El agrietamiento por esfuerzo en botellas de PET se torna en un problema cuando las botellas se filtran.
2. Las botellas pueden estallar o fallar, después de llenas, en los almacenes de la planta de llenado, en los puntos de distribución, en los camiones o en los anaqueles.
3. Cientos de botellas cercanas pueden arruinarse por culpa del jarabe pegajoso que escape de otras botellas y que fluya por las estanterías.
4. La limpieza es laboriosa y las pérdidas pueden ser cuantiosas.
5. Se considera que de 10 a 20 fallas, ocasionadas mediante el agrietamiento por esfuerzo, en un millón de botellas es excesivo.
6. Las causas directas de las fallas usualmente son difíciles de determinar.

## **EASTMAN**

### **EJEMPLOS DE ESTUDIOS HECHOS POR EASTMAN SOBRE ESFUERZO.**

1. Comparación entre el diseño de botella A contra el diseño de botella B, en cuanto a resistencia al estallido ocasionado por el esfuerzo de agrietamiento.
2. Agrietamiento por esfuerzo.
3. Estallido por esfuerzo de agrietamiento.
4. Desarrollo de análisis de esfuerzo de agrietamiento acelerado para botellas retornables.
5. Desarrollo de análisis de ciclo de lavado /llenado para botellas retornables.
6. Desarrollo de procedimiento de análisis de resistencia química bajo esfuerzo constante.
7. Comparación de botellas comerciales hechas con distintas resinas en cuanto a la resistencia al desarrollo de guía de investigación para problemas de agrietamiento por esfuerzo en botellas de PET.

## **EASTMAN**

### **TIPO DE ANALISIS DE AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO.**

#### **COMPARACION ENTRE LA RESINA, AGENTE PROMOTOR Y CONDICIONES DE ENVEJECIMIENTO.**

1. Barra tensil húmeda sometida a flexión.
2. Barra tensil húmeda sometida a tensión.
3. Barra tensil sumergida sometida a flexión.
4. Barra para flexión sometida a oscilación elipsoidal.
5. Película sometida a tensión.

#### **COMPARACION DE BOTELLAS.**

1. Conteo de botellas agrietadas/conteo de fallas
2. Resistencia a la explosión por esfuerzo de agrietamiento.

Iniciación de grietas Internas en las botellas (crazing)

Resistencia a ciclos de lavado y llenado (retornables)

Pruebas de campo.

## **EASTMAN**

### **EJEMPLOS DE ESTUDIOS HECHOS POR EASTMAN SOBRE ESFUERZO DE AGRIETAMIENTO EN PET**

1. Efecto de envejecimiento sobre la fractura frágil por esfuerzo de agrietamiento.
2. Efecto de la temperatura sobre la fractura frágil por esfuerzo de agrietamiento.

3. Efecto de la humedad sobre la fractura frágil por esfuerzo de agrietamiento.
4. Efecto del IV sobre la fractura frágil por esfuerzo de agrietamiento.
5. Efecto de los homopolímeros contra los copolímeros sobre la fractura frágil por esfuerzo de agrietamiento.
6. Análisis de distribución de esfuerzos de acuerdo al diseño de la base usando elementos finitos.
7. Desarrollo de un análisis comparativo sobre resistencia al estallido por esfuerzo de agrietamiento.
8. esfuerzo de agrietamiento en botellas de PET.

## **EASTMAN**

### **¿COMO EVITAR LOS PROBLEMAS DE AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO?**

1. Diseñar las botellas con baja acumulación de esfuerzos en las zonas amorfas.
2. Utilizar copolímeros en aplicaciones críticas.
3. Mantener una buena IV en la preforma
4. Alcanzar buena distribución de material en la botella.
5. Evitar largos periodos de almacenaje de preformas y botellas vacías.
6. Utilizar lubricantes compatibles y a las concentraciones adecuadas.
7. Evitar la sobre carbonatación.
8. No almacenar botellas llenas a temperaturas elevadas.
9. Prevenga la exposición innecesaria de las botellas a químicos.

**ESTMAN.**

**TABLA 3.3. AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO EN BOTELLA DE PET  
FACTORES INVOLUCRADOS**

PET AMORFO	ESFUERZO	AGENTE PROMOTOR DE AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO
IV  Copolímero            contra Homopolímero.	Diseño de la botella.  Procesamiento.  a) Distribución de material. b) Esfuerzos internos. c) Superficie del molde. d) Contaminación.	Lubricantes    línea    de transporte.  Soluciones a temperaturas.
Envejecimiento condiciones almacenaje.            y de	Presiona interna.  a) Llenado. b) Manejo   almacenaje    y distribución.	Limpiadores de la línea de llenado.  Bebida.  Otros limpiadores.  Lubricantes de moldes y agentes desmoldantes.  Químicos de las cajas de cartón.

**EASTMAN**

**MECANISMO DEL AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO EN PET.**

El agente promotor puede ser atacado mediante:

1. Reducción de la energía superficial de polímero.
2. Plastificación del polímero.
3. Reacción química con el polímero.

## **EASTMAN**

### **CONCLUSIONES.**

#### **EN LA PLANTA DE PRODUCCION.**

1. Cuidar el secado del PET.
2. Cuidar la temperatura de proceso.
3. No almacenar el producto terminado en lugares muy calientes ni húmedos.
4. Siempre practicar rotación fija.
5. Identificar todos los lotes.

#### **EN LA PLANTA DE LLENADO.**

No almacenar producto en proceso ni terminado en lugares muy calientes y húmedos.

Utilizar los lubricantes apropiados.

Utilizar las soluciones de limpieza adecuadas.

Siempre practicar rotación fija.

Identificar todos los lotes.

Al distribuir procurar un buen manejo.

### **PRUEBAS A REALIZAR EN BOTELLA PET.**

#### **MUESTREO.**

- 1) Apariencia.
- 2) Dimensiones
- 3) Peso de material
- 4) Capacidad de derrame.
- 5) Distribución del material.
- 6) Presión interna.

- 7) Perpendicularidad.
- 8) Retención de carbonatación.
- 9) Carga vertical.
- 10) Resistencia al impacto.

## PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA DE BOTELLA PET EN PLANTA.

### a) APARIENCIA

1. Rayones.
2. Golpes en el acabado.
3. Cristalinidad
4. Venas.
5. Burbujas.
6. Inclusiones.
7. Periescencia.
8. Superficie rugosa.
9. Resina fundida.
10. Exceso o falta de recubrimiento.

### b) DIMENSIONES.

Para determinar si las dimensiones de la botella estan dentro de especificaciones.

### EQUIPO:

1. Calibradores de carátula o digital.
2. Calibrador pasa no pasa.
3. Calibrador de alturas.
4. Superficie planta de referencia (mármol).

### PROCEDIMIENTO.

Utilizando el equipo anteriormente mencionado se evalúan las siguientes dimensiones.

Finalizando.

\*T\* Diámetro externo de la cuerda.

\*E\* Diámetro en la base de la cuerda.

\*A\* Diámetro del anillo de seguro.

\*F\* Diámetro del "paso" de la superficie de sellado.

\*D\* Altura total final.  
\*T\* Diámetro interno final.  
EN EL CUERPO:

Diámetro de tacón  
Diámetro de cuerpo  
Diámetro de hombro  
Elipticidad  
Altura total.

#### PESO DE MATERIAL.

Se evalúa el peso de las botellas vacías de acuerdo a lo especificado por el proveedor en el plano. Su importancia tiene una relación directa con la retención de carbonatación del producto terminado.

Equipo.

Balanza con sensibilidad de 0.02 g.

Procedimiento:

1. Pesar individualmente cada botella
2. Reportar lecturas máximas, mínima y promedio.

#### CAPACIDAD DE DERRAME.

Se evalúa la capacidad al derrame de las botellas, la especificación debe indicarse y ser proporcionado por el proveedor.

EQUIPOS:

1. Balanza.
2. Perilla de ajuste de línea de llenado.
3. Termómetro.
4. Placa acrílica con dimensiones 10 X 10 cm. (ancho-largo) y 0.6 cm. De grosor. con orificio en el centro.

#### PROCEDIMIENTO.

1. Colocar la botella vacía junto con la placa acrílica, pesar y registrar (peso 1)

2. Agregar agua a temperatura conocida, hasta 1.6 mm (1/16 in) de la aboca de la botella.
3. Colocar la placa acrílica sobre la boca de la botella llena
4. Por medio de la perilla o gotero, llene el espacio de cabeza remanente hasta que la superficie de la placa esté libre de cualquier burbuja de aire (peso 2).
5. Repetir procedimiento con las siguientes muestras.
7. Dividir el peso del agua entre la densidad del agua a la tempera del análisis, obteniéndose así la capacidad al derrame.

Reportar capacidad máxima, mínima y promedio.

### **DISTRIBUCION DE MATERIAL**

Una mala distribución de material es causada por perfiles de temperatura incorrectos durante el calentamiento de la preforma. Su importancia radica en la relación directa con otros parámetros tales como: retención de carbonatación, permeabilidad de agua, cambio en volumen, resistencia al impacto, resistencia interna, adhesión de la base, etc.

#### **EQUIPO.**

- Micrómetro de espesores o equipo para determinación de espesores.

#### **PROCEDIMIENTO.**

1. Dividir la botella marcando segmentos de 2.5 cm., desde la base hasta el cuello, asegurando la inspección completa del envase. Las paredes seccionadas son entonces medidas en varios puntos por medio M micrómetro de espesores.
2. Reportar espesores máximos, mínimo y promedio.

### **PRESION INTERNA.**

La resistencia interna a la presión interna de las botellas plásticas se relaciona con el perfil de espesores y el peso del material.

#### **EQUIPO.**

- Presión hidrostática (Burst Tester)

#### PROCEDIMIENTO.

1. Llenar la botella con agua al derrame (20 °C.)
2. Colocar el equipo
3. Incrementar la presión hasta 14.1 kg/cm<sup>2</sup> (175 psi) y mantener ésta durante 30 segundos.
4. Reportar la presión y tiempo soportado por cada muestra.

#### PERPENDICULARIDAD.

El que este parámetro se encuentre fuera de estándar puede originar daños en las áreas de llenado, al cerrar a la botella.

#### EQUIPO.

- Marca de la perpendicularidad
- Base de soporte - Soporte angular en "V".

#### PROCEDIMIENTO.

1. Colocar la botella contra el soporte angular ajustando la altura de la extensión de la marca, de tal manera que la punta de ésta quede aproximadamente de 1 a 2 mm. , de la superficie de sellado, cuidando que no toque el inicio de la cuerda. Ajustar a cero la marca de perpendicularidad y marcar este punto.
2. Rotor la botella contra el soporte angular hasta completar un giro de 360° reportar el valor máximo observado.

#### RETENCION DE CARBONATACION.

El nivel de CO<sub>2</sub> en las botellas PET varia con el tiempo debido a factores como: solubilidad y permeabilidad, por lo cual es necesario determinar la relación a diferentes condiciones.

## **CARGA VERTICAL.**

La resistencia a la estiba y la presión ejercida por el pistón en la lineadora son dos aspectos relacionados directamente con este parámetro.

### **EQUIPO.**

- Carga vertical o axial.

### **PROCEDIMIENTO.**

1. Colocar la botella sobre la báscula en el equipo, dejando un espacio aproximado de 1 cm. (3/8 in) entre la boca de la botella y la parte inferior del pistón.
2. Ajustar la velocidad del pistón consultando el manual del usuario.
3. Descender el pistón.
4. Registrar la lectura en la primera deflexión detectada.

## **RESISTENCIA AL IMPACTO.**

Determinar la resistencia de la botella sometida a una caída libre. Una de las ventajas del PET. En el mercado es la resistencia al impacto.

### **EQUIPO Y MATERIAL:.**

Conducto lo suficientemente ancho para dirigir la caída de las botellas en forma vertical (fondo) y horizontal (lado).

### **PROCEDIMIENTO.**

1. Carbonatar las muestras a evaluar con un mínimo de 3.4 volúmenes.
2. Acondicionar las muestras 16 horas como mínimo a las siguientes condiciones. Ambiente (20°) y refrigeración (5°).
3. Evaluar individualmente cada botella de acuerdo a las condiciones de almacenamiento. La altura de la prueba debe ser de 1.2 m. (4 ft.) para ambas posiciones, vertical y horizontal.
4. Observar y reportar posibles rupturas, abolladuras, separación de la base, etc.

NOTA: Ninguna botella debe sufrir fractura.

## **4. PROYECTO ELECTRICO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.**

### **4.1 INSTALACION DE BAJA TENSION.**

#### **4.1.1 ALCANCE DE LOS TRABAJOS.**

El alcance de los trabajos, además de los que marque el contrato firmado con el propietario deberá cubrir la completa construcción de todas las instalaciones mostradas en los planos del proyecto, y ajustándose en todos los casos a estas especificaciones.

Toda la mano de obra será de primera clase, ejecutada por personal competente y calificado para estos trabajos, y con el empleo del equipo y herramienta especial e indicada para la ejecución de los mismos.

Para la correcta realización de estos trabajos el contratista deberá proporcionar los servicios principales que continuación se describen.

1. Supervisión de todos los trabajos y por un ingeniero especializado y con amplia experiencia en este tipo de instalaciones.
2. Prueba de todas las instalaciones de acuerdo a las normas y procedimientos correspondientes. Así mismo deberá efectuarse los ajustes necesarios y las pruebas de operación de todos los equipos instalados, antes de la recepción final de los mismos por el representante de la propietaria.
3. Recepción, custodia, almacenaje y manejo hasta su lugar de instalación de todos los materiales, equipos y accesorios a instalarse.
4. Elaboración de todos los planos necesarios o requeridos como complemento de los planos de proyecto, para mostrar con todo el detalle conveniente la posición de los elementos de la instalación con respecto a los de la obra civil, y a equipos, mobiliarios o instalaciones de otros contratistas. Esto con el fin de que todos queden debidamente coordinados y sin interferencias indeseables.
5. Actualización de los planos de proyecto al término de la ejecución de los trabajos, a fin de mostrar las instalaciones tal como quedaron. Para este propósito, deberán emplearse maduros de planos arquitectónicos actualizados. Los planos actualizados podrán resolver a base de injertos de las zonas modificadas en los planos originales siempre y cuando se realice con

cuidado y la modificación no sea de gran magnitud, así como también, el contratista deberá entregar un plano maduro que no sea de gran magnitud. De cualquier forma, el contratista deberá entregar un plano maduro que no sea en el que se hicieron los injertos, sino una copia maduro del plano injertado.

6. Mantenimiento de buenas condiciones de limpieza en todas las áreas de trabajo, eliminando diariamente todos los desperdicios y sobrantes de material.
7. Oficinas y almacenes adecuados, contruidos con materiales no combustibles, en las áreas que señale la dirección de obra. Estas construcciones deberán ser removidas completamente al término de la obra, dejando el lugar limpio y libre de escombros. Todos los materiales inflamables o de fácil combustión deberán almacenarse preferentemente en una sección especial aislada de las oficinas y bodega general con un Acceso restringido y/o debidamente controlado, colocando avisos de NO FUMAR en la entrada. En lugar visible y a una distancia mínima de 5.00 m., de la entrada, se colocaran extintores del tipo adecuado, de acuerdo a los materiales que se almacenen en esta sección.
8. En lo que se refiere al suministro de materiales y accesorios para la conexión de motores de instalación hidrosanitaria, de ventilación y seguridad; el contratista deberá considerar lo siguiente:

Los materiales y accesorios a instalar por el contratista son los que a continuación se describen:

- a. Tuberías y accesorios (coples, curvas, cajas de conexión, etc.), hasta llegar al equipo por alimentar.
- b. Conductores, según se indica en los planos de proyecto, hasta llegar a los equipos a conectar.
- c. En caso de no existir alambrado definitivo en proyecto para el sistema de seguridad, se dejarán guiadas las tuberías correspondientes.
- d. Interruptores de seguridad, con los puentes del calibre del conductor alimentador en lugar de los portafusibles.
- e. Arrancadores con elementos térmicos (según datos de placa del motor correspondiente), bobina a 127 V., y estación de botones o selector de operación (según el sistema a emplear).

Las instalaciones anteriores deberán ser probadas para que el proveedor y/o contratista correspondiente haga las conexiones y pruebas de los equipos.

Las pruebas y trabajos a ejecutar son las siguientes:

- a. Verificar tensión entre fases y neutro y entre neutro y tierra de los conductores eléctricos que llegan a los arrancadores y a los interruptores de seguridad.
- b. Identificar puntas entre el motor o equipo a conectar y el arrancador o desactivador correspondiente.
- c. Verificar capacidad del arrancador, elementos térmicos e interruptores de seguridad, según los datos de placa de motor correspondiente.
- d. En el caso de instalación de seguridad, identificar todas las puntas en cada caja de conexiones.

En adición a lo anterior, el contratista deberá considerar en su proposición todos los trabajos, servicios y suministros que se indiquen o incluyan en el pliego de condiciones generales para el concurso y el contrato correspondiente.

En caso de cualquier discrepancia entre el alcance de los servicios antes descritos y lo indicado en el pliego de condiciones generales y/o el contrato, prevalecerá lo indicado en estos últimos documentos.

## **4.1.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE MATERIALES.**

### **REQUISITOS MINIMOS DE LOS CONDUCTORES.**

Todo conductor empleado para transmitir energía debe llenar cierto número de requisitos, de acuerdo con las condiciones en que es usado, el servicio que debe desarrollar, el valor y costo de la energía, etc. Pero en cualquier caso, ese número nunca es menor de cinco, a saber:

1. Requisito mecánico.
2. Requisito térmico
3. Requisito de regulación.
4. Requisito de ionización, o escape.
5. Requisito económico.

El orden en que son enumerados indica su importancia relativa, en el caso general, de manera que el cumplimiento del primero es absolutamente indispensable, en tanto que el del último puede ser propuesto cuando haya motivo poderoso para ello.

En cierta ocasión parece que no son tomados en cuenta uno o dos de esos requisitos. Se dice, por ejemplo, que una barra colectora queda determinada por calentamiento, y puede creerse que los demás no importan; pero si se estudia a fondo la cuestión, se encontrará que esa barra cumple automáticamente los cinco requisitos al cumplir el No. 2.

Otras veces se habla de ciertas líneas que han sido proyectadas basándose en resistencia mecánica, como si solamente hubiera un requisito que cumplir; pero es fácil comprobar que los otros 4 están satisfechos al mismo tiempo.

La explicación se basa en el siguiente principio:

Si se exceptúa el requisito económico, que puede ser considerado como muy elástico, los demás están sujetos a la ley de que todo conductor que cumple un requisito sigue cumpliendo cuando su calibre aumenta. En otras palabras, que si para llenar cada uno de los requisitos por separado, un

conductor debe tener otras tantas secciones rectas distintas, al tomar la mayor de ellas, quedan cumplidos todos los requisitos considerados.

En consecuencia, lo que ocurre en algunos casos especiales, es que la experiencia ha enseñado ya cual es la sección más grande entre las correspondientes a cada requisito, y se adopta esta sin titubeos.

## 1. REQUISITO MECANICO.

Se enuncia diciendo que todo conductor deben tener la suficiente resistencia mecánica para soportar, sin romperse y sin deformarse permanentemente, los esfuerzos aplicados al mismo, en el servicio normal que debe desempeñar, y aun los que sean anormales, pero previsibles técnicamente.

En el caso de líneas aéreas, los esfuerzos normales son:

El peso del conductor y del hielo que pudiera depositarse en zonas frías; el efecto de viento a una velocidad límite, sobre el conductor, con, o sin hielo; los efectos de la contracción a bajas temperaturas; los esfuerzos de corte en los amarres o mordazas de los aisladores; los resultados de aplicar un instrumento cortante al conductor para desnudarlo; etc.

Los esfuerzos anormales son:

La presión de escaleras apoyadas contra líneas; la suspensión de personal sobre las mismas; el esfuerzo de los huracanes; la presión de árboles o ramajes; la tensión debida a movilidad de los apoyos, con motivo de la ruptura de uno o más cables, o la caída de una torre; la falla de una "retenida", etc.

En el caso de conductores entubados, los esfuerzos normales:

Proviene del arrastre de los hilos a lo largo de los tubos o doctos; la presión en los ángulos de las tuberías; el peso de los conductores en los tramos verticales; la flexión de los alambres en las cajas de conexión; etc.

Entre los anormales se halla:

La tirantez en apagadores y contactos; la compresión por exceso de hilos en el tubo, o de juntas en las cajas; y muchos mas que se presentan eventualmente, sin olvidar los esfuerzos de corte por falta de monitores en la boca de los tubos.

Ante esfuerzos tan variables, no es posible fijar de un modo absoluto las dimensiones y características de un conductor, siendo que el peso del mismo es uno de los motivos de esfuerzo, y, al crecer la resistencia mecánica, crece también el peso. Para líneas aéreas sostenidas entre apoyo distante, se ha tomado como base el valor del "claro" para definir cuales son las secciones de metal

que llenan el requisito mecánico. Con dichos valores se ha formado la tabla que sigue, fundada en la técnica norteamericana, y el C.N.E.

**TABLA 4.1 CALIBRE MINIMOS EN MILIMETROS CUADRADOS SEGUN LA DISTANCIA ENTRE APOYOS.**

MATERIAL	30 m.	45 m.	60 m.	90 m.
Cobre estirado enfriado.	8	13	21	33
Cobre recocido.	13	21	42	No
Aluminio duro.	—	42	53	—
Aluminio reforzado.	—	13 (x)	21 (x)	—

La palabra "No" significa que no se permite usar conductores recocidos en claros mayores de 60 m. Las rayas "—" significan que no es normalizada la sección en dichos claros.

Para los claros menores de 20 m., y como conductores de servicio de instalaciones pequeñas, se admite hasta 5,3 mm<sup>2</sup>. De cobre semi-duro. En claros mayores de 90 m. será necesario practicar un estudio especial, consultando a la oficina legal correspondiente.

El aumento de calibre para grandes claros se debe al efecto del viento, principalmente, el cual produce esfuerzos proporcionales al diámetro del conductor, y al cuadrado del claro; de manera que, si se aumenta el diámetro 10%, el esfuerzo del viento aumenta 10 % también, mientras que la sección transversal crece 21 %, lo mismo que la tensión límite elástica, y la de ruptura.

## 2. REQUISITO TERMICO.

Se expresa diciendo que todo conductor debe alcanzar, en operación normal, una temperatura moderada, de acuerdo con la clase y calidad de su revestimiento, y de las características de su instalación, que no produzca deterioro notable al primero, ni presente peligro para la seguridad de la última,

Es obvia la importancia de la temperatura en un conductor cubierto con materiales orgánicos naturales, o sintéticos; pero siempre expuestos a evaporación, liquefacción, carbonización, ignición, o destrucción en cualquiera forma. Los aislamientos de hule, en particular, son muy sensibles al calor, convirtiéndose en masas duras, quebradizas y sin rigidez dieléctrica, algunas veces; y en otras, reblandeciéndose y desprendiéndose del conductor.

Cuando el conductor es desnudo, no hay límites de temperatura por concepto de deterioro del forro, pero si lo hay por los motivos siguientes:

- a. La resistencia ohmica del conductor de cobre aumenta 37% por cada 100 ° C arriba de 35 ° C, lo que hace mayores las pérdidas por efecto Joule, y la regulación de la línea, es decir, la pérdida resistiva de potencial.
- b. La dilatación exagerada del conductor puede ser causa de acercamiento a tierra u otros conductores puede ser causa de acercamiento a tierra u otros conductores de un nivel inferior, en forma peligrosa; por tal motivo los situados en la misma vertical, deben estar separados especialmente.
- c. El aire que rodea a un conductor muy caliente, y un potencial elevado, es fácilmente ionizado, y puede dar lugar a una descarga coronaria permanente, radio-interferencia, corrosión química, y disipación de energía.
- d. La dilatación del herraje de un aislador que soporta un conductor muy caliente, puede ser causa de deterioro mas o menos grave del aislador, a causa de esfuerzos internos anormales.

### 3. REQUISITO DE REGULACION.

Se entiende por regulación el cambio de tensión en una carga alimentando por generado o transformador de potencial invariable, cuando dicha carga se reduce progresivamente hasta cero; y se expresa en valor absoluto por la diferencia entre la tensión máxima y la normal; o en por ciento, por el cociente de esa diferencia entre la tensión normal, multiplicada por 100. Por ejemplo, una carga recibe 220 Volts. en operación normal; pero al desconectar paulatinamente esa carga, la tensión sube a 224.4 Volts. Se dice entonces que la regulación es 4.4. Volts; también se dice que la regulación es de 2 %, puesto que  $4.4/220 \text{ Volts} = 0.02$ .

Como la causa de la regulación es la caída de potencial en los conductores de alimentación, la regulación esta íntimamente ligada a las características de la línea; recíprocamente, las constantes de una línea determinan la regulación de ella.

Si se trata de un motor, cuando baja la tensión, también baja el flujo magnético en la maquina y, para producir el mismo par, el motor recibe mas corriente. Pero entonces, el efecto Joule es mayor y los devanados pueden ser perjudicados por exceso de temperatura. En el caso de motores previstos de conmutador, la velocidad de la maquina se altera, y estos es un factor de mala operación.

### 4. REQUISITO DE IONIZACION O ESCAPE.

En los conductores con forro, usado en líneas de tensión baja o mediana, la cubierta aislante impide normalmente cualquier escape de corriente, si el tipo de aislamiento y su cantidad estan apropiados para las condiciones del lugar y la forma de la instalación. Pero si la tensión de línea es elevada, la energía puede escaparse del conductor aunque este forrado, debido a un fenómeno característico de las tensiones mayores de 15 o 20 kilovoltios.

El aire que esta en contacto con un conductor desnudo, se halla sometido a un esfuerzo dieléctrico, mas o menos intenso, que puede ser causa de ionización. Cuando el potencial del conductor va creciendo a partir de cierto limite, se produce en primer lugar una ionización invisible en los puntos mas salientes y rugosidades del conductor. Después la ionización gana en volumen a medida de que sube el potencial, se hace sonoro y visible, cada vez mas, hasta que una descarga violenta entre polos opuestos inicia un arco que obliga a suspender la corriente y el servicio de la línea.

Naturalmente, la tensión de trabajo normal de la línea no debe jamas llegar al extremo mas alto del fenómeno; pero tampoco debe permitir que sobrepase exageradamente al valor crítico de ionización, por tiempo largo, a causa de los efectos nocivos sobre conductores y el sistema, a saber.

- a. Corrosión del metal por el ozono y compuestos de oxígeno y nitrógeno, cuya formación se debe a la ionización del aire, y que la humedad favorece en gran manera, por la aparición de ácido nítrico.
- b. Predisposición a recibir descargas atmosféricas directas, por la presencia de iones abundantes alrededor de los conductores.
- c. Radio-interferencia y tercera armonía de la línea.
- d. Disipación considerable de energía, con un valor anual sorprendente.

## 5. REQUISITO ECONOMICO.

Si para transportar una potencia determinada cierta distancia y con una tensión dada, se emplean conductores delgados, el costo de la líneas, y los gastos posteriores derivados del capital invertido, serán, pequeños; pero la energía disipada por efecto Joule será muy grande y su valor podrá exceder y anular cualquier economía que pudiera prevenir del poco capital invertido. Si, por lo contrario, se emplean conductores de calibre excesivo, la pérdida de energía podrá resultar despreciable; pero los gastos derivados del capital invertido serán tan grandes que la línea no será costeable. En ambos casos la pérdida en efectivo será demasiado grande, y la explotación resultara antieconómica.

En un termino medio esta la solución apropiada: ni demasiado gastado de capital, ni demasiada disipación de energía. Este es el problema que enfoco por primera vez Lord Kelvin, y al cual dio la ley siguiente:

Quando la energía disipada por efecto Joule tiene un valor fijo por unidad, independiente del costo que puedan tener los conductores, la sección más económica es aquella que hace iguales los gastos por concepto de capital invertido, y por concepto de energía disipada. Todos los materiales que se describen en estas especificaciones deberán satisfacer las normas vigentes, correspondientes de la dirección de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento industrial. En los casos que se señale una marca de materiales, es para indicar la calidad que se esta solicitando, pudiendo siempre ser sustituida por una equivalente aprobado por la Dirección de la obra.

### 4.1.3 ESPECIFICACIONES PARTICULARES.

#### ESPECIFICACION No. 1.

- TUBERIA Y CONEXIONES.

Conduit de acero galvanizado, pared gruesa, extremos con rosca NOM-B-209-1967.

#### ESPECIFICACION No. 2.

- TUBERIA.

Conduit flexible, tipo liquid-tight, (a prueba de liquido) de lamina de acero galvanizada, rolado en frio de construcción engargolada, con recubrimiento de P.V.C.

- CONEXIONES.

De aluminio fundido, para uso a prueba de liquido.

#### ESPECIFICACION No. 3.

- CHAROLA Y CONEXIONES.

Fabricadas en aluminio estruido grado estructural, libre de cobre especificación ASTM, con diseño de todos los elementos componentes, según especificación NEMA.

#### ESPECIFICACION No. 4.

- REGISTROS.

De aluminio fundido libre de cobre, con acabado pulido, protegido con una capa de laca de aluminio, de diseño adecuado para alojar empalmes y hacer derivaciones, con tapa y empaque.

- **REGISTROS ESPECIALES.**

De aluminio de acero rolado en frío, de 0.8 mm., de espesor mínimo de las dimensiones indicadas en el proyecto, con el número de aberturas circulares de los dos diámetros requeridos por el diseño, con tapa atornillable y protegidos con dos manos de pintura anticorrosiva.

**ESPECIFICACION No. 5.**

- **CONTRA-TUERCA.**

Troquelada de acero galvanizado, con rosca para tubería conduit roscada, con estrías y nervaduras.

- **MONITORES.**

Del tipo fundido, con rosca interior.

**ESPECIFICACION No. 6.**

- **CONDUCTORES DE COBRE.**

Los conductores de cobre serán de cobre electrolítico suave o recocido, 97.3 % de conductividad. El aislamiento de los conductores será THW, 90 ° C, antillama. Deberán satisfacer las normas de la A.S.T.M., con relación a sus características y manufacturas, y los calibres estarán de acuerdo con la clasificación A.W.G., tipo deslizando y antillama (resistente a la propagación del fuego, y baja emisión de humos.).

- **CABLE AISLADO B.T.**

Con aislante termoplástico THW- LS,. Resistente al calor, húmedo y agentes químicos, y propagación de incendios; emisión reducida de humos y gas ácido; para operar a una temperatura máxima de 90 ° C, y una tensión máxima de 600 V. NOM-J-10.

- **CABLEADO AISLADO A.T.**

Cable de energía tipo C.F.E., con aislamiento de etileno propileno (EP), pantalla de aislamiento, de semiconductor estruido, pantalla metálica de cobre, cubierta de P.V.C. rojo cable tipo DS, para 35 KV, Según la especificación C.F.E., E-0000-16 para sistemas normalizados de distribución.

## ESPECIFICACION No. 7.

### ACCESORIOS Y HERRAJES.

- APAGADORES.

Para montaje oculto, para 10 Amp., mínimo, a 127 V., tipo unidad intercambiable, con balancín de tecla fosforescente y contactos de placa. De una o tres vías según se indique en proyecto.

- CONTACTOS.

Para montajes ocultos, para 15 Amp., a 127 V., tipo dúplex polarizado, o según se indique.

- TAPAS.

Para apagadores y contactos se usaran placas de urea. Para condulet será de tipo FS con empaque de neopreno.

## ESPECIFICACION No. 8.

### MATERIALES VARIOS.

- ZAPATAS.

Zapatas mecánicas de cobre, con barreno y mordaza de operación con tornillo, mca. Mercury, tipo TM o equivalente aprobado.

- EMPALMES.

Empalmes para unir cables en cajas de conexiones, para calibrar 12 y 10, mca. Burndy Cta. No. BS10, o equivalente aprobado. Para calibrar 8 y mayores, se empleara conectores bipartidos tipo KS o conectores reductor tipo QR, mca. Burndy o equivalente aprobada.

- TERMINALES.

Terminales aisladas para conexión de cables o tableros, arrancadores o equipos, fabricadas en cobre electrolítico estanado, conexión a compresión con el cable y terminal tipo anillo, para calibres 10 y menores Cat. BA, mca. Burndy o equivalente aprobada. Para calibres del 8 y mayores, cat. YA mca. Burndy o equivalente aprobada.

- **CINTA DE AISLAR.**

Cinta eléctrica aislante plástica, de alta resistencia a los aceites, humedad o corrosión, con resistencia dieléctrica mínima de 900 V., Mac. Burndy o equivalente aprobada.

- **CONECTORES PARA TUBOS.**

Conectores para tubos conduit de 51 mm. Y mayores, que garanticen la continuidad de las canalizaciones, tipo GG con trencilla tipo "B", de los diámetros y ampacidad correspondientes, mac. Bundy.

#### ESPECIFICACION No 9.

- **LUMINARIAS.**

De acuerdo a la relación de conceptos y cantidades del catalogo de conceptos.

#### ESPECIFICACION No. 10.

- **TABLERO DE CONTROL.**

Serán tableros para servicios interior, construcción NEMA-1, en lamina de acero rolado en frío, fosfatizada y acabada en esmalte epoxica gris cocido al horno.

Con frente tipo embutir o sobreponer, según se indique en los cuadros de carga correspondiente, donde también se indica el número de polos y capacidad de los interruptores termomagnéticos derivados en cada caso.

Los tableros llevaran:

- Interruptor principal de la capacidad indicada en los cuadros de cargas.
- Barra para conexiones de tierra, según el número de circuito del tablero.
- Barra para conexión de tierras, según el número de circuitos del tablero.

Los interruptores serán del tipo atornillable y de la capacidad interruptiva que se señala en el diagrama unifilar correspondiente.

## ESPECIFICACION No. 11.

- INTERRUPTOR DE SEGURIDAD.

Serán interruptores de seguridad tipo navajas, servicio ligero, para operar como desconectores de motores, en gabinete Tipo NEMA-1 para servicio interior, de la capacidad indicada en proyecto para operación a 220 V. Y 440 V. Serán tipo NEMA-1 para servicio interior.

## ESPECIFICACION No. 12.

- INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

Serán interruptores termomagnéticos en caja moldeada, con marco y capacidad interruptiva según se especifique en el diagrama unifilar, para una tensión máxima de 600 V. En corriente alterna, 60 Hz., de la capacidad y número de polos que se indica en el proyecto.

Tendrán mecanismos de disparo libre, de apertura y cierre rápidos, asegurando la apertura o cierre de todos los polos simultáneos. Contarán con mecanismos de disparo a base de una unidad integrada por elementos térmicos y magnéticos en cada polo. Serán construidas satisfactoriamente las normas NOM-J-265, así como las NEMA ABI-1975 y UL489.

## 4.1.4 PROCEDIMIENTOS DE EJECUCION.

La mano de obra será de primera calidad ejecutada por personal especializado y con las herramientas adecuadas para este tipo de trabajo.

Se designará una persona idónea en calidad de residente, responsable de la supervisión, coordinación, ejecución y total terminación de los trabajos, quien estará al frente de la obra.

## TUBERIAS Y DUCTOS.

Las dimensiones y cantidades de tubería se especificará en los planos y listados de materiales del proyecto. Siempre que la distancia lo permita, se instalarán tubos enteros, evitando el uso excesivo o innecesario de paderías o coplees, esto es con la idea de dar mayor rigidez a la instalación.

Todas las tuberías y conductos para canalizaciones estarán perfectamente lisos en su interior y los extremos estarán libres de rebabas y astrias cortantes.

Todas las tuberías soportadas de losas, trabes o muros se sujetaran firmemente por medio de soportes y abrazaderas metálicas. De ninguna manera se sujetaran con soportes de madera o amarres de alambre; las tuberías verticales de alimentación irán firmemente sujetas con abrazaderas metálicas al sistema de soporte estructural (tipo Unistrut) que se utilice.

En cualquier caso, las tuberías deberán tener una separación mínima de 5 mm. , con respecto a los muros y losas. Ninguna tubería conduit eléctrica se sujetara a otras instalaciones como tuberías de plomería, ductos de aire acondicionado, estructuras de falsos plafones, etc.

Las tuberías se instalaran soportadas en el techo bajo de las losas y estructuras, salvo en los casos especificados en que se indique que deben instalarse ahogadas en las losas firmes. En los casos en que se requiera instalar canalizaciones ahogadas en las losas, las tuberías y cajas se sujetaran firmemente a la cimbra después de que se haya colocado el armado, con el objeto de evitar que sean desplazadas al efectuar el colado. Las tuberías para instalaciones eléctricas se instalaran separadas de otras instalaciones, principalmente de aquellas que puedan elevar la temperatura de los conductores.

En general el sistema de Conduits deberán córrese paralelamente o en ángulo recto con respecto a los elementos estructurales y deberán fijarse con los soportes adecuados y colocados en forma espaciada, para evitar que las tuberías sufran curvaturas en sus puntos de acoplamiento (3.00 m. máxima y 1.50 m. mínima).

Los conduit instalados bajo piso, deberán ir colocadas a una profundidad adecuada y cubiertos con concreto de alta resistencia para evitar que sean afectados por cargas rodantes que circulen sobre ellos. Se evitara instalar tuberías eléctricas en ductos o trincheras horizontales destinadas a instalaciones hidráulicas.

En los casos en que sea indispensable, se procurara llevarlas en la parte superior del ducto, en tuberías herméticas, con registros tipo conduit, en previsión de inundaciones. Todas las tuberías o canalizaciones eléctricas se colocaran en tal forma que no reciban esfuerzos provenientes de la estructura del edificio. Cuando se requiere instalar tuberías que atraviesen juntas constructivas, se unirán con elementos flexibles capaces de absorber los movimientos de edificio.

Todas las tuberías para alimentación a motores o equipos que pudieran tener vibraciones, deberán rematarse en las cajas de conexiones con tuberías flexibles y sujetarse por medio de conectores especiales.

Todas las tuberías sujetaran a las cajas de los registros, a las cajas de salida, a las cajas de los interruptores y tableros por medio de dos contratruercas y un monitor.

La sujeción de cajas tipo conduit será exclusivamente con una contratruerca y sin monitor. En la instalación de tuberías entre registros consecutivos no se permitirán mas de dos curvas de 90 grados o su equivalente. Cuando sea necesario hacer curvas o dobleces (bayonetas) en tuberías, se harán con dobladores especiales. Se utilizaran dobladores manuales para diámetros de 25 mm., y menores, para diámetros mayores se emplearan dobladores hidráulicos.

Para curvas de 90 grados en cualquier diámetro de tuberías, de P.V.C., utilizaran curvas hechas por los mismos fabricantes de tuberías. En tendidos de tuberías muy largas, se colocaran registros a cada 20 m, como máximo, obligando que queden en lugares accesibles.

Las ranuras para alojar tuberías en los muros se harán en donde se indique, según planos del proyecto y bajo autorización y vigencia de Ingeniero residente de la obra, tratando de evitar estas en lo posible en largos recorridos horizontales. Todas las instalaciones soportadas en las losas o traveses se sujetaran perfectamente por medio de taquetes metálicos de expansión para cargas considerables, tales como soportes colocados con herramientas de explosión o taquetes expansivos de plomo para cargas ligeras, tales como tuberías verticales, tuberías individuales con diámetros de 64 mm., etc.

Queda prohibido el uso de tubería y accesorios hidráulicos para sustituir el tubo conduit y sus accesorios. No se aceptaran, por ningún motivo, tuberías que al doblarlas haya sufrido disminuciones considerables en su diámetro interno o roturas. Tampoco se acotaran si sus dobleces son defectuosos por no haber sido hechos con herramientas adecuadas.

Las curvas de los tubos se ejecutan con herramientas adecuadas, como se menciona anteriormente, y los radios internos de estas curvas estarán de acuerdo con el diámetro de la tubería en la forma siguiente:

Diámetro del tubo	Radio mínimo interior.
13 mm. (1/2")	85 mm.
19 mm (3/4")	126 mm.
25 mm (1")	160 mm.
32 mm (1 1/4")	210 mm.
38 mm (1 1/2")	245 mm.
51 mm (2")	315 mm.
63 mm (2 1/2")	376 mm.
76 mm (3")	478 mm.
102 mm (4")	676 mm.

Las tuberías conduit se conservaran limpias en su interior, para lograrlo, una vez terminada de colocar cada tubería se deberá taponar en sus extremos para evitar la entrada de cuerpos extraños, principalmente escurrimiento del concreto que al solidificarse forme tapones difíciles de desalojar.

En todas las tuberías para teléfonos, televisión y sonido, se dejara una guía de alambre galvanizado calibre No 14. En tuberías que deban instalarse en relleno de piso, losas u otros elementos estructurales donde las tuberías quedaran ahogadas posteriormente, también deberán dejarse guías de alambre galvanizado, a efecto de comprobar con la mayor brevedad después del colado que tuberías quedaron libres de obstrucción (por aplastamiento mecánico). Y en caso de que se detecten algunas obstrucciones con las guías, proceder a efectuar los arreglos conducentes de inmediato.

Las cajas para apagadores, contactos, tableros, registros, teléfonos, t.v., sonido, intercomunicación, etc., colocadas en muros, se instalaran sin ninguna desviación con respecto a la

posición horizontal, vertical o de la profundidad. En los casos en que se requiera empotrarlas en losas o muros, las cajas quedaran remetidas como máximo a 4mm., del plano, del muro o de la losa.

## **ALAMBRE Y CONEXIONES.**

No se iniciara el alambreado en ninguna tubería que no este totalmente terminada y perfectamente fija, previa autorización del ingeniero supervisor de obra. Antes de iniciar los trabajos de cableado, se procederá a comprobar que la tubería se encuentra limpia y debidamente acoplada.

El numero de conductores permisibles en un tubo conduit depende del diámetro de los tubos y del calibre de los conductores, pero en todo caso, se apegara a las tablas autorizadas por las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas de la SECOFI, y por ningún motivo se usaran mas del 40 % de relleno. Así como también, queda estrictamente prohibido que las conexiones eléctricas entre conductores queden en el interior de los tubos conduits aun en el caso de que queden perfectamente aisladas.

Invariablemente quedaran todas las conexiones eléctricas dentro de las cajas de registro colado para tal objeto. Si los tramos de tuberías por alambre son relativamente cortos y en los registros intermedios no se necesita hacer derivaciones, los conductores deberán introducirse en un solo tramo, sin hacer cortes de los registros.

En el caso de tramos de considerables longitud, deberá empezar a alambreado a la mitad del tramo o dividir la trayectoria en varios espacios para evitar el exceso de conexiones, además con este medio se lograra maltratar lo menos posible los conductores. Todos los conductores antes de introducirse en el conduit, deberán arreglarse de tal manera que no se enreden, ni presenten cocas o nudos. Además sus extremos estarán debidamente marcados para evitar confusiones posteriores.

Al hacer el cableado es necesario que aparte del personal encargado de jalar la guía, hay personas en los registros intermedios que guien los conductores y eviten que estos se atoren y sufran deterioros. Para marcar los conductores se usaran letras y números de la marca TESA o similar, las cuales deberían conservarse después de hechas las conexiones finales en los tableros, motores arrancadores, etc.

No se permitirá el uso de aceite o grasas lubricantes para facilitar la colocación de los conductores dentro del tubo conduit cuando la longitud y el numero de conductores lo requiera, se usara talco, grafito u otra sustancia inocua para el aislamiento de los conductores. Esto se hará con la autorización y bajo vigilancia del Ingeniero Supervisor.

Todas las conexiones entre conductores de cualquier calibre, se harán por medio de conductores Burndy o similar, encintadas con cinta Scotch No. 33, hasta lograr un aislamiento mínimo para 300 V., y recubriendo esta con cinta fricción como acabado final. Al hacer una conexión de empalmes se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- a. La resistencia mecánica de las terminales conectadas debe ser equivalente a la del conductor.

- b. Eléctricamente las terminales proporcionaran una conductividad eléctrica equivalente a la del conductor considerado de una sola pieza.
- c. La rigidez eléctrica del aislamiento debe ser cuando menos la del aislamiento original de los conductores para sus voltajes especificados.

Se harán pruebas de rigidez dieléctrica del aislamiento de los conductores de todos los circuitos. Estas se harán por medio de Megger, con escala adecuada para lograr lecturas confiables desde 5 000 ohms., hasta 1 Mohm entre fase y tierra. En caso en que se encuentre alguna falla, se procederá a corregir o cambiar los conductores dañados. Los valores mínimos que deberán encontrarse al hacerse las pruebas son los siguientes:

CALIBRE DEL CONDUCTOR.	RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO MEGAOHMS PARA CONDUCTORES CON AISLAMIENTO PARA 600 V.
No. 12 AWG y menores.	1.000.
No. 10 AWG a No. 8 AWG.	0.250.
No. 6 AWG a No 2 AWG.	0.100.
No. 1/0 AWG a No. 4/0 AWG.	0.050.
No. 250 MCM a No. 750 MCA.	0.025.

**NOTAS:**

- a. En cualquier caso, deberán cumplirse por lo señalado en la tabla de las NTIE.
- b. Los valores de estas tablas deben medirse con todos los equipos que normalmente forman parte de los circuitos, tales como tableros, portafusibles, medios de desconexión y dispositivos de protección contra sobrecorriente, instalados en su lugar y debidamente conectados.
- c. Cuando estén conectados los circuitos derivados de las lamparas y los aparatos de utilización, la resistencia mínima de aislamiento de los circuitos pueden tomarse como la mitad de los valores de estas tablas.
- d. Donde las condiciones ambientales sean tales que las canalizaciones o equipos estén expuestos a una humedad excesiva, puede ser necesario considerar valores diferentes a los de estas tablas.

Estas pruebas se harán en presencia del Ingeniero Residente de la obra y a satisfacción del mismo.

## **COLOCACION DE APAGADORE, CONTACTOS Y OTROS ACCESORIOS.**

En todos los tableros deberá dejarse una lista de los interruptores con una leyenda claramente escrita y protegida con mica, indicando los circuitos que controlan, o listando con letreros tipo Dymo. Una vez conectadas las cargas a los tableros, se balancearan sus fases. Los conductores dentro de los tableros estarán perfectamente alineados.

## **CONEXIONES A TIERRA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS.**

A continuación se señalan las formas en que deberán conectarse a tierra los diferentes equipos y accesorios que integran las instalaciones eléctricas, pero en cualquier caso, la obra deberá cumplir con todo lo indicado por la sección 206 de la NTIE.

Los tableros, interruptores y en general cualquier accesorio que se instale dentro de caja y/o gabinete, tendrá su conexión a tierra con él o los cables instalados para tal efecto, mediante el uso de zapatas, las cuales podrán ser proporcionadas con el gabinete o serán instaladas por el contratista. En el mismo caso anterior se encuentran las carcazas de los motores.

Todas las canalizaciones metálicas, como son tuberías, charolas portacables, ductos cuadrados, caja de conexiones, deberán de conectarse físicamente a tierra a partir del gabinete donde se iniciara su instalación. Para lograr esta conexión a tierra, se interconectan los tubos que llegan o salen de cada gabinete, con una trencilla de cobre, con capacidad mínima igual a la del conductor equivalente seleccionado en la tabla 206.50 de las NTIE, considerando para la selección la capacidad del interruptor principal; esta trencilla se fijara a las canalizaciones mediante abrazaderas especiales para este efecto.

En tubería de 51 mm., y mayores, se instalaran abrazaderas y trencillas en cada conexión de tubería, para garantizar la continuidad de conexión a tierra, lo mismo se hará con ductos cuadrados; en el caso de charolas portacables, la unión se hará a través de sus propias conexiones, pero en cualquier caso, se deberá garantizar y probar una resistencia de 0 (cero) ohms. A tierra. En el caso de los circuitos de iluminación, donde no se ha proyectado un cableado de tierra, se emplearan las canalizaciones como conductores de tierra, haciendo conexión física con alambres y zapatas, entre las cajas de conexiones y los gabinetes y balastros de las iluminaciones tipo fluorescentes y de descarga de alta intensidad.

#### **4.1.5 PRUEBAS DE OPERACION DE ACCESORIOS INSTALADOS POR EL CONTRATISTA.**

Todas las instalaciones ejecutadas por el contratista deberán ser probadas en cuanto a operación, para lo cual se llevaran a cabo e siguiente procedimiento.

##### **ALIMENTADORES A TABLEROS.**

- a. Verificar tensión entre fases, entre fases y neutro, entre neutro y tierra y corriente sin carga.
- b. Verificar tensión entre fases, entre fases y neutro entre neutro y tierra y corriente con carga a 180 % mínimo.
- c. Verificar calibre de los conductores en función de los resultados anteriores.

##### **TABLEROS.**

- a. Verificar ampacidad del interruptor general.
- b. Operar tres veces consecutivas al interruptor principal sin falla de operación.
- c. Operar tres veces consecutivas, sin falla de operación, cada uno de los interruptores. termomagneticos derivados.

##### **ARRANCADORES E INTERRUPTORES DE SEGURIDAD.**

- a. Verificar la capacidad del interruptor, del arrancador y de los elementos térmicos instalados contra la potencia de corriente de placa del motor correspondiente.
- b. Verificar conexión a tierra del gabinete del arrancador y del interruptor.
- c. Operar el arrancador tres veces consecutivas sin falla de operación.

##### **LUMINARIA Y APAGADORES.**

- a. Encender, mediante apagador (si existe) o mediante interruptores termomagneticos, cada circuito de iluminación tres veces consecutivas, sin falla de operación de alguna parte de la(s) luminaria(s) y/o del apagador.
- b. Verificar la puesta a tierra de los gabinetes y reactores de las luminarias, mediante mediciones de resistencia a tierra, la cual deberá ser cero.

##### **CONTACTOS.**

- a. Verificar tensión entre fases y neutro, así como entre fases y tierra.
- b. Conectar alguna carga (foco a 100 W), para verificar operación fuera de corto circuito.

## **4.2 MEMORIA MECANICA DE LA PLANTA.**

### **4.2.1 FALLAS TRIFASICAS EQUILIBRADAS.**

La justificación para considerar solamente fallas tiránicas equilibradas esta en el hecho de que las corrientes de fallas entre líneas nunca son mayores que las trifásicas (aproximadamente 87%). Por otra parte las fallas monofásicas solo en muy raras ocasiones son mayores que las trifásicas (máximo 125%). Además los interruptores trifásicos soportan mejor una falla monofásica o bifásica. Debido a que los esfuerzos mecánicos y la ionización son menores cuando ocurren en una o dos fases.

La corriente de una falla trifásica equilibrada es igual en las tres fases, por lo que puede calcularse para una sola fase, con el voltaje entre línea y neutro y su impedancia equivalente. En el calculo de fallas se utilizan los voltajes nominales y las relaciones de transformación nominales de los transformadores.

### **RELACION ENTRE REACTANCIA Y RESISTENCIA.**

La relación entre reactancia y resistencia varia dependiendo del tipo de red que se tenga. En sistemas de mas de 600 Volts se puede encontrar que la relación  $X/R$  es de 5:1 hasta 50:1 (a veces aun mayor). En cambio, para baja tensión, esta relación disminuye considerablemente, hasta el grado de que en el calculo de la sección de los conductores de circuitos derivados podría despreciarse la reaclancia. Por lo tanto resulta recomendable tener un diagrama de reactivancias y otro de resistencias para conocer la relación  $X/R$  y utilizarla de acuerdo con lo especificado en el estándar ANSI/IEEE 141-1986.

### **COMPONENTE DE CORRIENTE DIRECTA.**

BVC Debido a que la falla puede ocurrir en cualquier instante de la curva de voltaje, y a que los voltajes de las fases estan desfasados  $120^\circ$  eléctricos, no existe simetría entre las corrientes de falla de cada fase y el eje del tiempo. Podría darse el caso excepcional en que la corriente de una fase tuviera simetría con respecto al eje del tiempo, sin embargo, desde el punto de vista de la máxima corriente que debe interrumpirse, lo importante es contemplar la posibilidad de que una fase tenga asimetría completa.

Entonces conviene incluir en el análisis una componente llamada de corriente directa, que se suma a la componente de frecuencia fundamental para dar, en el primer instante, el valor máximo posible de la corriente de cortocircuito asimétrica.

Esta componente de corriente directa es transitoria y se considera que decae exponencialmente de acuerdo con una constante de tiempo, que depende de la relación  $X/R$  de todo el sistema y cuyo valor es mayor que la subtransitoria, pero bastante menor que la transitoria.

La corriente de un circuito que se cierra con una fuente de voltaje alterno senoidal  $E$  que tiene una inductancia  $L$  –que a su vez tiene cierta resistencia  $R$ – puede expresarse en función de la suma de la onda fundamental de la corriente en cierto instante más la componente de corriente directa en ese instante.

$$I = \frac{V}{j\omega \cdot L} \text{ sen } \omega t + I_{cd} \cdot e^{-Rt/L} \quad (4.1)$$

Donde:

$I_{cd}$  = Componente de corriente directa.

$T$  = Tiempo.

$L/R$  = Constante de tiempo que refleja la variación de  $I$ .

Para concluir la componente de corriente directa en el cálculo, se podría utilizar el valor máximo posible de asimetría, lo que representa sumar a la corriente de corto circuito simétrica una componente de corriente directa cuyo valor sea igual al valor RMS máximo de la corriente simétrica. Sin embargo, esto es válido para el primer instante de la falla, pero inmediatamente después empieza a disminuir, y la posibilidad de conocer el valor de la componente de corriente directa en el instante de apertura del interruptor dependerá de la precisión con la que se haya calculado la constante de tiempo. En la práctica es frecuente utilizar un factor de 1.6 veces la corriente simétrica de la componente fundamental para comparar con la capacidad asimétrica total que pueden soportar los equipos y elementos de la instalación.

## 4.2.2 METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

En el análisis de las probables condiciones de falla por cortocircuito se requiere de experiencia y del conocimiento de las leyes que rigen el fenómeno transitorio. En forma resumida el proyectista debe:

- a. Seleccionar el lugar punto de la insolación en donde quiere conocer el nivel de falla.
- b. Establecer el modelo eléctrico (diagrama de impedancias) mas simple posible para obtener el valor de la corriente.
- c. Reconocer que existen condiciones del sistema en las cuales no se cumplen las restricciones supuestas que permiten la simplificación del modelo.
- d. Calcular o estimar las correcciones que se considere necesario realizar en los resultados para compensar las suposiciones cuando se crea que estas provoquen una desviación importante del comportamiento probable

A continuación se plantean con mayor detalle los pasos que pueden facilitar esta tarea del ingeniero, pero no es posible establecer argumentos definitivos al respecto de las correcciones que deben hacerse a los resultados obtenidos del modelo simplificado, por lo que los autores solamente establecen algunas guías, que puedan orientar las decisiones del proyectista.

### DIAGRAMAS UNIFILARES.

Un estudio de corto circuito requiere de un diagrama del sistema por estudiar en el cual figuren todas las posibles fuentes de corriente de falla y la información requerida para este tipo de calculo (ver el diagrama de la figura 4.1).

Normalmente se utiliza un diagrama donde solo aparecen las impedancias y en el cual se van efectuando las reducciones necesarias para simplificarlo. Por lo general se acostumbra hacer un diagrama que muestre solamente reactancias (vea figura 4.2), y para el calculo de la relación  $X/R$  hacer otro diagrama que solo muestre las resistencias. La relación que se obtiene de esta manera es diferente a la que resultaría si se hiciera la reducción del diagrama de impedancias, pero la practica ha mostrado que la aproximación es aceptable y que cualquier error es hacia el lado conservador.

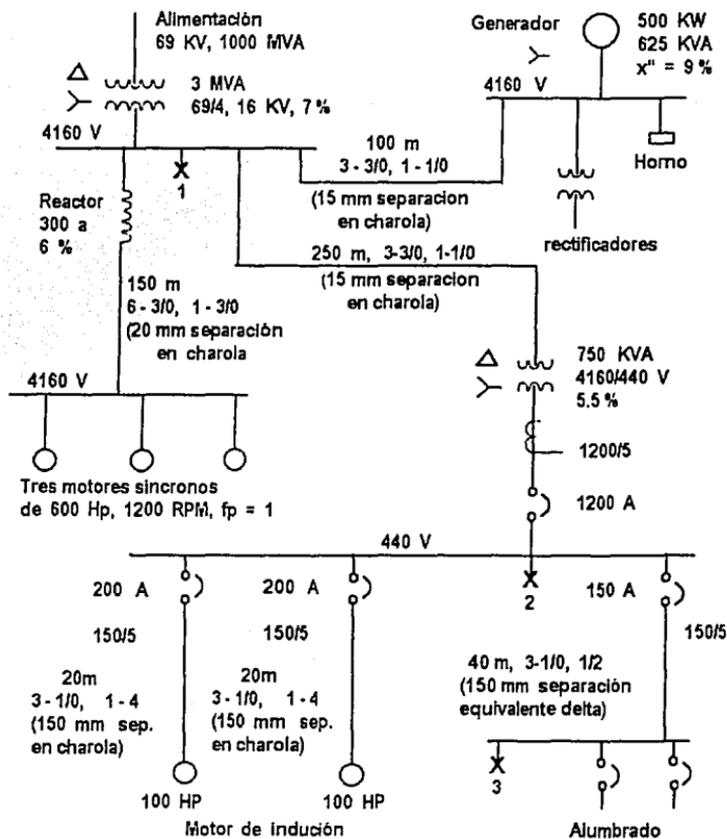


FIGURA 4.1 Diagrama unifilar (solo se muestran los elementos de corto circuito).

## REACTANCIA EN POR UNIDAD.

Debido a que normalmente las instalaciones tienen varios niveles de voltaje resulta muy complicado prácticamente imposible trabajar con valores de reactancia en ohms. Por esta razón se definen valores base para voltajes y potencias y todos los valores anotados en los diagramas de reactancias están expresados en por unidad (pu).

Por lo general, se empieza escogiendo una potencia base que puede ser la del equipo más grande del sistema o cualquier valor redondeado por conveniencia. Por lo que respecta a las bases de voltaje, existen tantas como niveles de voltaje haya en la instalación: normalmente se utilizan los voltajes nominales entre fases. Debido a la relación de transformación, en uno y otro lado de un transformador cambian las bases de voltaje, de corriente y de impedancia, pero no la base de potencia. La impedancia en por unidad se puede obtener con las siguientes expresiones.

$$Z_{pu} = \frac{Z\%}{100} \quad (4.2)$$

$$Z_2 = Z_1 \left[ \frac{\text{KVA base 2}}{\text{KVA base 1}} \right] \cdot \left[ \frac{\text{KV base 1}}{\text{KV base 2}} \right]^2 \quad (4.3)$$

En donde:

$Z_2$  = Impedancia en pu utilizando la base de V deseada.

$Z_1$  = Impedancia en pu utilizando como base la potencia marcada sobre el equipo.

KVA base 2 = base de potencia escogida para el cálculo a la cual se desea referir la cantidad  $Z_2$ .

KVA base 1 = base de potencia a la cual está referida la cantidad  $Z_1$ . (potencia nominal del equipo correspondiente).

KV base 1 = base de voltaje en función de la cual está expresada la impedancia  $Z_1$ .

KV base 2 = base de voltaje en función de la cual se desea referir la nueva impedancia  $Z_2$ .

$$Z_{pu} = \frac{Z(\text{ohms}) \cdot \text{KVA}(\text{base})}{1000 \cdot (\text{KV}(\text{base}))^2} \quad (4.4)$$

En todas las relaciones anteriores Z puede ser sustituido por X si se desprecia la resistencia. Una vez calculados todos los valores de reactancia en pu se colocan sobre un diagrama para facilitar el cálculo de la reactancia equivalente.

#### CALCULO DE LA IMPEDANCIA O REACTANCIA EQUIVALENTE.

Se conoce así la impedancia o reactancia que existe entre un punto de una instalación y la red suministradora. Este valor se tiene que calcular para cada uno de los instantes del corto circuito y para cada punto donde se quiere analizar el efecto de una falla de cortocircuito.

$$Z_{eqn} = \sum_1^n Z_i ; \quad Z_{eq2} = Z_1 + Z_2 \quad 4.4 (a)$$

Para "n" y dos impedancias en serie:

$$Z_{eqn} = \sum_1^n Z_i ; \quad Z_{eq2} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad 4.4 (b)$$

Para "n" y dos impedancias en serie:

Para la transformación de una conexión de impedancias en delta a una conexión estrella:

$$Z_a = \frac{Z_{ab} \times Z_{ac}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac}} ; \quad Z_b = \frac{Z_{ab} \times Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac}}$$

$$Z_c = \frac{Z_{bc} \times Z_{ac}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac}} \quad 4.4 (c)$$

De esta manera se va obteniendo paso a paso un solo valor de Z equivalente (o X equivalente).

## CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Para el calculo de la corriente de corto circuito se utilizan las expresiones producto del análisis de circuitos eléctricos, que son las mismas para los diferentes diagramas de impedancias y que corresponden a los diferentes instantes de análisis: en el primer ciclo (subtransitorio), en el instante en el que se lleva a cabo la interrupción (transitorio), o en cualquier otro momento en el cual actúen los relevadores de protección con retardo.

La potencia simétrica de corto circuito se calcula de la siguiente manera:

$$KVA_{cc} = \frac{KVA\{base\}}{Z_{eqpu}} \quad (4.5)$$

La corriente de falla resulta:

$$I_{cc} = \frac{KVA}{\sqrt{3} \cdot KV\{base\}} \quad (4.6)$$

también se puede calcular en pu suponiendo que el voltaje en pu es igual a uno:

$$I_{ccpu} = \frac{1}{Z_{eqpu}} \quad (4.7)$$

Entonces:

$$I\{base\} = \frac{KVA\{base\}}{\sqrt{3} \cdot KV\{base\}} \quad (4.8)$$

$$I_{cc} = I_{ccpu} \cdot I\{base\} \quad (4.9)$$

$$I_{cc} = \frac{KVA \text{ [base]}}{Z_{eqpu} \cdot \sqrt{3} \cdot KV \text{ [base]}} \quad (4.10)$$

Si se trabaja con impedancias complejas (con magnitud y ángulo) los cálculos son mucho más complicados y el valor de la corriente resulta también compleja, con cierto defasamiento respecto al voltaje, por lo general muy cerca de 90 ° grados. Si únicamente se considera la reactancia y el voltaje igual a 1 pu, resulta:

$$I_{cc} = \frac{e}{j \cdot X_{eqpu}} = \frac{1}{X_{eqpu}} j \quad (4.11)$$

Esta corriente tiene un atraso de 90° con respecto al voltaje y no incluye el efecto de la componente de corriente directa.

Los valores típicos que se sugiere utilizar en los cálculos de cortocircuito son aproximados y los estándares permiten, en ciertas condiciones, que se agrupen elementos y se utilice una impedancia equivalente para todo el grupo. Para un calculo mas preciso deben emplearse las reactancias y resistencias especificadas por los fabricantes de los equipos.

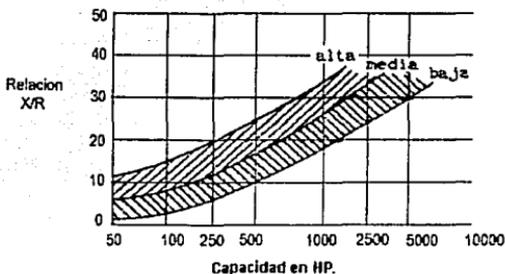
## MAQUINAS ELECTRICAS ROTATORIAS.

En principio se supone que se conocen los parámetros de las maquinas eléctricas rotatorias involucradas en el calculo, aunque se pueden utilizar los valores típicos de reactancia proporcionados en la siguiente Tabla 4.1:

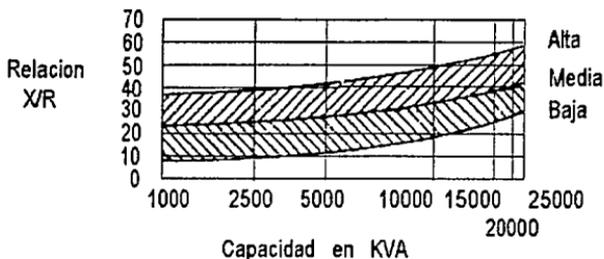
La resistencia de este tipo de equipos es pequeña (comparada con el valor de la reactancia), sin embargo no debe despreciarse, ya que su presencia limita la corriente de falla. En las siguientes Figuras 4.2 Y 4.3 aparecen los rangos del valor que pueden adquirir la relación X/R de estos equipos.

**Tabla.4.2** Reactancias típicas en pu (por unidad) para maquinas eléctricas rotatorias.

MAQUINAS	X''	X'
Turbogeneradores - 2 polos. - 4 polos.	0.09	0.15
Generadores de polos salientes y devanados con amortiguamiento.  - 12 polos y menos - 14 polos y mas.	0.16 0.21	0.33 0.33
Motores síncronos.  - 6 polos - 8 a 14 polos - 16 polos o mas	0.15 0.20 0.28	0.23 0.30 0.40
Motores de inducción.  Arriba de 600 V.	0.17	—



**Figura 4.2.** Rango de la relación X/R típica para motores de inducción trifásicos. Esta figura se reproduce del ANSI/IEEE std 141-1986, (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).



**Figura 4.3** Rango de la relación X/R para generadores pequeños y motores síncronos. Esta figura se reproduce del ANSI/IEEE std 141-1986, (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)

Para los motores asíncronos o de inducción (jaula de ardilla) se puede obtener un valor más preciso de la reactancia subtransitoria sustituyendo la corriente de arranque (especificada en la placa del motor) en la relación:

$$X'' = \frac{I_n}{I_a} \quad \text{en p.u.} \quad (4.12)$$

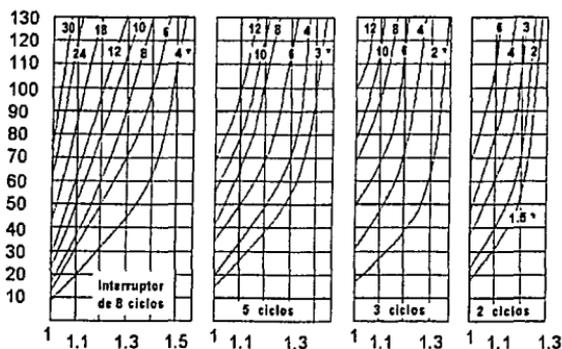
Donde:

- $I_a$  = Corriente de arranque de motor (de 5 a 6 veces la corriente nominal).
- $I_n$  = Corriente nominal del motor.

La figura 4.4. muestra los factores que deben usarse para modificar las reactancias o impedancias de las máquinas rotatorias, dependiendo del instante del cortocircuito en que se quiera conocer la corriente. En esta tabla se desprecian los motores de menos de 50 HP porque esta hecha para utilizarse cuando solamente se quieran determinar capacidades de interruptores de alta tensión. Sin embargo debido a que también se requieren los valores de corriente de cortocircuito para especificar los interruptores de baja tensión el estándar ANSI/IEEE 141-1986 recomienda que para el cálculo de las capacidades del primer ciclo de la falla en baja y alta tensión se utilice el siguiente procedimiento:

- Incluir las impedancias de los motores de menos de 50 HP, ya sea utilizado un multiplicador de 1.67 para las impedancias subtransitorias especificadas por los fabricantes o considerando una impedancia en pu para ciclo de la corriente de cortocircuito de 0.28 sobre la capacidad de cada motor o del grupo de motores (refiriendo a la base de potencia del sistema), de acuerdo con la figura.
- Incluir las impedancias de los motores más grandes utilizando los factores de la figura 4.4. La mayoría de los motores de 50 HP y mayores están en la categoría de 1.2 veces la reactancia subtransitoria. Una manera de estimar la impedancia en pu de este grupo es considerando para el primer ciclo de la falla, un valor de 0.20 sobre la capacidad del grupo de motores (referida a la base de potencia del sistema).

X/R \* Tiempo mínimo de separación de contactos

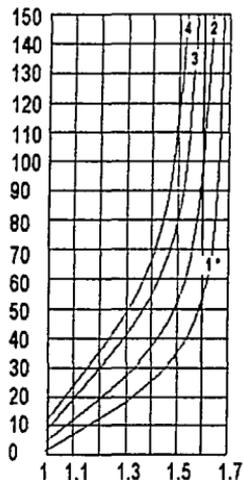


**Figura 4.4** Factores de multiplicación para falla trifásica o línea-tierra alimentada por generadores remotos (a través de dos o más transformadores) para obtener la capacidad interruptiva total

La corriente de corto circuito obtenida es la simétrica (primer ciclo) que puede compararse con la capacidad especificada como simétrica RMS en los fusibles e interruptores de baja tensión. Para obtener la corriente total asimétrica de interruptores de alta tensión se utiliza el factor 1.6.

Para calcular la corriente que se compara con la capacidad interruptiva de los interruptores de alta tensión (arriba de 1KVA) se deben considerar las reactancias de la columna correspondiente en las gráficas de las figuras 4.4 y 4.5 para preparar el diagrama de impedancia (reactancia) equivalente.

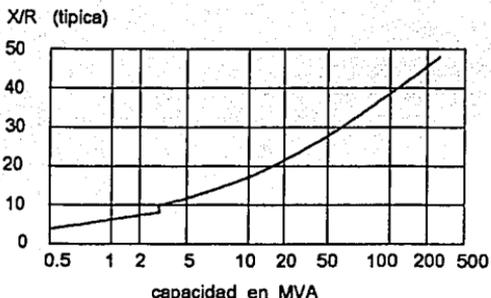
También debe hacerse el diagrama de resistencia equivalente utilizando los mismos factores de la figura 4.4. Así se determina la relación  $X/R$  y con ella se obtiene los factores que deben multiplicar a la corriente obtenida al dividir el voltaje prefalla entre la reactancia. El resultado es la corriente RMS total para compararse con la capacidad interruptiva de los interruptores de alta tensión.



**Figura 4.5** Factores de multiplicación para fallas trifásicas o línea-tierra alimentadas por generadores remotos (a través de dos o más transformadores) para especificar la capacidad interruptiva asimétrica de interruptores diseñados antes de 1964. Esta figura se reproduce del ANSI/IEEE std 141-1968, (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).

#### ELEMENTOS DE IMPEDANCIA O REACTANCIA CONSTANTE.

Todos los elementos restantes son considerados pasivos. Es decir, tienen una impedancia o reactancia constante que limita el valor de la corriente de cortocircuito. Los valores de reactancia de transformadores deben ser proporcionados por el fabricante; en la Figura 4.6 puede obtener la relación  $X/R$ . Los transformadores y cables siempre deben considerarse en el cálculo de la corriente de cortocircuito y dependerá del criterio del proyectista incluir otros elementos como por ejemplo los interruptores termomagnéticos y los transformadores de corriente.



**Figura 4.6** Relación X/R típica para transformadores autoenfriados. Esta figura se reproduce del ANSI/IEEE STD 141 – 1986, (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).

#### REACTANCIA INDUCTIVA DE LOS CONDUCTORES.

La ley de inducción electromagnética implica que todo desplazamiento de carga eléctrica esta acompañada de la formación de campos magnéticos. la inductancia es un parámetro de los elementos de un circuito que resulta de dividir el flujo magnético considerado como las líneas de flujo que eslabonan trayectorias de corriente entre la corriente que circulan por dicho elemento y se mide en henrys (H).

Se puede considerar que la inductancia es la suma de dos términos llamados: inductancia propia correspondiente a los efectos por la circulación de la corriente en el elemento, e inductancia mutua o externa debida a trayectorias de corriente en elementos cercanos.

La inductancia propia depende del radio medio geométrico (RMG) del conductor tabla 4.3.

**Tabla 4.3 RADIO MEDIO GEOMÉTRICO DE CONDUCTORES.**

CONSTRUCCIÓN DEL CONDUCTOR.	RMG
Alambre sólido.	0.779 R *
Cable de un solo material con	
- 7 hilos	0.726 R
- 19 hilos	0.758 R
- 37hilos	0.768 R
- 61 hilos	0.772 R

La inductancia mutua o externa depende de la disposición del conductor con respecto a los otros y de la forma de los forros conductores o pantalla, así como de su conexión a tierra. Si consideramos un alimentador trifásico de un sistema BC, cuyas distancias entre conductores son AB, BC, Y CA, existe una distancia llamada media geométrica (DMG) que se calcula con la relación:

$$DMG = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA} \quad (4.13)$$

Con la ayuda de la DMG y del RMG se calcula la inductancia media del sistema en henrys por K m.

$$L = 2 \times 10^{-4} \cdot \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (4.14)$$

Esta relación sirve para el cálculo de la inductancia de los cables sin pantalla y sin tubos o conductores metálicos que guardan paralelismo con los conductores. Para cables con pantallas semiconductoras el valor de la inductancia aumenta ligeramente.

Si la frecuencia del sistema es "f", la reactancia inductiva en ohms se puede calcular con la relación:

$$X_L = 2 \pi \cdot f \cdot L \quad (4.15)$$

La reactancia inductiva en ohms/Km. se obtiene sustituyendo la expresión anterior en:

$$X_L = 0.0028 \times f \cdot \log \frac{DMG}{RMG} \quad (4.16)$$

Si se considera una frecuencia de 60 Hz.

$$XL = 0.173 \cdot \log \frac{DMG}{RMG} \quad (4.17)$$

La inductancia así calculada resulta en un valor promedio de ohms/Km. y puede diferir de una fase a otra. Por esta razón para igualar las reactancias de cada fase, normalmente se hacen transposiciones de las líneas se intercambian posiciones a 1/3 y 2/3 del recorrido.

$$RMG_{eq} = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R^{n-1}} \quad (4.18)$$

En donde:

RMGeq = Radio medio geométrico equivalente por fase.

R = Radio medio geométrico de un conductor.

N = Numero de conductores por fase.

R = Radio del círculo formado por el polígono regular en cuyos vértices están colocados los conductores.

#### REACTANCIA EQUIVALENTE DE LA RED DE ALIMENTACION.

Por lo general la compañía suministradora proporciona al usuario la potencia simétrica de cortocircuito. En este caso tenemos:

$$KVA_{cc} = \sqrt{3 \cdot V \cdot I_{cc}} \quad (4.19)$$

Por lo tanto la corriente que aporta el cortocircuito en amperes es:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (4.20)$$

y la reactancia equivalente en ohms:

$$X_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot I_{cc}} \quad (4.21)$$

teniendo en consideración las expresiones anteriores se puede escribir la relación:

$$X_{cc} = \frac{\text{KVA (base)}}{\text{KVA}_{cc}} \quad (\text{en pu}) \quad (4.22)$$

Por ejemplo si la potencia de cortocircuito del sistema de suministro es de 1000 MVA para un voltaje de 13.8 KV y se escoge como base 1000 KVA, tenemos que:

$$I_{cc} = \frac{\text{KVA}_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{1000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 13.8 \text{ V}} = 41.837 \text{ A}$$

$$X_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot I_{cc}} = \frac{13.8 \text{ V}}{1.73 \cdot 41.837} = 0.19044$$

$$X_{pu} = \frac{Z \text{ (ohms)} \cdot \text{KVA (base)}}{1000 \cdot (\text{KV (base)})^2} = \frac{0.19044 \cdot 10000}{1000 \cdot 13.8^2} = 0.001$$

Con la relación siguiente resulta directamente:

$$X_{cc} = \frac{\text{KVA [base]}}{\text{KVA cc}} = \frac{1000}{1000000} = 0.001 \text{ pu}$$

#### 4.2.2.1 CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN TENSION MEDIA.

##### EJEMPLO DEL CALCULO.

Se propone hacer el estudio de la corriente de cortocircuito del diagrama unifilar de la figura 4.1 que incluye los elementos que comúnmente se encuentran en una planta industrial. Se considera el nivel de la corriente de cortocircuito sobre cada uno de los sistemas de barras. Aunque el estudio podría comprender cualquier punto del sistema, aquí solo se calculara la corriente en tres puntos.

Se escoge como potencia base 10 000 KVA. En la figura 8.8 se presenta el diagrama de reactancias. Los valores de las reactancias pu se obtienen de la siguiente manera (también se proporcionan los valores de resistencia):

- a) Reactancia equivalente de la red de suministro: de la aplicación de la relación (4.10) resulta  $X = 0.01 \text{ pu}$ .
- b) El transformador de 3000 KVA: en la figura 4.6 se especifica una reactancia en pu es de 0.07; con la relación 4.3 y la 4.6 resulta:

$$X = \frac{0.07 \times 10\,000}{3\,000} \left[ \frac{4\,160}{4\,160} \right] = 0.233 \text{ pu}$$

$$R = 0.028 \text{ pu}$$

- c) El generador de 625 KVA: La reactancia subtransitoria de 9 %, por lo que con la misma relación (4.3) se obtiene:

$$X'' = 0.09 \frac{10\,000}{625} = 1.44 \text{ pu}$$

$$R = 0.036 \text{ pu}$$

- d) El cable de enlace de 100 m: Esta compuesto por un cable de 3/0 (10.74 mm de diámetro sin aislamiento), 19 alambres por fase. De acuerdo con la tabla 4.2.

$$\text{RMG} = 0.758 \frac{10.74}{2} = 4.07 \text{ mm}$$

Para el cálculos de la DMG, se considera las distancias entre los centros de los cables, y se estima el diámetro del cable de 15 KV en 25 mm. El arreglo se muestra a continuación. Se muestra en la Figura 4.7.

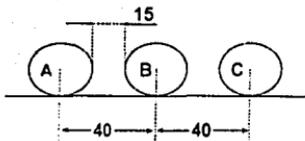


Figura 4.7 Arreglo de las tres fases (calibre 3/0 por fase) del cable de enlace de 100 m del ejemplo que se está analizando.

Con  $AB = 40$ ;  $BC = 40$ ;  $AC = 80$  y con la relación 4.13:

$$DMG = \sqrt[3]{40 \times 40 \times 80} = 50 \text{ mm}$$

Con 4.17 se obtiene:

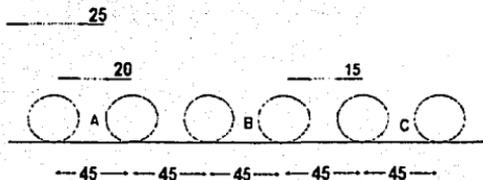
$$X = 0.1734 \log \left[ \frac{50}{4.07} \right] \times 0.1 = 0.01889 \text{ ohms}$$

con 4.4 resulta:

$$X = \frac{0.01889 \times 10\,000}{1000 \times 4.16^2} = 0.0109 \text{ pu}$$

$$R = 0.014 \text{ pu.}$$

- e) El cable de los motores síncronos: son 150 m de distancia con dos cables de 3/F por fase separados entre sí 20 mm. El arreglo se muestra en la Figura 4.8:



**Figura 4.8** Arreglo de cables para las tres fases de la alimentación (2 calibre 3.0 por fase) de los motores síncronos del ejemplo que se está analizando.

Se considera al RMG igual que en el caso anterior (4.07), a distancia entre pares de conductores por cada fase de 90 y 180.

De la relación 4.18 se obtiene:

$$\text{RMG} = \sqrt[2]{2 \times 4.07 \times 22.5} = 13.53 \text{ mm}$$

Y con la relación 4.13 encontramos:

$$\text{DMG} = \sqrt[3]{90 \times 90 \times 180} = 113.4 \text{ mm}$$

Entonces resulta que:

$$X = 0.1734 \log \left[ \frac{113.4}{13.53} \right] \times 0.15 = 0.024 \text{ Ohms}$$

$$X = \frac{0.024 \times 10\,000}{1000 \times 4.16^2} = 0.01387 \text{ pu}$$

$$R = 0.007 \text{ pu}$$

- f) El cable de 250 m: se trata de un cable 3/0 por fase colocados a 15 mm. de separación en charola. Este cable es idéntico al de enlace con distancia diferente.

$$X = 0.0109 \frac{250}{100} = 0.02725 \text{ pu}$$

$$R = 0.035 \text{ pu}$$

- g) El cable de 40 m: Se trata de un cable de 1/0 por fase colocados en delta equivalente sin separación, con un diámetro exterior del conductor de 8.53 mm 19 hilos. Se considera que el diámetro con aislamiento (para baja tensión) es de 15 mm. El arreglo se aprecia en la figura 4.9:

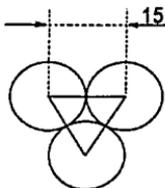


FIGURA 4.9 ARREGLO DEL CABLE DE 40 M (CABLE DE 1/0 POR FASE).

$$\text{RMG} = 0.758 \frac{8.53}{2} = 3.23 \text{ mm}$$

$$\text{DMG} = \sqrt{15 \times 15 \times 15} = 15 \text{ mm}$$

$$X = 0.1734 \log \left[ \frac{15}{3.23} \right] \times 0.04 = 0.00462 \text{ ohms.}$$

$$X = \frac{0.00462 \times 10\,000}{1000 \times 0.44^2} = 0.2386 \text{ pu}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{40}{50 \times 53.5} = 0.0149553 \text{ ohms}$$

$$R_{pu} = \frac{0.01495 \times 10\,000}{1000 \times 0.44^2} = 0.7724 \text{ pu}$$

- h) Los cálculos de los motores de inducción: Un cable de 1/0 por fase de 20 m de longitud con 15 mm de separación en delta equivalente. Las condiciones son las mismas que en el caso anterior, excepto por la distancia; entonces:

$$X = 0.2386 \frac{20}{40} = 0.1193 \text{ pu}$$

$$R = 0.39 \text{ pu}$$

- i) Los rectificadores, el horno y las cargas de alumbrados: Estos elementos no aportan energía a la falla ni limitan la corriente, por lo que no interviene en el cálculo.
- j) El reactor: Su reactancia es 0.06 referido a su potencia base. Con la relación 4.3 hacemos cambiar de base.

$$X = 0.06 \frac{10\,000}{2\,160} = 0.278 \text{ pu}$$

donde:

$$300 \times \sqrt{3} \times 4.16 = 2160$$

$$R = 0.035 \text{ pu.}$$

- k) El transformador de 750 kVA. 4.1 se especifica una reactancia en pu es de 0.055; con la relación 4.3 y la figura 4.6 resulta:

$$X = 0.055 \frac{10\,000}{750} = 0.733$$

$$R = 0.035 \text{ pu.}$$

- l) Los motores síncronos de 600 HP de la Tabla 4.1:  $X^* = 0.15$ , referida a la base de potencia de los motores, que considerando una eficiencia aproximada de 93 %, resulta:

$$600 \frac{0.7457}{0.93} = 480$$

entonces la reactancia subtransitoria y la resistencia (Figura 4.2) en pu son:

$$X^* = 0.15 \frac{10\,000}{480} = 3.125$$

$$R = 0.04 \text{ pu.}$$

De acuerdo con la tabla 4.4 la reactancia para el instante de interrupción será 1.5 veces la subtransitoria. En este caso las reactancias de las barras, el arrancador y los cables de cada motor se consideran despreciables.

m) Los motores de inducción de 100 HP: De la Tabla 4.4:  $X = 0.2$  para el primer ciclo y 0.5 para el instante de interrupción. Para una eficiencia de 93 % y 0.8 de factor de potencia, es aproximada de:

**TABLA 4.4 FACTORES QUE MULTIPLICAN A LAS REACTANCIAS (O IMPEDANCIAS) PARA OBTENER VALORES MAS PRECISOS DE LA CORRIENTE DE FALLA EN SISTEMAS DE VARIOS NIVELES DE VOLTAJE (DE ANSI/IEEE 141 – 1986).**

TIPO DE MAQUINA ROTATORIA	PRIMER CICLO	INSTANTE DE INTERRUPCIÓN
Motores de inducción:		
- Todos los demás de HP $\geq 50$ .	$1.20 \cdot X^a d$	$3.0 \cdot X^c d$
- Todos los motores menores de 50 HP	$1.67 \cdot X^b d$	despreciables

Puede estimarse: a)  $X = 0.20$  pu, b)  $X = 0.28$  pu,  
c)  $X = 0.50$  pu con base en la capacidad

$$\frac{100 \times 0.7457}{0.93 \times 0.8} = 100 \text{ KVA}$$

Por lo que se obtiene:

$$X^a = 0.2 \times \frac{10\ 000}{100} = 20 \text{ pu}$$

$$X^* = 0.5 \times \frac{10\,000}{100} = 50 \text{ pu}$$

$$R = 0.16 \text{ pu}$$

n) Los interruptores termomagnéticos. El de 1200 A tiene reactancia de 0.00007 ohms. con la expresión 4.4 se cambia a pu.

$$X = \frac{0.00007 \times 10\,000}{1000 \times 0.44^2} = 0.00362 \text{ pu.}$$

los de 150 a 200 A tienen una reactancia de 0.001 ohms que transformada a la base de referencia resulta:

$$X = \frac{0.001 \times 10\,000}{1000 \times 0.44^2} = 0.0516 \text{ pu.}$$

o) Transformadores de corriente: El de 1200 A, tiene una reactancia de  $X = 0.00007$  ohms que resulta igual a la del interruptor de 1200 A, por lo tanto  $X = 0.00362$ .

$$X = \frac{0.0022 \times 10\,000}{1000 \times 0.44^2} = 0.1136 \text{ pu.}$$

Con esto se tiene todos los valores necesarios para completar la Figura 4.10. Todos los extremos se consideran conectados al neutro (ver línea punteada en la Figura 4.11. Con las formulas 4.4 a y 4.4 b se puede reducir la red conservando los puntos de falla como referencia.



$$\frac{1}{X''} = \frac{1}{0.243} + \frac{1}{1.4509} + \frac{1}{1.3339} + \frac{1}{10.14} = \frac{1}{0.1769}$$

Para el instante de interrupción, la reactancia y la resistencia son:

$$\frac{1}{X'} = \frac{1}{0.243} + \frac{1}{1.4509} + \frac{1}{1.8539} + \frac{1}{25.14} = \frac{1}{0.1854}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{0.028} + \frac{1}{0.05} + \frac{1}{0.0553} + \frac{1}{0.1765} = \frac{1}{0.01258}$$

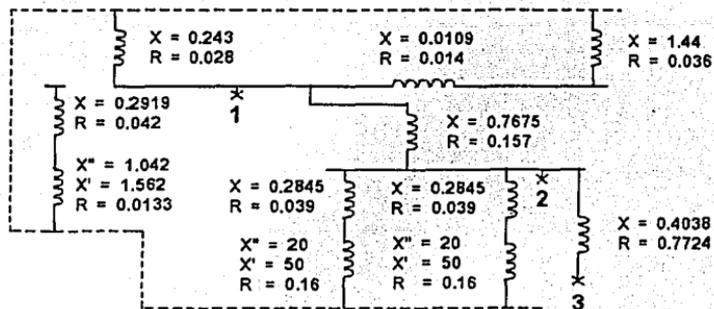


FIGURA 4.11 REDUCCION DEL DIAGRAMA DE REACTANCIAS Y RESISTENCIAS.

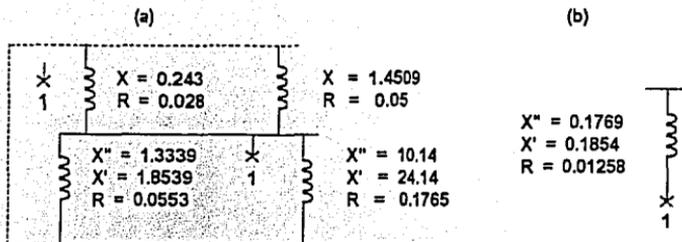


FIGURA 4.12 (a) REDUCCIÓN DE LA FIGURA 4.11.

(b) REACTANCIAS Y RESISTENCIA EQUIVALENTE PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA TRIFÁSICA EN EL PUNTO 1 DEL EJEMPLO.

Estos resultados se colocan en la figura 4.12 (b). Con la expresión 4.10 se pueden encontrar las corrientes para el punto uno.

Corriente simétrica en el primer ciclo:

$$I_{cc} = \frac{10\,000}{0.1769 \sqrt{3} \times 4.16} = 7845 \text{ A}$$

si se aplica el factor de multiplicación de 1.6 para considerar la asimetría de la corriente de falla (componente de corriente directa) para un interruptor en alta tensión:

$$1.6 \times 7845 = 12\,552 \text{ Amperes.}$$

Corriente simétrica en el primer ciclo:

$$I_{cc} = \frac{10\,000}{0.1854 \sqrt{3} \times 4.16} = 7485 \text{ A}$$

Si se supone un interruptor que opera en 8 ciclos debe procederse de la siguiente manera:

- En la tabla 4.5 se obtiene el tiempo mínimo de inicio de apertura, que para este caso será de 4 ciclos.

**TABLA 4.5 TIEMPO MINIMO DE INICIO DE APERTURA DE LOS CONTACTOS DE UN INTERRUPTOR DE ALTA TENSION.**

Tiempo nominal de interrupción en ciclos para 60 Hz	Tiempo mínimo de inicio de apertura de los contactos en ciclos para 60 Hz.
8.0	4.0
5.0	3.0
3.0	2.0
2.0	1.5

- Se obtiene la relación X/R que para este será de 14.75.
- En la Figura 4.4 puede apreciarse que el factor de multiplicación para la relación X/R = 14.75 es prácticamente 1 (uno), entonces la potencia de falla que deberá ser capaz de disipar el interruptor que opere en 8 ciclos será de:

$$\frac{10\ 000}{0.1854} = 53\ 937\ \text{KVA.}$$

Es decir: 7485 amperes a 4160 V.

Se puede observar que la aportación a la falla por parte de los motores asíncronos es insignificante. También resulta evidente que las reactancias de los transformadores y del reactor son muy importantes en la limitación del nivel de cortocircuito.

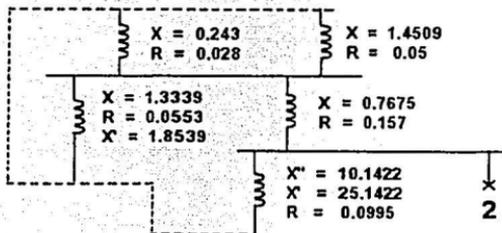


FIGURA 4.13 REDUCCION DE LA FIGURA 4.11 PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA TRIFASICA EN EL PUNTO 2 DEL EJEMPLO.

- q) Falla 2: El punto de análisis No.2 esta colocado en un bus bajo voltaje. Para obtener la corriente subtransitoria, en la Figura 4.13 (obtenido del diagrama de la Figura 4.11) se puede realizar la siguiente reducción:

Las tres inductancias que esta en paralelo:

$$\frac{1}{1.3339} + \frac{1}{0.243} + \frac{1}{1.4509} = \frac{1}{0.180}$$

esta a sus vez en serie:  $0.18 + 0.7675 = 0.9475$

por lo que la reactancia equivalente resulta:

$$\frac{1}{0.9475} + \frac{1}{10.14} = \frac{1}{0.8665}$$

la reactancia de la falla es 0.8665. Con la ecuación 4.10 resulta:

$$I_{cc} = \frac{10\,000}{0.8665 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.44} = 15\,143 \text{ A}$$

Este valor se puede comparar directamente con la capacidad de interruptores ya que los diseños actuales están contruidos para los valores más comunes de la relación X/R. En el caso en que se especifiquen fusibles el estándar ANSI/IEEE C37.41-1981 recomienda utilizar un multiplicador de 1.2 para voltajes menores a 15 KV y relación de X/R menores de 4.

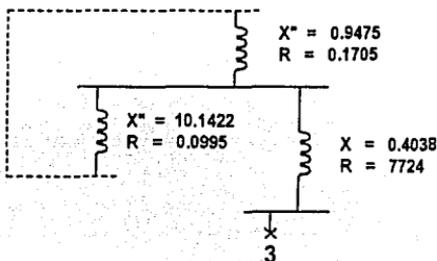


FIGURA 4.14 REDUCCION DE LA FIGURA 4.11 PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA TRIFASICA EN EL PUNTO 2 DEL EJEMPLO.

- q) Falla 3: Para el análisis de la falla en el punto 3 se utiliza el diagrama de la reactancia equivalente de la figura 4.14. En este caso tenemos un cable en baja tensión, cuya resistencia ya es importante. La resistencia y reactancia resultan:

$$R = \left[ \frac{0.1705 \times 0.0995}{0.1705 + 0.0995} \right] + 0.7724 = 0.835 \text{ pu}$$

$$X = 0.8665 + 0.4038 = 1.2703 \text{ pu.}$$

$$Z_{cc} = \sqrt{1.2703^2 + 0.835^2} = 1.52 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \times 1.52 \times 0.44} = 8632 \text{ A}$$

De no haber considerado la resistencia, este valor hubiera sido:

$$I_{cc} (\text{sin } R) = \frac{10\,000}{1.2703 \times \sqrt{3} \times 0.44} = 10330 \text{ A}$$

## PROTECCION DE CORTO CIRCUITO.

Se dice que una instalación esta protegida para soportar cortocircuito cuando sus elementos cumplen con las siguientes características.

- Robustez suficiente para soportar los esfuerzos mecánicos de la máxima fuerza posible.
- Capacidad de los conductores para soportar los esfuerzos térmicos de la corriente más alta que pueda ocurrir.
- Rapidez de respuesta del sistema de protecciones para interrumpir y aislar la zona donde aparezca un corto circuito.
- Capacidad de los interruptores para disipar la energía del arco.

En caso de falla, el flujo de corriente en cualquier punto del sistema esta limitado por la impedancia de los circuitos y de los equipos desde las fuentes de la corriente hasta el punto de la falla, y no tiene relación alguna con la carga del sistema. Resulta claro que para poder especificar los elementos de un circuito, diseñar el sistema de protección y coordinación debidamente estas protecciones es necesario conocer el valor de la corriente en cada punto de la instalación.

De acuerdo con el teorema de enlazamiento de flujo constantes, el voltaje durante una falla de corriente puede considerarse igual al voltaje que existía un instante antes de la falla. Entonces de la aplicación del teorema de Thevenin: la corriente de cortocircuito en un punto es igual al cociente del voltaje, que había en ese punto antes de ocurrir la falla, entre la impedancia equivalente del sistema visto desde el punto de análisis (incluyendo la impedancia de las fuentes), con todas las otras fuentes de voltaje iguales a cero. Es decir, las corrientes de falla en un instante se obtiene simplemente con la ley de ohm:

$$\text{FORMULA: } I_{cc} = \frac{V}{Z_{eq}}$$

### 4.2.3 CALCULO DE LA MEMORIA MECANICA.

Previo análisis de relación de carga llevado a cabo, se determina que la capacidad del transformador será de 1 000 KVA,  $Z = 5.75\%$ .

Datos de acometida:

Por C.F.E. 34.5 Kilo Volts, 3 Fases, 4 Hilos, 60 Hertz.

Características de la tensión de servicio en baja tensión:

40/254 Volts, 3 F, 4 H, 60 Hz.

### CALCULO DE VALORES DE CORRIENTES CONSIDERANDO LOS DATOS ANTERIORES.

En el primario del transformador:

$$\text{Formula: } I = \frac{\text{KVA} \times 1000}{1.73 \times 34,500 \text{ V}} = \text{A.}$$

$$I_{\text{prim.}} = \frac{1000 \text{ KV} \times 1000}{1.73 \times 34,500 \text{ V}} = 16.75 \text{ A}$$

En el secundario del transformador.

$$I_{\text{sec.}} = \frac{1000 \text{ KV} \times 1000}{1.73 \times 440 \text{ V}} = 1312.15 \text{ A}$$

## CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR:

$$I_{cc} = \frac{100 \times I_{sec.}}{Z \%}$$

$$I_{cc} = \frac{100 \times 1312.15}{5.75} = 22820 \text{ A.}$$

Corriente máxima a la capacidad del transformador.  
Corriente de corto circuito.

## CON LOS VALORES OBTENIDOS DETERMINAREMOS:

### 1. PROTECCIÓN PARA EL TRANSFORMADOR TR – 1, EN EL LADO PRIMARIO.

Usaremos fusibles de alta capacidad interruptiva, su valor será determinado sobre la base de un 25 % adicional de su valor nominal, por consiguiente tendremos:

$$I_{pp} = I_{nom. \text{ prim.}} \times 1.25 = 16.75 \times 1.25 = \mathbf{20.93 \text{ A.}}$$

$I_{pp}$  = Corriente de protección en el lado primario.  
 $I_{nom. \text{ prim.}}$  = Corriente nominal en el lado primario.

Como medida preventiva se usará el rango comercial inmediato superior que será de **25 amper.**

### 2. ALIMENTADOR PARA EL TRANSFORMADOR TR-1 EN EL LADO PRIMARIO.

Consideremos el valor obtenido sobre la base del 25 % adicional de su cargo el cual es de 20.93 A.

En este caso, el acoplamiento del lado de alta tensión se realiza a través de barras, por el diseño que presenta al gabinete de acoplamiento con extensión del bus para conexión a boquillas del transformador y con una capacidad de 400 A.

Por cortocircuito comprobamos que también satisfacen el requerimiento, ya que la protección primaria es con fusibles y este actúa en menos de un ciclo.

El valor que puede soportar el cable calibre 1/0 AWG, American Wire Gage (Calibre de alambre Americano) con aislamiento tipo XLP (Polietileno de Cadena Cruzada) clase 35 KV de 60 000 A. Para un ciclo 0.0167 de segundo el cual satisface ampliamente el valor de corto circuito para la capacidad del transformador en 35 KV.

### 3. PROTECCIÓN PARA EL TRANSFORMADOR TR-1 EN EL LADO SECUNDARIO.

Determinemos el rango para el interruptor:

$$I_{ps} = I_{nom\ sec} \times 1.25 = 1312.15\ A. \times 1.25 = \mathbf{1640.18\ A.}$$

$I_{ps}$  = Corriente de protección en el lado secundario.

$I_{nom. sec.}$  = Corriente nominal en el secundario.

Con este valor determinamos usar el interruptor termomagnético de **2 000 amperes** el cual tiene una capacidad interruptiva nominal en amperes RMC simétricos en 480 Volts. De 50,000 amperes el cual satisface ampliamente el valor de corto circuito para la capacidad del transformador en el lado secundario.

Si se considera el incremento a futuro de una carga equivalente a un 30 % se recomienda considerar un interruptor electromagnético con un marco de 2,500 A.

### 4. ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR TR-1 AL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL EN BAJA TENSIÓN TDBT-1 POR AMPACIDAD.

Se considera el rango del 25 % adicional de la corriente a plena carga del secundario del transformador.

$$I_{alimentación} = I_{nom. sec.} \times 1.25 = 1312.15\ A. \times 1.25 = \mathbf{1640.18\ A.}$$

Decidimos usar cable de cobre en aislamiento tipo THW 75 ° antillama, nos auxiliamos con la tabla 302.4 del NTIE (Normas Técnicas para las Instalaciones Eléctricas). Para determinar la capacidad de corriente de conductores de cobre aislados en amperes y vemos que un cable calibre 500 KCM tiene una capacidad de conducción de 620 A. al aire con este valor podemos definir la cantidad de cables que se requieran por fase.

Si consideramos el incremento de carga futura de un 30 % tendremos.

$$I = 1640.18 \times 1.30 = 2132.23 \text{ A.}$$

Con los valores anteriores ¿Qué cantidad de cables se requieren?

$$\text{No. De cables.} = \frac{2132.23 \text{ A.}}{620} = 3.4$$

Por lo que se decide tener 4 cables de 500 KCM por fase.

#### 5. CALCULO PARA DETERMINAR LOS RANGOS DE LOS INTERRUPTORES Y DE LOS ALIMENTADORES PARA LAS CARGAS DE LOS DIFERENTES TABLEROS EN BAJA TENSION 440 V, 3 F, 60 HZ.

- **TABLERO TF-1 (TRANSPORTACION DE BOTELLAS VACIAS).**

Carga = 12 Kw.

Distancia = 44 metros.

Determinación de la corriente.

$$\text{Formula. } I_{\text{nom.}} = \frac{\text{KW} \times 1000}{1.73 \times E \times \text{FP}} = \text{A.}$$

E = Voltaje en el lado secundario

Fp = Factor de potencia.

Substituyendo valores tendremos:

$$I_{\text{nom pc.}} = \frac{12 \text{ KW} \times 1000}{1.73 \times 440 \text{ V} \times 0.9} = 17.5 \text{ A. Corriente nominal de plena carga}$$

Para determinar el rango de los interruptores y de los alimentadores se considera que deben tener capacidad no menor del 125 % de la corriente a plena carga ya que estos son equipos paquete NTIE 403 (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas); con su correspondiente valor de carga considerado, tendremos lo siguiente:

$$I_c = 17.5 \times 1.25 \text{ A.} = \mathbf{21.8 \text{ A.}} \text{ Corriente de carga.}$$

El interruptor será de tres polos, 30 Amperes termomagnético.

El cable será calibre 10 AWG, American Wire Gage (Calibre de Alambre Americano) de acuerdo a la tabla 302.4 del NTIE. El cual tiene una capacidad de conducción de 30 A. instalados en tubería.

Su canalización será en tubo y por charola:

Si consideramos 3-10  
1-12d

El diámetro de tubería conduit de acuerdo a la tabla 1.3 del NTIE será de 13 mm.  
Cajada de tensión:

$$\text{Formula } e \% = \frac{2 \times 1.73 \times L \times I}{E \times S} = \%$$

Substituyendo valores tendremos: distancia L = 44 m. Sección para cable Cal. 10 AWG,  
S = 5.26 mm<sup>2</sup>, E = 440 V.

$$e \% = \frac{2 \times 1.73 \times 44 \times 17.5}{440 \times 5.26} = 1.15 \% \text{ Porcentaje de caída de tensión.}$$

Se considera para este proyecto que la caída máxima para los alimentadores no deberá ser mayor del 3 %. Por consiguiente el cable satisface el requerimiento planteado.

- **TABLERO TF - 2 (TRANSPORTADORES BAJO SILOS).**

Carga. = 2 KW.

Distancia. = 48 m.

Determinación de la corriente.

$$I = \frac{2 \times 1000}{1.73 \times 440 \times 0.9} = 2.9 \text{ A.}$$

$$I_c = 2.9 \times 1.25 = 3.6 \text{ A.}$$

El interruptor será de tres polos, 15 Amps. termomagnético.

El cable será No. 12 AWG (20 A. de capacidad de conducción.)

$$\text{Caída de tensión e \%} = \frac{2 \times 1.73 \times 48 \times 2.9}{440 \times 3.31} = 0.33\%$$

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 3 - 12.  
1 - 12 d.

El diámetro de tubería conduit de acuerdo a la tabla 1.3 del NTIE será de 13 mm.

- **TABLERO TF - 3 (POSICIONADOR).**

Carga = 7 KW.

Distancia = 59 m.

Determinación de la corriente:

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{7 \times 1000}{1.73 \times 440 \times 0.9} = 10.2 \text{ A.}$$

$$I_c = 10.2 \times 1.25 = 12.75 \text{ A.}$$

Por consiguiente el interruptor será de 3 polos 15 amps. termomagnéticos.

El cable alimentador será calibre No. 12 AWG. (20 A. de capacidad de conducción).

$$\text{Caída de tensión } e \% = \frac{2 \times 1.73 \times 59 \times 10.2}{440 \times 3.31} = 1.4 \%$$

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 3 – 12.  
1 – 12d.

El diámetro de la tubería conduit será de acuerdo a la tabla No. 1.3 del NTIE será de 13 mm.

• **TABLERO TF-4 (ETIQUETADORA).**

Carga = 5 KW.  
Distancia = 49 m.

Determinación de la corriente.

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{5 \times 1000}{1.72 \times 440 \times 0.9} = 7.2 \text{ A.}$$

$$I_c = 7.2 \times 1.25 = 9 \text{ A.}$$

El interruptor será de 3 polos, 15 Amps. termomagnético.

El cable alimentador será No. 12 AWG. (20 A. de capacidad de conducción).

$$\text{Caída de tensión e \%} = \frac{2 \times 1.73 \times 49 \times 7.2}{440 \times 3.31} = 0.8 \%$$

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 3 – 12.  
1 – 12d.

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a tabla No. 1.3 del NTIE será de 13 mm.

• **TABLERO TF – 5 (VENTILADFORES).**

Carga = 4.103 KW.

Distancia = 5 m.

Voltaje = 220 V.

Determinación de la corriente:

$$I \text{ nom. pc.} = \frac{4.103 \times 1000}{1.73 \times 220 \times 0.9} = 11.9 \text{ A.}$$

Su interruptor será de 3 polos, 15 amps. termomagnéticos. Como existe la posibilidad de incrementar la carga en este tablero se determina usar un interruptor de 3 polos 30 A.

El cable alimentador por consiguiente será del calibre No. 10 AWG (30 A. de capacidad de conducción).

Su canalización será en tubería conduit.

Si consideramos: 3 – 10.  
1 – 12d.

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla 1.3 del NTIE será de 13 mm.

• **TABLERO TA-2**

Carga = 11.88 KW.

Distancia = 30 m.

Voltaje = 220 V.

Determinación de la corriente.

$$I_{nom\ pc} = \frac{11.80 \times 1\ 000}{1.73 \times 229 \times 0.9} = 33.05\ A.$$

$$I_c = 33.05 \times 1.25 = 41.3\ A.$$

Su interruptor será de 3 polos, 50 amperes termomagnético.

Su cable alimentador será calibre No. 6 AWG (65 A. de capacidad de conducción).

$$\text{Caída de tensión } e\% = \frac{2 \times 1.73 \times 30 \times 34.4}{220 \times 13.30} = 1.22\ \%$$

Su canalización será en tubo conduit y por charolo.

Si consideramos: 3-6

1-10 d

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla No. 1.3 del NTIE será de 25 mm.

• **TABLERO TA-1.**

Carga = 62.514 KW.

Distancia = 22 m.

Voltaje = 220 V.

Determinación de la corriente.

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{62.514 \times 1\,000}{1.73 \times 220 \times 0.9} = 182.28 \text{ A.}$$

$$I_c = 182.28 \times 1.25 = 227.85 \text{ A.}$$

Su interruptor será de 3 polos, 225 Amps. termomagneticos.

Su cable alimentador será calibre No. 250 Kcm. (255 A. de capacidad de conducción).

$$\text{Caída de tensión e\%} = \frac{2 \times 1.73 \times 22 \times 182.28}{220 \times 126.7} = 0.5 \%$$

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 3 – 250 KCM.  
1 – 2 d.

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla No. 1.3 del NTIE será de 63 mm.

Como una alternativa para este alimentador principal en 220 V. Desde el TR – 2 de 112.5 KVA. , vamos a considerar esta carga para determinar el alimentador y su canalización.

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{112.5 \times 1\,000}{1.73 \times 220} = 295.23 \text{ A.}$$

$$I_c = 295.23 \times 1.25 = 369.04 \text{ A/2} = 184.52 \text{ A.}$$

Para usar 2 conducciones por fase.

El cable alimentador será calibre 3/0 AWG dos por fase (el cable 3/0 AWG conduce 200 A).

Si consideramos: 6 – 3/0.  
1 – 4d.

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla 1.3 del NTIE será de 76 mm.

Esto nos permitirá disponer del alimentador para cargas futuras del 40% adicional en el sistema de 220 V.

• **MAQUINA SOPLADORA 10/10**

Carga = 216 KV.  
Distancia = 40 m.  
Voltaje = 380 V.

Determinación de la corriente:

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{216 \times 1,000}{1.73 \times 380 \times 0.9} = 364.64 \text{ A.}$$

$$I_c = 364.64 \times 1.25 = 455.8 \text{ A.} / 2 = 227.9 \text{ A}$$

Para 2 conductores por fase.

El interruptor será de 3 polos, 500 A. Termomagnético.

El cable alimentador será calibre 4/0 AWG (230 A. de capacidad de conducción).

Esta maquina esta alimentada de un transformador TR-3. De 300 KVA. Con una relación de transformación de 440-380 V.

Determinaremos su corriente:

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{\text{KVA} \times 1,000}{1.73 \times 440} = \frac{300 \times 1,000}{761.2} = 393.64 \text{ A}$$

$$I = 393.64 \times 1.25 = 492.05 \text{ A.} / 2 = 246.02 \text{ A.}$$

Su interruptor será de 3 polos, 500 amps., termomagnético.

El cable de alimentación será calibre 250 kCM 2 por fase. (255 A. de capacidad de conducción).

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 3 – 250 KCM  
1 – 2d

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla No. 1.3 del NTIE será de 76 mm:

Por consiguiente los alimentadores serán.

3 – 250 KCM  
T – 76

3 – 250 kCM, 1 – 2 d  
T – 76

• COMPRESOR.

Carga = 260 KW.

Distancia = 20 m.

Voltaje = 440 V.

Determinaremos la corriente.

$$I_{nom\ pc} = \frac{260 \times 1,000}{1.73 \times 440 \times 0.9} = 379.06 \text{ A.}$$

$$I_c = 379.06 \times 1.25 = 473.8 \text{ A/2} = 236.9 \text{ A.}$$

Su interruptor será de tres polos, 500 amps. Termomagneticos.

El cable alimentador será del calibre 250 kCM, 2 por fase (255 A. de capacidad de conducción).

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos: 6 – 250 KCM  
1 – 2 d

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla No. 1.3 del NTIE será de 101 mm.

- **CHILLER.**

Carga = 25 KW.  
Distancia = 23 m.  
Voltaje = 440 V.

Determinaremos el valor de la corriente:

$$I_{\text{nom pc}} = \frac{25 \times 1,000}{1.73 \times 440 \times 0.9} = 36.44 \text{ A.}$$

$$I_c = 36.44 \times 1.25 = 45.56 \text{ A.}$$

Su interruptor será de 3 polos, 50 amps., termomagnético.

Su cable alimentador será del calibre No. 8 AWG (45 A. de capacidad de conducción).

Si consideramos: 3 - 8  
1 - 10 d

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla no. 1.3 del NTIE será de 25 mm.

- **VENTILADORES.**

Carga = 0.5 hp motor M-11 (caso mas crítico)  
Distancia = 70 m.  
Voltaje = 220 V, 3 F.

$$I_{\text{nom pc}} = 2.1 \text{ A. tabla 403.95 del NTIE.}$$

$$I_c = 2.1 \times 1.25 = 2.6 \text{ A.}$$

Su interruptor será de tres polos, 15 amps. termomagnético.

Su cable alimentador será del calibre no. 12 AWG. (20 A. de capacidad de conducción).

Su canalización será en tubo conduit y por charola.

Si consideramos : 3 – 12  
1 – 12 d

El diámetro de la tubería conduit de acuerdo a la tabla no.1.3 del NTIE será de 13 mm:

$$\text{Caída de tensión } e\% = \frac{2 \times 1.73 \times 70 \times 2.1}{220 \times 3.31} = 0.69\%$$

#### • CONCLUSION

Para todos los ventiladores se tendrá:

Interruptor de 3 polos 15 amps. termomagnético.

Alimentador: 3 – 12  
1 – 12 d

Canalización T - 13

#### 4.2.4 MEDICION DE RESISTENCIA DE TIERRA.

Eléctricamente, el globo terráqueo es considerado con potencial cero. No obstante el material que la compone puede tener una resistividad eléctrica muy alta, así que para conseguir una toma de tierra adecuada, debe hacerse un estudio para tener la certeza de que la resistencia esta dentro de límites adecuados (permitidos).

De acuerdo con el diccionario IEEE (std. 1000-1977) (The Institute of Electrical and Electronics Engineer) (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) la resistencia a tierra es la que existe entre el electrodo de la toma de tierras que se desea considerar y otro electrodo lejano de resistencia cero. Por lejano se entiende que esta a una distancia tal que la resistencia mutua de los electrodos considerados (cambio de voltaje producido en un electrodo por la circulación de un Ampere de corriente directa en el otro) es esencialmente cero.

El significado de la resistencia a tierra puede entenderse si se analiza el flujo de corriente que circula por una varilla a barra enterrada (verticalmente) y como se dispersa por la tierra que la rodea. La parte del suelo que esta directamente en contacto con la varilla o barra tiene un papel muy importante en el camino de este flujo de corriente.

Considérese un tubo de un centímetro de espesor del material que rodea la varilla y divididas en secciones que tengan una altura y una longitud media de arco igual a un centímetro, tal y como se muestra en la figura. Si se pudiera medir la resistencia entre la superficie interior y exterior (suponiéndolas equipotenciales) de un elemento de esas dimensiones, se obtendría la definición de resistencia volumétrica unitaria: ohms por centímetro cubico. El volumen elemental se considera de material homogéneo y el flujo de corriente se considera uniforme.

La resistencia total de este tubo que rodea la varilla puede calcularse sumando en paralelo las resistencias de todos los elementos de un centímetro cubico que lo compone.

El siguiente paso es hacer la misma operación para un segundo tubo de un centímetro de espesor que rodee al primero. Ahora la resistencia de los dos tubos es la suma de las obtenidas para cada uno de ellos. Se procede de igual manera para un tercer tubo del mismo espesor y así sucesivamente hasta el enésimo y se suman todas las resistencias. Entre más lejanos estén los tubos de la varilla, el número de los elementos unitarios de volumen será mayor y la suma total de sus resistencias en paralelo será menor. Así se puede despreciar la resistencia de los tubos que estén muy lejanos de la varilla o barra de tierra.

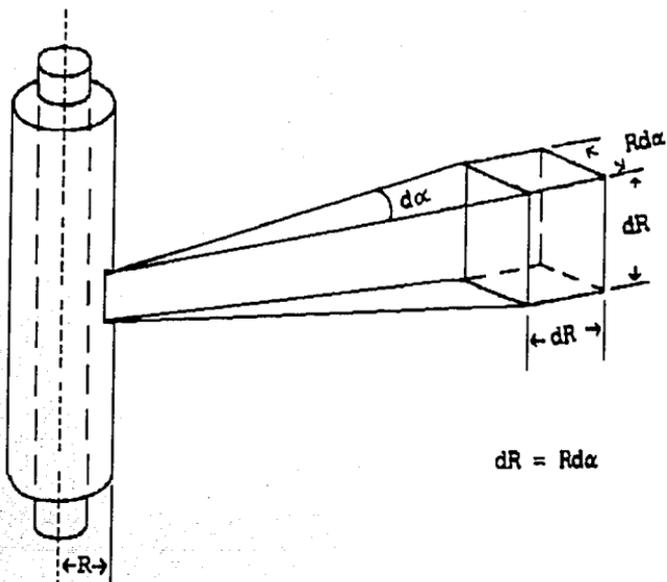


FIGURA 4.15 RESISTENCIA A TIERRA.

La resistencia a tierra de un sitio puede variar dentro de un rango muy amplio, ya que depende del tipo de material que tenga el suelo, de su contenido de humedad y de la temperatura. Para instalaciones importantes se recomienda medir la resistividad de la tierra del lugar de la instalación para diseñar las tomas de tierra.

## VALORES ACEPTABLES.

Se especifico que el valor de la resistencia a tierra no debe ser mayor de 25 ohms. Sin embargo las autores recomiendan que este entre 5 y 10 ohms.

En instalaciones donde se pueden presentar corrientes a tierra muy grandes, la resistencia a tierra deberá ser menor. Mientras mayor sea la corriente de falla a tierra, mayor (más peligrosa será la diferencia de potencial entre cualquier parte metálica conectada a la toma de tierra (electrodo enterrado) y el piso de los alrededores de esta. La caída de voltaje entre el electrodo de tierra y cualquier punto del suelo será igual a la resistencia entre ellos por la corriente (de la falla a tierra) que circula por esa trayectoria.

En la siguiente tabla 4.6. aparecen valores típicos de la resistencia que presentan distintas composiciones de suelo. En la tabla 4.6. se presenta la variación de la resistividad de la tierra en función del contenido de humedad y en la tabla, información relativa al efecto de la temperatura en la resistividad del suelo.

**TABLA 4.6 VARIACION DE LA RESISTIVIDAD.**

Tipo de suelo	Resistividad (ohms. cm)			Resistencia de una varilla de 5/8 " (16 mm) x 10 pies (3 m). (ohms).		
	Prome-dio.	Min.	Max.	Prome-dio	Min.	Max.
Relleno de: Ceniza, carbón, residuos de salmuera, agua salada	2370	590	7000	8	2	23
Arcilla, pizarra, barro, tierra negra, mezclado con grava y arena.	4060	340	16300	13	1.1	54
Grava, arena o piedras con arcilla o tierra negra.	94000	59000	458000	311	195	1516

**TABLA 4.7 EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

Contenido de humedad (% del peso)	Resistividad ( $\Omega$ .cm)	
	Tierra arenosa	arcilla con arena y marga
0	> 10 Exp 9	>10 Exp 9
2.5	250000	150000
5	165000	43000
10	53000	18500
15	18000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

**TABLA 4.8 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

Temperatura		Resistividad ( $\Omega$ . cm)
$^{\circ}$ C	$^{\circ}$ F	
20	68	7200
10	50	9900
0 (agua)	50	13800
0 (hielo)	32	30000
- 5	23	79000
-15	14	330000

## **4.3 INSTALACION DE ALTA TENSION.**

### **4.3.1 SUBESTACION ELECTRICA.**

Subestación eléctrica tipo compacta para una tensión de servicio de 34,500 Volts. 3 fases, 3 hilos, 60 Hz. Servicio interior construida con lamina de acero calibre No. 12 USG, y base de lamina calibre No. 10 USG rolado en frio, autosoportada, con previo tratamiento de desoxidación, acabado de primera y esmalte de la mejor calidad, MCA. Integrada por las siguientes celdas.

#### **CELDA DE MEDICIÓN.**

Gabinete blindado de 2,000 x 2,900 x 2,000 mm., destinado para alojar en ella el equipo de medición de la compañía suministradora, este gabinete cuenta con dos puertas, con ventana de inspección de material transparente e inastillable, con manijas y con placas laterales desmontables. En su interior aloja bus trifasico de cobre electrolitico de 400 A. soportado por medio de aisladores de resina epoxica.

Sistemas de tierra de capacidad adecuada.

#### **CELDA DE CUCHILLA DE PASO.**

Gabinete blindado de 800 x 2,900 x 2,000 mm, tiene como función seccionar las partes principales de la subestacion provista de mecanismos para operar desde el frente de la celda por medio de palanca; en su interior aloja:

Una cuchilla trifásica desactivadora para operar en grupo sin carga, tiro sencillo con tensión nominal de 34.5 KV. Corriente nominal 400 A. MCA. Driescher o Sim.

Accionamiento por medio de palanca con dispositivo de señalización abierto-cerrado.

Sistemas de tierra de capacidad adecuada.

Bus trifasico de cobre electrolitico de 400 A. soportado por medio de aisladores de resina epoxica.

## **CELDA DE SECCIONADOR O INTERRUPTOR CON APARTARRAYOS:**

Gabinete blindado de 1,800 x 2,900 x 2,000 mm. Este gabinete esta provisto de mecanismos para operar desde el frente del accionamiento por medio de la palanca con enclavamiento mecánico, evitando abrir la puerta de este gabinete si no esta desconectado, tendrá una puerta con ventana de inspección de material transparente e inastillable y manija, en su interior aloja:

Seccionador o interruptor trifasico de operación en grupo con carga, tiro sencillo y combinado con portafusibles provisto con dispositivo mecánico de energía almacenada para su cierre, equipado con mecanismo de disparo simultaneo en las tres fases, en caso de falla del fusible en cualquier de ellos con una tensión nominal de 34.5 KV.

Juego de tres fusibles de 25 A. de alta capacidad interruptiva.

Juego de tres apartarrillos autovalvulares monopolares con el neutro sólidamente conectado a tierra, clase 30 KV MCA. CELCO o SIM.

Accionamiento por medio de palanca al frente del tablero para la puerta, cierre manual del corto circuito con bloqueo mecánico, el cual impide la apertura de la puerta si el interruptor esta en posición de cerrado. MCA. DRIESCHER o SIM.

Bus trifasico de cobre eléctrico para 400 A. Nominales soportado por medio de aisladores de resina epoxica.

Sistemas de tierras de capacidad adecuada.

## **CELDA DE ACOPLAMIENTO A TRANSFORMADORES:**

Gabinete blindado de 800 x 2,900 x 2,000 mm. Diseñado y provisto para colocarse mecánica y estrictamente a la garganta del transformador de la derecha del gabinete viéndolo de frente; con placas laterales desmontables en un lado, y que en su interior aloja:

Bus trifasico de cobre electrolítico de 400 A. Soportado por medio de aisladores de resinas epoxica.

Extensión de bus para conexión eléctrica a las boquillas del transformador y un sistema de tierras de capacidad adecuada.

### 4.3.2 DESCRIPCION DE LA SUBESTACION.

Las subestaciones compactas marca ELMEX estan formadas por gabinetes metálicos blindados, construidos con perfiles de acero rolado en frio calibre números 9, 10 y 12 U.S.G. autotransportadas, con puertas embisagradas, acabado anticorrosivo, pintadas con esmalte del color adecuado para cada instalación de servicio interior e intemperie.

Estas subestaciones se producen bajo el sistema de estructuras independientes a partir de elementos fabricados en serie, los cuales son formados y pintados en fabrica, teniendo la posibilidad de entregar al cliente o enviarse al lugar de la obra, totalmente terminados en sección para armarse posteriormente.

Las secciones de subestaciones compactadas se pueden proporcionar con una gran variedad de equipos como: interruptores en aire, vacio, PVA o SF6, o puertas con sistemas de bloqueo macanico como medidas extras de seguridad; proporcionando protección adicional para los operadores y asegurar el acceso solamente bajo condiciones de no-voltaje.

Con tensión máxima de diseño de 15, 24 y 38 KV., las subestaciones se forman a base de celdas independientes; lo cual permite un sin numero de combinaciones y arreglos en: linea recta, en ángulo, en dos líneas, con uno o varios transformadores.

En la construcción de las subestaciones servicio intemperie, juega un papel principal el diseño de la estructura para que el agua de lluvia escurra y no se almacene en ninguna parte de los gabinetes, así como para evitar que las particulas de agua penetren hasta el equipo alojado en el interior; todos los componentes como estructuras , puertas, tapas laterales, etc., estan diseñados bajo este sistema. Como una protección adicional del equipo, en algunos casos cuenta con doble puerta al frente, las cuales tienen mirillas de vidrio inastillable que hace posible observar la operación del equipo desde el exterior.

El sistema de ventilación esta diseñado para impedir condensación de vapor de agua en el techo o en las partes superiores de la subestacion, mediante la creación de flujo de aire que recorrer todas las partes donde hay posibilidades de condensación de agua.

El techo de nuestras subestaciones servicio intemperie esta diseñado en forma tal que impide la acumulación de agua y a su vez coopera en la creación del flujo de aire interior; normalmente el techo tiene una pendiente entre 3 y 4 grados.

En la parte interior superior de las celdas se encuentran las barras colectores de cobre o aluminio, dispuestas horizontalmente en forma paralela, pasando a través de todas las celdas y estando unidas entre si en los puntos de separación mediante piezas de conexión.

En los sistemas trifásicos de alta tensión, las estructuras de los equipos o aparatos eléctricos deben estar sólidamente conectados a tierra, con el fin de dar protección adicional a los operarios o personas que se encuentren cerca de la subestacion en caso de descargas. Las barras de tierra siempre son de cobre y con una sección transversal de acuerdo a las normas.

La planta cuenta con equipo de pruebas para alta tensión; todas las subestaciones una vez terminadas son sometidas a una serie de pruebas de rutina, entre otras, podemos mencionar la prueba de tensión soportable en seco, cuyo resultado indicara las condiciones del aislamiento en el equipo. Además las pruebas de operación mecánica garantizaran el buen funcionamiento del equipo y certifica al cliente que su subestacion operara a la tensión para la cual fue diseñada.

**TABLA 4.9 VALORES DE TENSION DE PRUEBA.**

TENSION NOMINAL (r.m.s) KV	TENSION MAXIMA (r.m.s) KV	TENSION SOPORTABLE SOSTENIDA (1 min. 60 Hz. r.m.s) KV
		A TIERRA Y ENTRE FASES
13.8	15.0	36
23.0	25.8	60
34.5	38.0	80

#### **CUCHILLAS DE OPRACION SIN CARGA.**

El interruptor en aire L-TRI-5 es u equipo automático de apertura en aire resultado de un avanzado desarrollo de Sprecher and Schuh, cuenta con cámaras planas para la extinción del arco eléctrico y ha sido fabricado por mas de 30 años.

En estos interruptores se ha puesto especial atención para reducir las dimensiones, incrementar la capacidad para soportar cortos circuitos, mejorar su operación ampliando el tiempo de mantenimiento, aunado lo anterior con una simple y robusta construcción mecánica. Este interruptor cumple con las normas CEI No. 265 y UPE VDE 067 con holgura.

El interruptor tipo L-TRI-5, esta equipado con un mecanismo de disparo manual y automático por medio de energia almacenada, utilizando como medio sensor de fallas, fusibles limitadores de corriente de alta capacidad interruptiva.

El disparo automático se realiza al fundirse un fusible por corto circuito, liberando un vástago que acciona dicho mecanismo, el disparador mecánico se rearma automáticamente, pero para poder conectar el interruptor nuevamente se requiere cambiar el fusible fundido, en caso de que esto no se haya efectuado, resultara imposible reconectar el interruptor. El disparo siempre es tripolar de modo que el sistema nunca queda operando en una fase.

El corte de la corriente se realiza en las cámaras de arqueo en forma de banderas colocadas en la parte superior del interruptor. El interruptor L-TRI-5 cuenta con unas navajas principales y auxiliares, las primeras hacen contacto con las barras conductoras de la corriente y las segundas se introducen dentro de las cámara de arqueo. Durante el proceso de interrupción, son las navajas auxiliares las que conducen la corriente de modo que las navajas principales pueden abrir sin producirse un arco eléctrico.

El arco eléctrico. Se establece en las cámaras de arqueo, cuando las navajas auxiliares son abiertas, el arco se extingue por efecto de gases ionizados (causados por los efectos del arco), estos gases al salir de la cámara de arqueo no producen chisporroteo debido al efecto enfriador de las paredes de las cámaras.

A causa del mecanismo de operación de energía almacenada, y a que el interruptor es de apertura y cierre rápido; la velocidad de operación de las navajas auxiliares es prácticamente independiente de la velocidad de operación del interruptor..

Los interruptores estan diseñados para ser operados por medio de un accionamiento de disco y palanca, colocado al frente del tablero, su arreglo compacto y sencillo permite realizar sin grandes esfuerzos las operaciones de cierre y apertura del interruptor. La robustez mecánica y comprobado desarrollo, permiten operar a este mecanismo prácticamente sin mantenimiento durante largos periodos.

Los interruptores L-TRI-5 no requieren de un mantenimiento especial mas allá de lo normal; todos los resortes y contactos eléctricos se encuentran lubricados permanentemente, y solo se deberán limpiar los aisladores de depósitos durante las inspecciones regulares, especialmente si el medio ambiente es sucio. La confiabilidad mecánica del interruptor garantiza un gran numero de operaciones sin mantenimiento alguno, su duración mecánica es mayor de 2 500 operaciones de interrupción. Se recomienda una revisión, limpieza o lubricación después de operar bajo las siguientes condiciones:

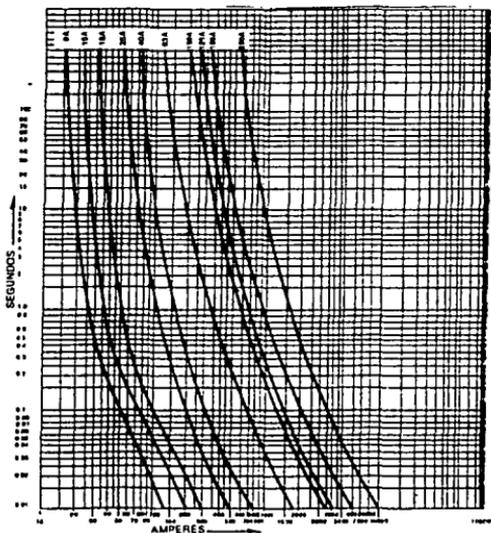
- a. Después de elevadas operaciones relacionadas con cortos circuitos.
- b. Después de aproximadamente 200 operaciones interruptores.
- c. Después de cuatro a cinco años, bajo condiciones ambientales normales.
- d. Después de uno a dos años, en el caso de condiciones ambientales agravadas, como por ejemplo, áreas polvosas, atmósfera agresiva, nivel permanente elevado en la humedad relativa del aire, es decir mayor del 70% o condiciones combinadas.

## FUSIBLES PARA ALTA TENSION DE ALTA CAPACIDAD INTERRUPTIVA.

La protección por medio de fusibles se utiliza ampliamente en todo tipo de plantas e instalaciones eléctricas, tanto en alta como en baja tensión, ya que constituyen una forma muy económica y segura de protección, teniendo las siguientes ventajas sobre otros tipos de desconexión.

- a. Limitan el valor de la corriente del corto circuito. Esto es de gran importancia para la seguridad y economía de la planta, ya que reduce los esfuerzos mecánicos y térmicos en los aisladores, conductores, soporte, barras y equipos eléctricos durante una falla.
- b. La corriente de impacto de corto circuito nunca llega a alcanzarse debido a la rapidez con que opera el fusible en tanto que siempre se alcanza cuando se utiliza protección por medio de interruptores. Su alta capacidad interruptiva, mayor a la de cualquier otro medio de protección.

A fin de poder seleccionar el fusible adecuado a las características y comportamiento del equipo o red a proteger, es necesario poder estimar la corriente limitadora y la calibración adecuada; esto se logra con ayuda de las gráficas, las cuales se obtuvieron en pruebas efectuadas a fusibles ELMEX que se ajustan a las normas VDE y CEI.



**FIGURA 4.16-A** CURVAS DE FUSION PARA FUSIBLES MARCA ELMEX TIPO "FE" DESDE 6-200 A.

La Figura 4.16-A. proporciona las corrientes limitadoras de los fusibles ELMEX, graficadas contra las corrientes de corto circuito disponible en la red; la corriente limitadora de un fusible es el valor pico de la corriente efectivamente cortada; en el caso de una prueba esta se observa en el oscilograma, para el caso de una predeterminación, puede tomarse de las gráficas de las características de los fusible.

La Figura 4.16-B. que corresponde a las curvas de fusión de los fusibles, es la mas utilizada en practica pues representa la relación que existe entre el tiempo de fusión de los fusibles con respecto a la corriente de la red, tanto en condiciones normales como en caso de sobre corrientes y cortos circuitos. Esta basada en la ecuación  $I^2 t = K$  (constante) ley que se aplica a las condiciones de calentamiento de un conductor durante intervalos muy cortos de tiempo, ya sea con corriente alterna o corriente directa.

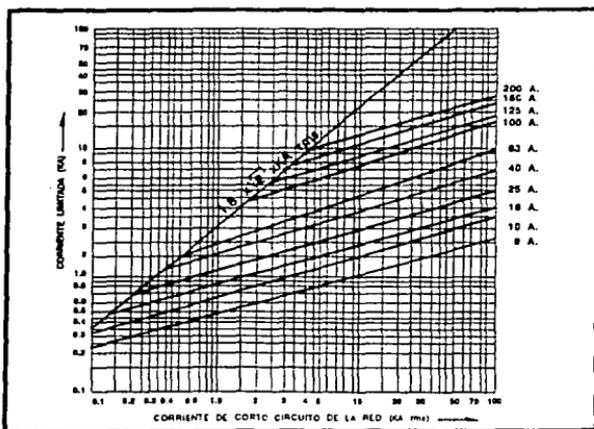


FIGURA 16-B POTENCIA DE CORTO DE LOS FUSIBLES ELMEX TIPO "FE".

Existen múltiples criterios para seleccionar los fusibles adecuados cuando se trata de proteger transformadores.

ELMEX considera que el criterio más reciente y mejor soportado es el siguiente:

- a. Calcular la corriente de carga del transformador, de acuerdo a la capacidad instalada.

- b. Multiplicar este valor por doce y buscar en la gráfica no. 1. La calibración mas cercana al punto de intersección de doce (1c.) y 0.1 seg.

Otro medio de selección de fusibles se muestra en la tabla de calibraciones recomendadas para diferentes potencias y voltajes de transformadores.

### CALIBRACIONES RECOMENDADAS PARA DIFERENTES POTENCIAS Y VOLTAJES DE TRANSFORMADORES.

TABLA 4.10 POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR (KVA).

KW	75	112.5	150	225	300	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
CALIBRACION RECOMENDADA (AMPERES)												
2.4	40	63	100	160	160	250	X	X	X	X	X	X
4.16	25	40	40	63	100	160	200	315	X	X	X	X
13.2	10	10	16	25	25	40	63	100	125	160	200	X
20/23	6	6	10	16	16	25	40	63	100	125	160	160
34.5	X	6	6	10	16	25	40	40	63	100	100	X

TABLA 4.11 CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES.

TENSION NOMINAL (KV)15					TENSION NOMINAL (KV) 15				
CLAVE	CORRIENTE E NOMINAL (A)	CORRIENTE INTERRUPTI VA (MVA)	LARGO *A* (mm)	PES O (Kg)	CLAVE	CORRIENTE NOMINAL (A)	CORRIENTE INTERRUPTI VA (MVA)	LARGO *A* (mm)	PES O (Kg)
FE15006-C	6	1000	292	2.4	FE15006-L	6	2000	442	3.3
FE15010-C	10	1000	292	2.4	FE15010-L	10	2000	442	3.3
FE15016-C	16	1000	292	2.4	FE15016-L	16	2000	244	3.3
FE15025-C	25	1000	292	2.4	FE15025-L	25	2000	442	3.3
FE15040-C	40	1000	292	2.4	FE15040-L	40	2000	442	3.3
FE15063-C	63	650	292	2.4	FE15063-L	63	1000	442	3.3
FE15100-C	100	650	292	3.5	FE15100-L	100	1600	442	5.0
FE15125-C	125	500	292	3.5	FE15125-L	125	1600	442	5.0
FE15160-C	160	500	292	3.5	FE15160-L	160	1000	442	5.0
FE15200-C	200	500	292	3.5	FE15200-L	200	1000	442	5.0

TABLA 4.12. TENSION NOMINAL (KV)24

CLAVE	CORRIENTE E NOMINAL (A)	CORRIENTE INTERRUPTI VA (MVA)	LARGO "A" (mm)	PES O (Kg)
FE2406	6	16000	442	3.3
FE24010	10	16000	442	3.3
FE24016	16	16000	442	3.3
FE24025	25	16000	442	3.3
FE24040	40	16000	442	3.3
FE24063	63	1600	442	3.3
FE24100	100	1000	442	3.3
FE24125	125	800	442 </td <td>3.3</td>	3.3
FE24160	160	800	442	3.3

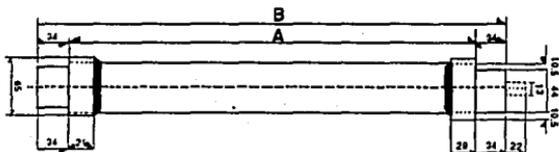


FIGURA 4.16-C. FUSIBLE (ACOTACIONES EN MILIMETROS):

915 KV

A = 292 mm.

B = 360 mm.

15 KV. Y 24 KV

A = 442 mm.

B = 510 mm.

36 KV.

A = 537 mm.

B = 605 mm.

### **4.3.3 TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE 1000 KVA.**

Transformador eléctrico de distribución en aceite, enfriamiento propio "OA", servicio interior 55/65 °C máximos, conexión delta estrella, con neutro fuera del tanque y 4 derivaciones para operación desenergizada de 2.5% c/u, 2 arriba y 2 debajo de la tensión nominal primaria, para una relación de transformación de 34.5 KV – 440/254 V. En el secundario, con una capacidad de 1000 KVA, Z=5.75%, para un sistema trifásico de 60 Hz; equipado con gargantas en alta y baja tensión. Se considera que el primario queda a la izquierda viendo de frente al transformador.

Cantidad 1 pza.

### **TRANSFORMADOR DE ALUMBRADO DE 112.5 KVA.**

Transformador eléctrico de distribución tipo seco, enfriamiento en aire, servicio interior 55/65 °C máximos, conexión delta-estrella con 4 derivaciones para operación desenergizada de 2.5% c/u 2 arriba y 2 debajo de la tensión nominal primaria, para una relación de transformación de 440-220/127.5 V en el secundario, con una capacidad de 112.5 KVA, Z = 4.3%, para un sistema trifásico, 60 Hz.

Cantidad 1 pza.

### **TRANSFORMADORES TIPO SECO.**

#### **APLICACIONES.**

La principal aplicación de estos equipos esta dirigida hacia la distribución interior de la energía de fabricas, edificios, hospitales; por esta razón los equipos se diseñan con baja capacidad y reducido tamaño a fin de proporcionar suficiente flexibilidad en su selección y montaje fácil en la instalación.

Este tipo de aparatos no contiene aceite u otra clase de liquido aislante, por lo mismo su uso se destina a lugares con ambientes peligrosos donde cualquier material combustible representa un riesgo.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Enfriamiento natural (clase AA).

Medio refrigerante (aire del ambiente).

Servicio interior

Elevación de temperatura: 80 °C sobre un ambiente promedio de 30 °C y máximo de 40 °C.

Altura de operación: 2300m.s.n.m. (Metros sobre el nivel del mar)

Frecuencia; 60 Hz.

Construidos y probados según norma NOM-J-351.

Capacidad nominal: 14, 30, 75, 1112.5, 150, 225 y 300 KVA.

Tensión primaria: 480 o 440 Volts.

Conexión del primaria: delta.

Derivación en el primario: cuatro de 2.5 % cada una, dos arriba y dos debajo de la tensión nominal.

Tensión secundaria: 220 V/127 V.

Conexión del secundario: estrella.

## 4.3.4 MEMORIA MECANICA.

### TABLERO PRINCIPAL DE ALUMBRADO (TA-1)

Tablero de distribución tipo NQO en baja tensión para un sistema de 3F, 4H, 60Hz., 220 V.C.A. con puerta y chapa, con los siguientes interruptores termomagnéticos.

Part.	Descripción	Cantidad
1	Interruptor principal termomagnético de 3 polos, 225 amps.	1
2	Interruptor derivado termomagnético de 3 polos, 50 amps.	1
3	Interruptores derivados termomagnéticos de 3 polos, 20 amps.	21
4	Interruptores derivados termomagnéticos de 2 polos, 20 amps .	1
5	Interruptores derivados termomagnéticos de 3 polos, 15 amps.	5

## TABLERO DE FUERZA VENTILADORES (TF-5)

Tablero de distribución tipo NQO en baja tensión para un sistema de 3F, 4H, 60 Hz., 220 V. C.A. con tipo de frente de sobreponer MCA. Square'd o SIM. Con los siguientes interruptores termomagnéticos:

PART.	DESCRIPCION.
1	Interruptor principal termomagnético de 3 polos, 15 amps.
2	Interruptores derivados termomagnéticos de 3 polos, 30 Amps.

## TABLERO DE ALUMBRADO OFICINAS (TA-2)

Tablero de distribución tipo NQO en baja tensión para un sistema de 3F, 4 H, 60 Hz., 220 V. C.A., con puerta y chapa, cat. NQO 144 ABS con tipo de frente de sobreponer MCA. Square'd o SIM. Con los siguientes interruptores termomagnéticos:

PART.	DESCRIPCION.
1	Interruptor principal termomagnético de 3 polos, 50 Amps.
2	Interruptor derivado termomagnético de 1 polo, 30 amps.
3	Interruptores derivados termomagnéticos de 1 polo, 20 amps.
4	Interruptores derivados termomagnéticos de 1 polo, 15 amps.

## CABLE DE ENERGÍA VULCANEL EP O XLP

### DESCRIPCION:

- Conductor compacto cableado clase "B", de aluminio.
- Pantalla semiconductora extruida sobre el conductor.

- c. Aislamiento de EP o XLP.
- d. Pantalla semiconductora extruida sobre aislamiento.
- e. Pantalla electrostática basado en alambres de cobre suave.
- f. Cinta separadora.
- g. Cubierta exterior de PVC.

#### APLICACIONES.

Este cable esta diseñado para usarse en sistemas trifásicos de distribución y es apropiado para instalación de doctos, directamente enterrados o en charolas cuando se requiera de máxima seguridad en la instalación.

#### TENSION MAXIMA DE OPERACIÓN:

15, 25 y 35 KV.

#### TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

Normal	90 C.
Sobrecarga	130 C.
Cortocircuito	250 C.

#### CABLE DE ENERGIA VULCANEL EP o XLP TIPO DS PARA 15, 25 Y 35 KV.

#### PROPIEDADES:

- a. Proceso de triple extrusión que mejora notablemente las características eléctricas.
- b. El aislamiento de EP (Etileno Propileno) ofrece:
  - b.1. Excelente resistencia al calor y a la humedad.

- b.2. Resistencia excepcional a las descargas parciales.
- b.3. Alta rigidez dieléctrica.
- b.4. Baja absorción de humedad.
- b.5. Gran resistencia a las arborescencias.
- b.6. Bajas pérdidas dieléctricas.
- c. El aislamiento de XLP (Polietileno de Cadena Cruzada) ofrece:
  - c.1. Excelente resistencia al calor y la humedad.
  - c.2. Buena resistencia a aceites.
  - c.3. Resistencia a descargas parciales.
  - c.4. Bajas pérdidas dieléctricas.
  - c.5. Alta rigidez dieléctrica.
- d. La pantalla semiconductor extruída sobre el aislamiento es de fácil desprendimiento.
- e. La pantalla de hilos de cobre permite una capacidad de cortocircuito elevada y una impedancia uniforme.
- f. El cable terminado ofrece:
  - f.1. Resistencia a la propagación del incendio (IEEE-383).
  - f.2. Mínima emisión de humos densos y oscuros (ASTM E-662).
  - f.3. Mínima emisión de gases tóxicos y corrosivos (IEC-754-1).
  - f.4. Resistencia a la abrasión, calor, humedad, ozono, aceites, grasas y productos químicos.

Con frente tipo embutir o sobreponer, según se indique en los cuadros de carga correspondiente, donde también se indica el número de polos y capacidades de los interruptores termomagnéticos derivados en cada caso.

**TABLA 4.13 CABLE DE ENERGIA VULCANEL EP o XLP TIPO DS PARA 15, 25 Y 35 KV.**

Calibre	Area	Numero De Hilos	Diámetro.						Peso								
			Conductores			Sobre aislamiento			Total			EP			XLP		
			15KV e=4.4	25KV e=5.6	35KV e=8.8	15KV	25KV	35KV	15KV	25KV	35KV	15KV	25KV	35KV			
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg/cm			Kg/cm					
2	33.60	7	6.8	17.1	-	-	24.1	-	-	640	-	-	480	-	-		
1/0	53.49	19	8.5	18.8	23.2	27.6	25.8	30.2	35.0	750	980	1300	560	650	850		
2/0	65.40	19	9.6	19.9	24.3	28.7	26.9	31.3	36.1	830	1100	1400	605	705	910		
3/0	85.01	19	10.7	21.0	25.4	29.8	28.0	32.8	37.2	910	1295	1565	700	800	1005		
4/0	107.21	19	12.1	22.4	27.1	31.6	29.4	34.5	39.0	1035	1320	1620	750	915	1105		
250	126.7	37	13.2	23.8	28.4	33.0	30.8	35.8	40.4	1125	1425	1750	860	1005	1180		
350	177.3	37	15.7	26.3	30.9	35.5	33.7	38.3	42.9	1350	1675	1950	1105	1190	1260		
500	253.4	37	18.7	29.3	33.9	38.5	36.7	41.3	48.1	1180	2025	2565	1350	1480	1815		
600	304.0	61	20.7	31.5	36.2	40.7	38.9	45.2	50.3	2015	2430	2810	1500	1815	2185		
750	380.0	61	23.1	33.9	38.6	43.1	41.3	48.2	52.7	2165	2715	3005	1805	2150	2400		
900	456.0	61	25.4	36.6	40.9	45.4	43.6	50.5	55.0	2585	2980	3480	2015	2400	2615		
1000	506.7	61	25.9	39.7	42.4	46.9	45.1	52.0	56.5	2815	3260	3700	2200	2580	2805		

## 4.4 ACCESORIOS.

CONDUMEX, ofrece una amplia gama de accesorios, para cables aislados tales como terminales premoldiadas y de porcelana, empalmes encintados, empalmes para baja tensión, estuches de reparación, así como todos los accesorios para sus sistemas de distribución subterráneos en baja, media y alta tensión.

Para las transiciones aero-subterráneas así como las llegadas de cables con pantalla sobre aislamientos a tableros y equipos se utilizan las terminales, las cuales se dividen en tres clases diferentes según la norma NOM-J-199 y la IEEE-48.

Clase 1: corresponde a una terminal que proporciona alivio de esfuerzos eléctricos, distancia de fuga aislada y hermeticidad.

Clase 2: proporciona el alivio de esfuerzos eléctricos y la distancia de fuga aislada.

Clase 3: únicamente proporciona el alivio de esfuerzos eléctricos.

Las terminales que fabrica condumex y cumplen con esas clases son la TTB Terminal Tipo Bayoneta, la TMI (Terminal Modular Intemperie) y la TIP (Terminal Interior Premoldeada), respectivamente.

En instalaciones específicas, cuando los cables no tienen la longitud necesaria, se deben de realizar uniones de los mismos para tal efecto se ofrece empalmes encintados tipo CPM (Cable con pantalla metálica) para cables de media tensión y empalmes EVP (Empalmes por Vaciado) para cables de baja tensión.

Así mismo hay casos en que se requiere reparar la cubierta de un cable de media tensión o dar protección adicional al cable. En la actualidad, es importante tener sistemas con la confiabilidad del servicio, seguros y que disminuyan la contaminación visual, con este fin se han desarrollado los sistemas de distribución subterránea en los cuales se incluye cables, transformadores y accesorios para su conexión. Para esto tenemos conectores múltiples separables para baja, media y alta tensión, codos, insertos etc. que son accesorios para la distribución subterránea.

#### TERMINAL INTERIOR PREMOLDEADA "TIP".

Las terminales TIP están diseñadas para controlar los esfuerzos presentes en cables de 5 kv. hasta 34.5 kv. con blindaje electrostático. Su aplicación es exclusivamente en interiores, por lo cual no será necesario agregar ningún otro elemento para protección del cable. Los cables en los que se pueden instalar serán siempre del tipo de aislamiento extruido. Para seleccionar este tipo de terminales únicamente será necesario conocer el diámetro real sobre el aislamiento del cable (figura 4.17), de esta manera, localizar en la tabla 4.14 el tamaño de la TIP apropiada, seleccionando aquel intervalo en el que quede comprendido el diámetro sobre aislamiento del cable en cuestión.

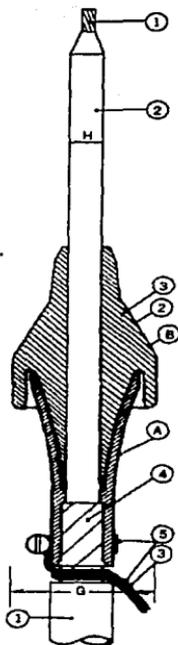
Como una guía general para la selección del tamaño de la TIP, se ha preparado la tabla 4.14, en la que se lista el calibre del cable con la clase de aislamiento del mismo (nivel 100%) y la determinación de la TIP correspondiente. El tamaño seleccionado de este tipo de terminales deberá utilizarse únicamente en cables que queden comprendidos dentro de los límites del diámetro sobre aislamiento correspondiente, porque, de lo contrario, la terminal no podrá dar el servicio esperado.

**TABLA 4.14 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA TIP.**

Diámetro sobre aislamiento (H) (mm)	Tamaño TIP	Dimensión G
11.5 - 14.0	RR	46.0
13.8 - 16.5	R	53.5
16.3 - 20.0	1	53.5
19.8 - 23.5	2	62.8
23.3 - 27.0	3	66.3
26.8 - 31.0	4	69.8
30.8 - 35.0	5	76.0
34.8 - 40.0	6	80.5
38.0 - 46.0	7	103.0
42.0 - 50.0	8	103.0

**DESCRIPCION:**

- 1.- Conductor del cable
- 2.- Aislamiento del cable.
- 3.- Blindaje electrostatico del cable.
- 4.- Cono TIP.
- 5.- Conexión a tierra del cono de alivio y blindaje del cable.
- H.- Diámetro sobre aislamiento.
- G.- Diámetro externo de la TIP.



**FIGURA 4.17 FIGURA TÍPICA DE INSTALACION DE LA TIP, CON LAS DIMENSIONES PARA SU SELECCIÓN.**

**TABLA 4.15 GUÍA PARA SELECCION DEL TAMANO DE LA TIP CON BASE EN LA CLASE DE AISLAMIENTO (NIVEL 100 %) Y CALIBRE DEL CONDUCTOR.**

Tensión	6	4	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	250	300	350	400	500	600	750	100
5 Kv.	RR		R			1			2		3		4		5	
8 Kv.	RR		R			1			2		3		4		5	
15 Kv.				1		2			3		4		5		6	
25 Kv.				2		3			4		5		6		7	
35 Kv.				4			5			6		7		8		

Esta tabla de selección es una guía, basada en las dimensiones de los cables según norma. La selección debe llevarse a cabo de acuerdo con el diámetro real sobre aislamiento de cable.

## Ejemplos de selección.

Si su cable es para 15 KV., neutro a tierra, calibre 4/0 AWG, aislamiento seco con un diámetro sobre aislamiento de 22.5 mm; el cono seleccionado será el de la TIP 2.

Si su cable es para 23 KV., calibre 1 AWG con un diámetro sobre aislamiento de 22.631 mm será la misma TIP 2 la que se utilice.

## INSTALACION.

Al igual que los otros tipos de terminales descritas en este tema, cada uno de los estuches TIP contiene, además de los accesorios complementarios para su instalación y limpieza, un instructivo detallado de los pasos a seguir para la instalación eficiente de los conos de alivio.

Como particularidades importantes de este tipo de terminales cabe hacer mención que las características elásticas del cono de alivio asegurara el contacto interfacial con el cable, en condiciones de servicio del sistema y otra es que no será necesario agregar ningún encintado adicional a la terminal, cuando sea instalada en interiores.

A continuación, en la se ilustra en la figura 4.18. que tanto será necesario retirar los diferentes elementos de diversas construcciones de cable, en los que puede instalarse este tipo de terminal y en la que se describe en forma general el proceso de instalación de la TIP.

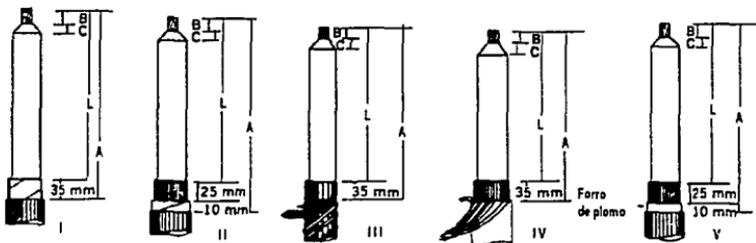


FIGURA 4.18 DISTANCIA DE PREPARACIÓN PARA TMI EN DIVERSAS CONSTRUCCIONES DE CABLES EXTRUIDOS.

**TABLA 4.16 DE DIMENSIONES (MM)**

Clase de aislamiento					
Dimensiones	5 KV	8 KV	15 KV	25 KV	34.5 KV
A	280 + B	325 + B	495 + B	605 + B	635 + B
B	Profundidad del barril de la zapata + 10 mm				
C	20	25	32	50	70
D	245 + B	290 + B	490 + B	570 + B	600 + B

**Tipo de cable**

1. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de cinta semiconductora, cinta de cobre y cubierta protectora.
2. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido, cinta de cobre y cubierta protectora.
3. Cable de energía para distribución residencial subterránea (DRS), con pantalla semiconductora extruido que es al mismo tiempo cubierta protectora y neutro formado por hilos de cobre estañado colocados en forma helicoidal sobre la cubierta.
4. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido e hilos de cobre dispuestos helicoidalmente y cubierta protectora.
5. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido, forro de plomo y cubierta protectora..

**DESCRIPCIÓN:**

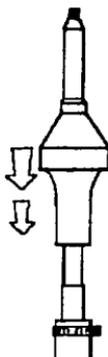
- a. Conductor de cobre o aluminio.
- b. Punta de lápiz.
- c. Aislamiento del conductor.
- d. Cono de alivio "TIP".
- e. Cable de cobre calibre de 10 AWG para conexión a tierra.
- f. Abrazadera.
- g. Cubierta de cobre.

**APLICACIONES:**

Esta terminal (TIP) ha sido diseñada para ser instalada en servicio interior en cables de energía de media tensión con pantalla electrostática y aislamiento extruido (EP, XLP, PVC ) en sistemas de operación de 5 a 35 KV. La única diferencia entre terminales de diferentes tensiones será la distancia de fuga que se deje al retirar cubierta y pantallas sobre aislamiento. Se instala en cables monofásicos y trifásicos.



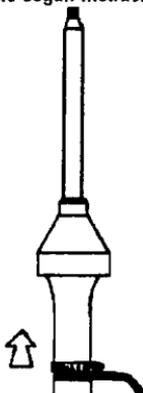
1.- Preparar el cable de acuerdo con el instructivo incluido en cada estuche.



2.- Inserte la abrazadera para conectar a tierra, aflojando previamente el tornillo. Lubrique el cono según instructivo y empiece a insertarlo.



3.- Hasta que su extremo inferior tope con la cubierta a la marca en la pantalla.



4.- Conecte a tierra la trenza plana y el conductor a la fase, con una zapata apropiada; la terminal esta lista para ser energizada.

FIGURA 4.19 PROCESO DE INSTALACIÓN DE LA TIP.

## **CARACTERISTICAS:**

Terminal fabricada a base de Etileno propileno (EPDM). Se usa en tensiones de 5 a 35 KV y calibre de 6 AWG a 1000 KCM. Los accesorios que vienen con el cono de alivio (TIP) son: instructivo, lubricante, cable para conexión a tierra, abrazadera, solvente, lija y toalla de limpieza para la preparación del cable.

## **SELECCIÓN.**

Para seleccionar el cono apropiado es necesario medir el diámetro sobre aislamiento del cable ("TC") que se va a instalar, retirando previamente cubiertas y pantalla, o solicitar este dato al fabricante del cable, especifique como sigue:

TIP-"TC"-Y" donde:

TIP = Terminal interior premoldeada.

"TC" = Tamaño de cono esta en función al diámetro sobre aislamiento del cable ver tabla 4.14.

"Y" = Clase de aislamiento según la tensión del cable (5, 8,15 y 35 KV).

Ejemplo:

Para seleccionar una terminal interior premoldeada, para un cable de energía con aislamiento extruido de EP, calibre 500 KCM-15 KV, y con un diámetro sobre aislamiento "TC" de 29 mm, la terminal será: TIP-4-15 KV.

## **TERMINAL EXTERIOR PREMOLDEADA (TERMINAL MODULAR INTEMPERIE).**

Terminales TMI.

Las terminales TMI podrán ser utilizadas exclusivamente en cables con aislamiento extruido (EP, XLP, etc.) y estan especialmente diseñadas para uso en intemperie; pero, en instalaciones en las cuales se tengan limitaciones de espacio para la colocación de terminales TIP, puede utilizarse la TMI, para la cual incluso no se requeriría del capuchón semiconductor, posiblemente, la conexión del conductor del cable no requiera tampoco del conector universal.

Estas terminales modulares podrán ser utilizadas en aislamiento que varíe desde el clase 5 KV hasta el 34.5 KV, y calibres de conductores de cobre o aluminio, desde 6 AWG hasta 1000 MCM, mediante la aplicación de 8 tamaños básicos diferentes correspondiendo a 8 intervalos de valores del diámetro sobre aislamiento de los cables, y agregando campanas de acuerdo con la clase de aislamiento. Para seleccionar

el estuche Apropriado con el fin de satisfacer las necesidades del sistema en la expresión siguiente se sustituye la literal por el concepto que corresponda:

TMI - "X" - "Y" - "C" - "M"

En donde:

TMI = Prefijo que indica terminal modular interperie.

"X" = Tamaño básico determinado en función del diámetro sobre aislamiento del cable.

"Y" = Clase de aislamiento del sistema cable-accesorio en KV.

"C" = Calibre del conductor indicando si es AWG, MCM o mm<sup>2</sup>.

"M" = Material del conductor; Cu, para cobre o Al, para aluminio.

La tabla siguiente muestra la designación que deberá indicarse en lugar de la letra "X". Es importante considerar que, si el intervalo de valores del diámetro sobre aislamiento correspondiente al tamaño básico seleccionado no cubre el diámetro en cuestión, la terminal no podrá cumplir su función de manera adecuada.

Ejemplo:

Para seleccionar una terminal exterior premoldeada para un cable de energía con aislamiento extruido de EP, conductor de cobre calibre 500 KCM-15 KV 100% N.A., con un diámetro sobre aislamiento de 29 mm, la terminal seleccionada será: TMI-4-15 KV-500 KCM-Cu.

**TABLA 4.17 DIAMETRO SOBRE AISLAMIENTO.**

Diámetro sobre aislamiento mm	"X"
11.5 - 14.0	RR
13.8 - 16.5	R
16.3 - 20.0	1
19.8 - 23.5	2
23.3 - 27.0	3
26.8 - 31.0	4
30.8 - 35.0	5
34.8 - 40.0	6

**TABLA 4.18 AISLAMIENTO DEL CABLE "Y".**

Aislamiento del cable "Y"	Numero de campanas
KV	
5-8.7	3
15	4
25	6
35	8

Como guía general para seleccionar el tamaño básico de la terminal, se ha preparado la tabla 4.19 siguiente, en la que se ilustra la selección con base en el calibre del conductor y la clase de aislamiento.

**TABLA 4.19 SELECCION DEL TAMAÑO BASICO DE LA TERMINAL**

Tensión	Calibre (AWG o MCM)															
	6	4	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	250	300	350	400	500	600	750	100
5 Kv.	RR		R			1			2			3		4		5
8 Kv.	RR		R			1			2			3		4		5
15 Kv.			1			2			3			4		5		6
25 Kv.			2			3			4			5		6		7
35 Kv.						4			5			6		7		8

Esta tabla de selección es una guía, basada en las dimensiones de los cables según norma. La selección debe llevarse a cabo de acuerdo con el diámetro real sobre aislamiento de cable.

Ejemplo de selección.

Seleccionar una terminal para cable con aislamiento de etileno-propileno, 13.2 KV entre fases del sistema, calibre 1/0 AWG, conductor de aluminio. El diámetro sobre aislamiento del cable es 18.95 mm. En la tabla 4.17 vemos que le corresponde una "X" = 1.

La tensión de 13 200 Volts corresponde a una clase de aislamiento de 15 KV; de donde, "Y" = 15. Por lo tanto, la terminal se ordena como sigue:

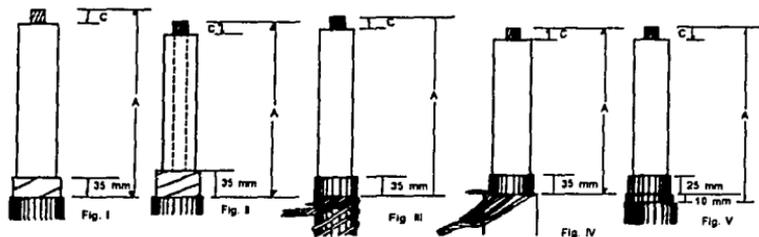
TMI - 1 - 15 - 1/0 AWG, AL

#### INSTALACION.

Cada uno de los estuches de este tipo de terminales contiene el instructivo de instalación correspondiente, en el que se describen con amplitud las operaciones a seguir para el montaje correcto de ellas.

Como particularidades importantes de estas terminales conviene hacer mención que no es necesario rebajar como punta de lápiz el aislamiento, y que las características elásticas de los componentes aseguran el contacto y presión interfacial entre cable y terminal, durante el servicio del sistema.

A continuación se muestran las distancias de preparación en algunas de las construcciones de cable más comunes; así mismo se muestra el proceso de instalación general de este tipo de terminales y vistas de instalaciones en intemperie e interiores.



**FIGURA 4.20** DISTANCIA DE PREPARACION PARA TMI EN DIVERSAS CONSTRUCCIONES DE CABLES EXTRUIDOS.

**TABLA 4.20** DE DIMENSIONES.

Dimensiones (mm)	Clase de aislamiento (kV)			
	Hasta 8.7	15	25	34.5
A	250 + B	289 + B	363 + B	437 + B
B*	Profundidad del barril del conector mas 10.0 mm.			
C**	Profundidad del barril del conector mas 8.0 mm			
Numero de campanas	3	4	6	8

\* La dimensión "B" se mide a partir del ultimo modulo o campana y se retira el excedente de aislamiento y conductores.

\*\* La dimensión "C" se marca sobre el aislamiento a partir de la punta del cable y se retira este, dejando al descubierto el conductor.

## TIPOS DE CABLE.

- I. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de cinta semiconductor y cinta de cobre; y cubierta protectora.
- II. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido y cinta de cobre; y cubierta protectora.
- III. Cable de energía para distribución residencial subterránea (DRS), con pantalla semiconductor extruida que es al mismo tiempo cubierta protectora y neutro formado por hilos de cobre estañado colocados en forma helicoidal sobre la cubierta.
- IV. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido e hilos de cobre dispuestos helicoidalmente y cubierta protectora.
- V. Cable de energía con aislamiento extruido y pantalla eléctrica sobre aislamiento a partir de material semiconductor extruido, y forro de plomo; y cubierta protectora.

## TERMINAL EXTERIOR PREMOLDIADA (TERMINAL MODULAR INTEMPERIE "TMI").

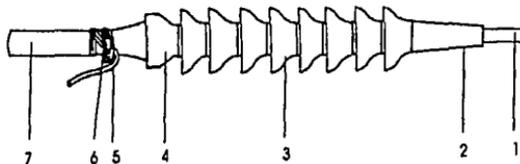


FIGURA 4.21 TERMINAL EXTERIOR PREMOLDIADA (TERMINAL MODULAR INTEMPERIE "TMI").

1. Conector universal.
2. Sello semiconductor terminal inemperie.
3. Campana terminal inemperie.
4. Cono de alivio.
5. Cable de cobre calibre 10 AWG para conexión a tierra.
6. Abrazadera.
7. Cubierta del cable.

## APLICACIONES:

Esta terminal (TMI) ha sido diseñada para ser instalada a la intemperie en cables de media tensión con pantalla electrostática y aislamiento extruido (EP, XLP,PVC), monofásicos o trifásicos, en sistemas de operación de 5 a 35 KV y en calibres de 6 AWG a 1000 KCM.

Esta terminal puede ser instalada en servicio interior cuando se tengan limitaciones de espacio. En este caso hay que eliminar al conector universal y sello semiconductor y en su lugar utilizar una zapata convencional de compresión o directamente el conductor con punta de lápiz. La TMI proporciona una instalación rápida, confiable y versátil. Dependiendo de la tensión del cable lleva un determinado número de campanas, ver tabla 4.18.

Estas campanas están moldeadas con material elastomérico (EPDM) con resistencia al tracking (trayectorias de descarga). Lleva además de su cono de alivio, el sello terminal intemperie moldeado a partir de EPDM, semiconductor el cual permite eliminar la punta de lápiz. El conector universal tiene un tope para asegurar el sello, evitando su deslizamiento hacia arriba.

## CARACTERISTICAS:

Trae un estuche con accesorios para preparar el cable e instalar la terminal, lubricante, cable para conexión a tierra, abrazadera, lija, solvente y toalla de limpieza, así como instructivo de instalación.

## ALAMBRES Y CABLES VINANEL 2000.

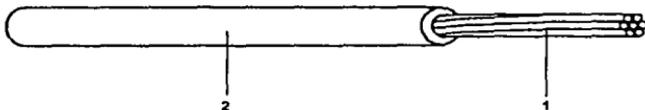


FIGURA 4.22. ALAMBRES Y CABLES VINANEL.

## DESCRIPCION:

1. Conductor de cobre suave sólido o cableado.
2. Aislamiento de PVC.

## APLICACIONES:

VINANEL 2000 proporciona la máxima seguridad en instalaciones en el interior de locales con ambiente seco, húmedo o aceite, en conduit, ductos o charolas en edificios públicos, cines, teatros, hoteles, almacenes, multifamiliares, centros de diversión, casas habitación y aplicaciones industriales en tableros, alimentaciones, etc.

## TENSION MAXIMA DE OPERACIÓN:

600 V

## TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

Ambiente seco 90 ° C  
Ambiente húmedo 75 ° C  
En aceite 60 ° C  
Sobrecarga 105 ° C  
Cortocircuito 150 ° C

Con la nueva clasificación THHW del NEC-90 en VINANEL 2000 es adecuado para operar a 90 ° C en cualquier aplicación en ambiente seco.

## PROPIEDADES:

- a. VINANEL 2000 proporciona la máxima seguridad para su instalación y para las personas.
- b. No propaga el incendio. Prueba de norma NOM-J-93 (NFC 32-070)
- c. Mínima emisión de humos densos y oscuros en caso de incendio, facilitando la salida de personas y las labores de rescate y extinción del fuego.
- d. Mínima generación de gases tóxicos y corrosivos en caso de incendios, reduciendo el riesgo de intoxicación y los daños a bienes materiales.
- e. Estas propiedades son reconocidas con la nueva clasificación THW-LS de la NOM-J-10 y el NEC-90.
- f. Es deslizante, por lo que disminuye hasta 5 veces el esfuerzo de jalado en los cables en tubo conduit, facilitando la instalación y evitando daños al aislamiento.
- g. Resistente al calor, humedad, aceites, grasas y productos químicos.

## RECOMENDACIONES:

- a. Cuando se requiera para instalaciones a la intemperie expuesto a los rayos del sol, se debe especificar.
- b. Para instalaciones en charolas, use calibres mayores al 1/0 AWG.

COLORES.

20 al 1000 kCM negro  
 14 al AWG gris  
 20 al 2 AWG blanco, rojo, verde.

EMPAQUE:

20 al 8 AWG calas de cartón con 100 m.  
 6 al 4/0 AWG rollos envueltos con 100 m.  
 20 al 2 AWG carretes con 1000 m

TABLA 4.21 CABLES VINANEL 2000

Numero de producto			calibre WG/KC M	CONDUCTOR			Espesor nominal del aislamiento mm	Diámetro exterior nominal mm	Peso Kg/km
CAJA	ROLLO	CARRETE		Numero de hilos	Area Diámetro nominal				
					Mm	mm			
			20	10	0.519	0.9	0.64	2.3	10
			18	16		1.2	0.64	2.5	13
			16	26	1.307	1.5	0.64	2.8	19
			14	7	2.082	1.8	0.80	3.5	29
			12	7	3.307	2.3	0.80	4.0	42
			10	7	5.26	2.9	0.80	4.6	63
			8	7	8.367	3.7	1.14	6.0	103
			6	7	13.299	4.7	1.52	7.8	166
			4	7	21.150	5.9	1.52	9.0	249
			2	7	33.62	7.4	1.52	10.5	375
			1/0	19	53.49	9.5	2.03	13.6	599
			2/0	19	67.43	10.6	2.03	14.8	738
			3/0	19	85.1	11.9	2.03	16.1	914
			4/0	19	107.21	13.4	2.03	17.6	1132
			250	37	127	14.6	2.41	19.5	1348
			300	37	152	16.0	2.41	20.9	1597
			350	37	177	17.3	2.41	22.2	1845
			400	37	203	18.5	2.41	23.4	2091
			500	37	253	20.7	2.41	25.6	2582
			600	61	304	22.7	2.79	28.3	3106
			750	61	380	25.3	2.79	30.6	3880
			1000	61	507	29.3	2.79	34.5	5110

**TABLA 4.22 ALAMBRES VINANEL 2000**

Numero de producto		Calibre	CONDUCTOR		Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior nominal	peso
Carrete	Caja		Area	Diámetro nominal			
		AWG	mm	mm	mm	mm	Kg/km
36322	36321	20	0.519	0.81	0.64	2.1	8
36319	36318	18	0.823	1.0	0.64	2.4	11
36316	36315	16	1.307	1.3	0.64	2.6	16
36313	36312	14	2.082	1.6	0.76	3.3	26
36310	36309	12	3.307	2.0	0.76	3.7	38
36307	36306	10	5.261	2.6	0.76	4.2	58
36304	36303	8	8.367	3.2	1.14	5.6	96
	36300	6	13.299	4.1	1.52	7.3	156

**ALAMBRES Y CABLES DE CORTE DESNUDO.**



**FIGURA 4.23 ALAMBRES Y CABLES DE CORTE DESNUDO.**

**DESCRIPCION:**

Alambre o cable concéntrico formado por 1,7,19 o 37 hilos de cobre electrolítico en tres temple: duro, semiduro y suave.

**APLICACIONES:**

Líneas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica, especialmente en ambientes salobres (cerca del mar, esteros, etc.) y en ambientes corrosivos. También se emplean para redes de tierra en sistemas de potencia.

**TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:**

75 ° C (Temperatura usual de diseño en líneas aéreas).

**PROPIEDADES:**

- a. Alta conductividad, ductilidad, resistencia a la tracción y a la fatiga.
- b. Altamente resistentes a la corrosión en ambientes salobres o contaminados.
- c. Varios tipos de cableado: A, AA y B.

**ESPECIFICACIONES:**

Alambres: NOM-J-2, NOM-J-35,  
 NOM-J-36, ASTM-B1, ASTM-B2, ASTM-B3  
 Cables: NOM-J-12 (ASTM B8)

**TABLA 4.23 ALAMBRES DE COBRE DESNUDO.**

Calibre	Diámetro nominal	Area	Peso	Temple Duro		Temple Semiduro		Temple Suave	
				Numero de producto	Carga de ruptura	Numero de producto	Carga de ruptura	Numero de producto	Carga de ruptura
AWG	mm	mm	Kg/km.		kg		kg		Kg
18	1.02	0.82	7.32	020032	39	020521	35	020066	22
17	1.15	1.04	9.24	020515	49	020520	43	020065	28
16	1.29	1.31	11.60	020514	61	020046	55	020064	35
14	1.63	2.08	18.50	020031	97	020045	86	020062	56
12	2.05	3.31	29.40	020030	154	020044	135	020060	90
10	2.59	5.26	46.77	020028	239	020043	212	020058	143
9	2.91	6.63	58.95	020511	301	020042	267	020057	175
8	3.26	8.37	74.38	020027	375	020041	333	020056	218
7	3.67	10.55	93.80	020510	468	020040	419	020055	275
6	4.12	13.30	118.20	020509	583	020039	522	020054	346
4	5.19	21.25	188.00	020026	897	020038	821	020052	551
3	5.83	26.67	237.10	020025	1102	020944	1033	020051	694
2	6.54	33.62	298.90	020024	1353	020037	1267	020050	876
1/0	8.25	53.49	475.50	020036	2045	-	-	021282	1355

**TABLA 4.24 CABLES DE COBRE DESNUDO.**

Calibre	Construcción	Diámetro del cable	Área	Clase de cableado	Peso	Temple Duro		Temple Semiduro		Temple Suave	
						Número de Producto	Carga de Ruptura Kg	Número de Producto	Carga de Ruptura kg	Número de Producto	Carga de Ruptura Kg
AWG/K CM		Mm	Mm		Kg/km						
12	7/0.77	2.34	3.31	B	30	021242	141	020120	112	020155	90
10	7/0.98	2.95	5.26	B	47.7	021243	223	020119	177	020154	143
8	7/1.23	3.71	8.37	B	76	020589	353	020118	277	020562	227
6	7/1.55	4.67	13.30	B	121	020244	558	020117	435	020153	360
4	7/1.96	5.89	21.20	AyB	192	020102	880	020116	683	020151	573
2	7/2.47	7.42	33.62	AyB	305	020101	1,382	020114	1,072	020149	1,149
1/0	7/3.12	9.35	53.49	A	485	020103	2,157	020121	1,682	020157	1,392
1/0	19/1.89	9.47	53.49	B	485	020107	2,225	020127	1,727	020172	1,449
2/0	7/3.50	10.52	67.43	A	612	020104	2,690	020122	2,107	020158	1,755
2/0	19/2.13	10.64	67.43	B	612	020108	2,793	020128	2,163	020173	1,827
3/0	19/2.39	11.94	85.01	B	771	020578	3,495	020973	2,710	020174	2,304
4/0	7/4.42	13.26	107.2	AAyA	972	020105	4,156	020124	3,304	021485	2,792
4/0	19/2.68	13.41	107.2	B	972	020996	4,366	020130	3,395	020175	2,792
250	19/2.41	14.58	127.0	A	1149	020146	5,157	020131	4,080	020176	3,298
250	37/2.09	14.61	127.0	B	1149	020110	5,248	020137	4,064	020183	3,432
300	19/3.19	15.98	152.0	A	1379	020579	6,134	020132	4,781	021248	3,958
500	19/4.12	20.60	253.0	AA	2300	020582	9,965	020135	7,863	020177	6,597
500	37/2.45	20.65	253.0	AyB	2300	021246	10,220	020141	7,968	020187	6,597
750	37/3.62	25.32	380.0	AA	3450	021247	15,164	021242	11,872	021249	9,893
1000	37/4.18	29.24	507.0	AA	4600	020585	19,899	020143	15,616	020950	13,193

**MATERIALES DE FABRICACION.**

Los sistemas de charolas deben ser hechos de un material resistente a la corrosión o de un metal con recubrimiento anticorrosivo, el aluminio y las aleaciones de acero inoxidable son resistentes a la corrosión y no es necesario darles un acabado de recubrimiento (NEMA VE-1 1984).

CROSS LINE fabrica sus sistemas de soportes en aluminio 6063 T6 y en acero galvanizado.

La selección del material apropiado es fundamentalmente un problema económico. Toda instalación de soportes da lugar a ciertos requerimientos en las propiedades mecánicas del material con el que son fabricados. Estas propiedades influyen en la frecuencia del espaciamiento de los miembros de soporte y da la facilidad de instalación. En suma, la selección del material depende también de la propiedades eléctricas (conductividad), físicas (apariencia) y químicas (resistencia a la corrosión). Todo ello de acuerdo al tipo de instalación específica.

Ya que los materiales específicos disponibles que podrían satisfacer estos requerimientos son numerosos, se prefieren ciertas aleaciones de aluminio preformado y aceros de bajo carbono que cumplen con estos requisitos mas económicamente.

## ALUMINIO

Las charolas para cables (largueros y travesaños) son fabricadas con aluminio grado estructural 6063 T6, el cual tiene las ventajas de ser un material más ligero que el acero, lo cual facilita la instalación al reducir el tiempo necesario para su montaje (una charola de aluminio pesa poco mas de la mitad de una charola de acero del mismo ancho) posee una resistencia mecánica adecuada y buena resistencia a la corrosión, se considera casi libre de mantenimiento y por ser un material no magnético, reduce al mínimo las pérdidas eléctricas.

## ACERO

Los soportes para cables de acero son usados principalmente en un medio ambiente relativamente libre de ataque corrosivo. Se dispone de varios tipos de recubrimiento para protegerlos de la corrosión, pero principalmente por medio de la galvanización por inmersión en caliente para interiores y exteriores y por galvanizado electrolito exclusivo para interiores.

Las principales ventajas del acero usado en la fabricación de soportes tipo escalera son su alta resistencia y bajo costo. Sus principales desventajas son el incremento de peso, la pobre resistencia a la corrosión y la baja conductividad eléctrica.

Los componentes básicos de los soportes para cables son normalmente fabricados de un acero al carbón rolado en caliente AISI C 1010.

## RECUBRIMIENTOS.

Los soportes de acero tipo escalera son protegidos de la corrosión por recubrimiento de otros materiales como por ejemplo el zinc.

El zinc protege el acero como una capa y además como un ánodo que repara aquellas áreas descubiertas tales como cortes en los extremos y rayones. La protección contra la corrosión del zinc esta relacionada directamente con el espesor y con el medio ambiente. Esto significa que un recubrimiento de 0.2 milésimas durara el doble que un recubrimiento de 0.1 milésimas en las mismas condiciones.

## ZINC ELECTROGALVANIZADO.

Este procedimiento consiste en un recubrimiento de zinc depositado sobre el acero por electrólisis en un baño de sales de zinc. Este recubrimiento es de zinc puro y un máximo de 0.5 milésimas puede depositarse en esta forma. Estando el zinc depositado sobre el material, formara una película protectora constituida por una mezcla de óxidos de zinc. Se recomienda para interiores y áreas relativamente secas.

## GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE.

Este proceso es recomendado para galvanizar piezas después de su fabricación tal como lo especifica la norma ASTM A-123. Este proceso consiste en un recubrimiento de zinc (inmersión en caliente) de un producto ya ensamblado. El artículo primero es limpiado en un baño cáustico, posteriormente se introduce en un baño de ácido y finalmente se limpia con agua y es puesto en un baño de zinc fundido. La naturaleza y espesor de la película de recubrimiento depende en gran parte de la relación de inmersión, de la temperatura del baño, del periodo de inmersión.

Los materiales galvanizados sometidos a medios ácidos no se recomiendan, ya que tanto los ácidos como sus vapores son considerados como disolventes de la capa protectora de zinc, lo que da como resultado la penetración de agentes desencadenantes de corrosión como sería el agua, vapor de agua, etc. A su vez, no es recomendable el someter materiales galvanizados bajo medios que contengan cloro o iones de cloruro, dado que los iones de cloruro penetran la capa de óxido protector del galvanizado que se encuentra sobre el acero (capa protectora de óxido de zinc), facilitando su paso a través de algunos poros y defectos propios del material.

Sin embargo, los materiales galvanizados han demostrado tener grandes propiedades protectoras contra la corrosión en ambientes salinos aun incluso en agua de mar, cuyas concentraciones son mas altas que las pruebas de laboratorio, dando como resultado que para un espesor de 3.12 milésimas de pulgada (0.765 milímetros) considerando como galvanizado normal, se tiene un tiempo de vida de trabajo en un ambiente marino de 20 a 35 años.

En cuanto a la resistencia del galvanizado en un ambiente marino, pruebas de laboratorio demuestran que el galvanizado empleado por CROSS LINE en sus productos, ha resistido hasta mas de 1200 horas en la prueba de cámara salina sin presentar problemas de corrosión. Sin embargo, debe tenerse presente que no todos los ambientes costeros son iguales y hay que considerar la posible existencia de contaminantes.

Una oxidación normal de las superficies galvanizadas podrá aparecer en poco tiempo como una mancha gris o blanca. En este tipo de procesos es de esperarse algo de rugosidad y variaciones de espesor.

Como el galvanizado es un proceso que tiene lugar en la parte inferior del rango de temperatura del revelado de esfuerzos, es posible que algunas piezas presente deformación.

## CORROSION.

Todas las superficies metálicas expuestas al medio ambiente son afectadas por la corrosión. Dependiendo de las propiedades del metal y de su proximidad a otros metales diferentes, es posible provocar una reacción electroquímica que cause un ataque sobre el mismo metal, resultando la corrosión.

La corrosión química aparece en un ambiente altamente corrosivo, a altas temperaturas o una combinación de ambos factores. La corrosión electroquímica es más activa en donde se encuentran en contacto con metales diferentes y un líquido este presente, por lo regular, el agua.

## SELECCIÓN DE CHAROLA.

Para seleccionar adecuadamente una charola, se debe considerar los siguientes factores:

- 1) CLASE DE CHAROLA.
  - a) Capacidad de carga y factor de seguridad.
  - b) Espaciamiento entre soportes.
  - c) Deflexión.
- 2) ALTURA DE CHAROLA.
  - a) Diámetro de cables.
  - b) Capacidad de relleno de cables.
- 3) MATERIAL/ACABADO.
  - a) Medio ambiente.
  - b) Apariencia.
  - c) Costo de la instalación.
- 4) ANCHO DE CHAROLA.
  - a) Diámetro de cables.
  - b) Capacidad de relleno de cables.
  - c) Requerimientos para futuras expansiones.

## INSTALACIONES DE CHAROLAS.

- a) Cuando se instalan varias charolas, la separación entre cada una de ellas será de 30 cm. mínimo y la separación entre la charola más alta y techo, vigas, tubos, etc., debe ser de 25 cm. con el fin de facilitar la instalación de los cables.

- b) Charolas para cables de diferentes niveles de voltaje, serán colocadas en orden descendente, los cables de mayor voltaje estarán en las charolas superiores y los cables de control y comunicación deberán estar en las charolas inferiores.
- c) El mínimo radio de curvatura de las charolas, deberá ser doce veces el diámetro exterior del cable más grueso.
- d) Las conexiones de charolas deberán estar diseñadas para drenar el agua, lejos de la entrada del equipo.
- e) Todo el sistema de charolas, deberá tener continuidad eléctrica y deben estar sólidamente conectadas a tierra. Las charolas, no se consideran como trayectoria de retorno de corriente de falla, si estas contienen cable de baja resistencia o sistemas sólidamente conectados a tierra.
- f) Deben suministrarse herrajes para salidas donde se requiera, manteniendo el mínimo radio de curvatura del cable
- g) Cubiertas.
  - 1. Deben instalarse cubiertas sólidas sobre todas las charolas en exteriores. Charolas horizontales en interiores expuestas a caídas de objetos o a la acumulación de escombros deberán también tener cubierta.
  - 2. En tramos verticales al nivel de piso, deberá también colocarse cubiertas para seguridad y protección tanto de personal como de cables.
  - 3. Las cubiertas pueden ser en forma "V" invertida, para que actúen como deflectores de los objetos que caigan y para descartar su uso como pasillos.

#### INSTALACION DE CABLES EN CHAROLAS.

Primeramente habrá que hacer un recorrido por la ruta de la charola, para determinar si la instalación del cable se hará depositándolo sobre toda la charola o colocando el carrete en un extremo y tenderlo arrastrándolo sobre rodillos o poleas.

Si la ruta no presenta obstáculos y se puede llevar a cabo la instalación depositando el cable, el carrete debe soportarse en una base desenrollada, la cual se puede desplazar a lo largo de toda la ruta, para en esa forma ir desenredando el cable y colocarlo sobre la charola. Debe tenerse cuidado de no someter el cable a dobleces mayores que los permitidos.

Cuando no es posible efectuar la instalación depositando el cable debido a obstáculos, cambios de niveles, etc., entonces se escogerá el lugar (por supuesto el más accesible) donde debe quedar el carrete sobre la base desenrollada. Si la ruta tiene cambios de dirección horizontales y verticales, es necesario colocar rodillos o poleas con sus radios de curvatura lo más grande posible, para evitar que se dañe el cable durante su instalación; en tramos rectos horizontales deberán colocarse rodillos a distancias convenientes, para que el cable no se arrastre durante el tendido. Si la longitud del circuito es muy grande o si el cable es muy pesado, deberá usarse un dinamitero para verificar la tensión de jalado, asimismo debe colocar un destorcedor entre el perno de tracción o malla de acero y el cable guía para evitar que sufra torsión el cable.

Tanto los cables monofásicos con espialmente mantenido, en formación trébol y los trifásicos, deberán sujetarse con abrazaderas plásticas o con un hilo, a distancias convenientes para mantener su separación.

Podrán instalarse cables de energía del tipo sólido en charolas verticales sin limitación de altura y únicamente será necesario fijar el cable a la charola con clemas a distancias convenientes (dependiendo del peso del cable) para evitar que el cable quede colgado.

Los empalmes y derivaciones de los cables, quedaran directamente sobre la charola.

## **4.5 NORMAS.**

### **4.5.1 NORMAS DE LA INSTALACION.**

Todos los trabajos relativos a las instalaciones eléctricas y de telefonía se sujetaran a los requisitos mínimos de observación obligatoria y recomendaciones de conveniencia practica establecidos en el reglamento de Instalación Eléctricas y de las normas técnicas para instalaciones eléctricas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, así como las normas de Comisión Federal de Electricidad y las normas de Teléfonos de México.

Por lo anterior, todo trabajo, material, accesorios o equipo que deba ser ejecutado y/o suministrado por el contratista de la obra a efecto de entregar la instalación completa en todos sus aspectos y que no incluyan en los planos o especificaciones, deberá satisfacer los reglamentos y normas antes señalados.

Para los casos en que estos reglamentos y/o normas no cubran con el detalle necesario cualquier aspecto no incluido en los planos y especificaciones del proyecto, se aplicaran las Normas del National Electrical de los Estados Unidos de Norteamérica.

En conformidad con las normas y disposiciones de las leyes vigentes, el constructor de una instalación eléctrica debe prever las medidas necesarias de seguridad para impedir los accidentes, tanto de las personas que tienen a su cargo los trabajos de ejecución de instalaciones eléctricas, así como de cualquier otra persona que labore en la obra, en otras actividades periféricas. Siempre que el área de trabajo represente un peligro para otras personas de la obra, se usaran avisos, barreras de seguridad, etc., para evitar cualquier accidente.

Debe de impedir el acceso de personas no idóneas a los lugares especialmente peligrosos con objeto de evitar accidentes.

Las maquinas, aparatos e instalaciones eléctricas deberán satisfacer las medidas de seguridad a que reglamentariamente estan sometidas.

Los conductores desnudos cuyo revestimiento aislante sea insuficiente y los de alta tensión en todo caso, se encontraran fuera del alcance de la mano; y cuando esto no sea posible, serán eficazmente protegidos, con objeto de evitar cualquier contacto.

Las celdas y compartimentos de los transformadores, aparatos de medición, protecciones, etc., de las zonas de distribución o transformación estarán convenientemente dispuestos y protegidos, con objeto de evitar todo contacto peligroso y el acceso a los mismos será con espacios holgados que permita a los operarios realizar sin peligro la inspección y reparaciones correspondiente.

Las operaciones, mando y maniobras de las maquinas, aparatos eléctricos de toda clase, equipos de mando de transformación y distribución, especialmente cuando se trate de alta tensión, deberán poder hacerse con 'las mismas garantías de seguridad para el personal'; tanto por lo que se refiere a la construcción y disposición de los aparatos e instalaciones; como lo relativo a la forma de efectuar aquellas; y deberán instalarse los medios preventivos adecuados tales como plataformas aislantes, pértigas, tenazas o varillas de materiales aislantes, guantes de caucho y/o gamuza, calzado con piso de goma, etc.

No deberá efectuarse trabajo alguno en las líneas de alta tensión sin asegurarse antes de que a sido convenientemente desconectada o aislada la sección en que se vaya a trabajar.

Se adoptaran las medidas precisas para evitar el peligro de la electricidad estática, cualquiera que sea su origen y lugar en que puedan producirse. Análogamente se procederá respecto a la electricidad atmosférica.

Todos los trabajos y personal de supervisión deberán usar, con carácter de obligatorio, casco adecuado de seguridad en todas las áreas de trabajo (preferentemente de fibra de vidrio o resinas plásticas).

Igualmente y de acuerdo con el tipo de trabajo que estén ejecutando, se deberá establecer con carácter obligatorio, el uso de lentes de seguridad, guantes y zapatos aislados, cinturones de seguridad, etc.

## 4.5.2 NORMAS MEXICANAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS.

Sección 311. Normas técnicas para instalaciones eléctricas de la dirección de normas (NTIE-81) parte 1.

### SECCION 311 CHAROLAS PARA CABLES.

#### 311.1 Aplicación.

Estos requisitos se aplican a las estructuras rígidas y continuas especialmente construidas para soportar cables, tales como charolas, canales, escalerillas y estructuras similares, las cuales pueden ser de metal o de otros materiales no combustibles. Para los fines de esta sección, estas estructuras se designaran con el nombre de "charolas para cables".

#### 311.2 Otras secciones aplicables.

Además de los requisitos de esta sección las charolas para cables deben cumplir con los requisitos que les sean aplicables de la sección 301.

#### 311.3 Uso permitido.

Las charolas para cables pueden usarse, para soportar cables de fuerza, alumbrado, control y señalización, que tengan aislamiento y cubierta aprobados para este tipo de instalación, en locales construidos de materiales incombustibles o resistentes al fuego. Las charolas también pueden usarse para soportar tubos u otras canalizaciones.

Cuando se instalen a la intemperie o en otras condiciones de ambiente desfavorable tanto las charolas como los cables deben ser adecuados para las condiciones existentes.

#### 311.4 Uso no permitido.

Las charolas para cables no deben instalarse:

- a) En cubos de ascensores.
- b) Donde estén expuestos a daño mecánico severo.
- c) En lugares peligrosos, a menos que los cables estén específicamente aprobados para tal uso: (Véanse las secciones 501 a 504)

### 311.5 Construcción.

Las charolas para cables deben cumplir con las siguientes características:

- a. Tener suficiente resistencia mecánica y rigidez para proporcionar un soporte adecuado a todo el o alambrado contenido en ellas.
- b. No presentar bordes cortantes, rebabas o salientes que pudieran dañar el aislamiento o la cubierta de los cables.
- c. Si son metálicas, estar protegidas contra la corrosión o construidas de un metal resistente a ella.
- d. Tener rieles laterales o elementos estructurales equivalentes.
- e. Incluir los accesorios necesarios para los cambios de dirección y de nivel de los tramos.

### 311.6 Instalación.

- a. Las charolas deben instalarse como un sistema completo antes de la colocación de los cables.
- b. Deben proveerse soportes para evitar esfuerzos en los cables cuando estos se deriven fuera de la charola hacia cualquier tipo de canalización.
- c. En las partes de la charola donde se requiera una protección adicional contra daño mecánico, deben usarse tapas o cubiertas incombustibles que den la protección necesaria.
- d. Cuando una charola para cables contenga circuitos de tensiones diferentes, estos deben separarse mediante una barrera incombustible que se extienda todo lo largo de la charola o por medio de una distancia adecuada que de protección equivalente.
- e. Una charola puede extenderse atravesando muros, en locales secos o húmedos, siempre que la sección de la misma dentro de los muros sea continua y este cubierta, o bien que la abertura por donde pase proporcione espacio libre suficiente.
- f. Una charola puede extenderse atravesando pisos o plataformas, en locales secos o humeados, siempre que la misma este totalmente cerrada cuando pase a través de la abertura del piso o plataforma y hasta una distancia no menor de 1.80 metros sobre el nivel del piso o plataforma, para dar protección contra daño mecánico.
- g. Debe proveerse espacio adecuado alrededor de las charolas para la instalación de los cables y su mantenimiento.

### 311.7 Puesta a tierra.

Todas las secciones metálicas de una charola y sus accesorios deben estar eléctricamente unidos entre sí y efectivamente conectados a tierra. Las charolas pueden usarse como conductor de puesta a tierra de equipos, siempre que reúnan los requisitos necesarios para este propósito, como son los de conductor y sección transversal necesarios.

### 311.8 Instalación de los cables.

Pueden hacerse empalmes de los cables en las charolas.

En recorridos que no sean horizontales o donde los cables no puedan mantenerse por sí mismos sobre la charola, los cables deben sujetarse firmemente a los elementos transversales de la misma charola.

Cuando en un circuito se usen en paralelo cables de un solo conductor, estos deben amarrarse en grupos que contengan no más de un conductor por fase o neutro, para prevenir desbalances de corriente en los conductores en paralelo, debidas a las reactancias inductivas.

Al instalarse cables de un solo conductor, estos deben amarrarse en grupos por circuito, para prevenir movimientos excesivos debido a las fuerzas magnéticas por corrientes de falla.

### 311.9 Numero de cables.

Los cables multiconductores que se instalen en charolas deben colocarse en una sola capa. Los cables de un solo conductor pueden colocarse en dos capas máximo.

### 311.10 Capacidad de corriente.

- a. Cables multiconductores. La corriente permisible en los conductores no debe exceder los valores que se indican en la tabla siguiente, en la columna para "tubería o cable".
- b. Cables de un solo conductor. La capacidad de corriente permisible en cables de un solo conductor debe de estar de acuerdo con lo siguiente:

b.1) Cuando los cables estén colocados en una sola capa, en una charola descubierta y manteniendo una separación entre ellos no menor de un diámetro del cable de mayor sección, la corriente permisible puede ser como máximo, igual a los valores de la tabla 4.25, columna titulada "al aire"

b.2) Cuando los cables estén colocados en una o dos capas, en una charola descubierta y sin mantenerse ninguna separación, la corriente permisible no debe exceder del 75 por ciento de valores de la tabla, columna titulada "al aire": Si la charola esta cubierta en mas de 1.80 metros con una cubierta sólida sin ventilación, la capacidad de corriente permisible en los cables no debe exceder del 70 % de dichos valores.

**TABLA 4.25 ESPECIFICACION DE CABLES**

Temperatura máxima del aislamiento	60 °C		75 °C		85 °C		90 °C		110 °C		125 °C		200 °C	
Tipos	THWN,RUM T,W,TWD, MTW		RH,RHW, RUH,THW, THWN,DF, XH-HW		PILC,V,M		TA,TBS,SA, AVB,SIS, FEP,THW, RHH,THHN, MTW,EP XH-HW		AVA,AVL		AI,SA,AIA		A,AA,FEPB	
Cable AWG MCM	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI	En Tubería o cable	AI
14	15	20	15	20	25	30	25	30	30	40	30	40	31	45
12	20	25	20	25	30	40	30	40	35	40	40	50	40	55
10	30	40	30	40	40	55	40	55	45	65	50	70	55	75
8	40	55	45	65	50	70	50	70	60	85	65	90	70	100
6	55	80	65	95	70	100	70	100	80	120	85	125	95	135
4	70	105	85	125	90	135	90	135	105	160	115	170	120	180
3	80	120	100	145	105	155	105	155	120	180	130	195	145	210
2	95	140	115	170	120	180	120	180	135	210	145	225	165	240
1	110	165	130	195	140	210	140	210	160	245	170	265	190	280
0	125	195	150	230	155	245	155	245	190	285	200	305	225	325
00	145	225	175	265	185	285	185	285	215	330	230	355	250	370
000	165	260	200	310	210	330	210	330	245	385	265	410	285	430
0000	195	300	230	360	235	385	235	385	275	445	310	475	340	510
250	215	340	255	405	270	425	270	425	315	495	335	530		
300	240	375	285	445	300	480	300	480	345	555	380	590		
350	260	420	310	505	325	530	325	530	390	610	420	655		
400	280	455	335	545	360	575	360	575	420	665	450	710		
500	320	515	380	620	405	660	405	660	470	765	500	815		
600	355	575	420	690	455	740	455	740	525	855	545	910		
700	385	630	460	755	490	815	490	815	560	940	600	1005		
750	400	655	475	785	500	845	500	845	580	980	620	1045		
800	410	680	490	815	515	880	515	880	600	1020	640	1085		
900	435	730	520	870	555	940	555	940	---	---	---	---		
1000	455	780	545	935	585	1000	585	1000	630	1165	730	1240		

**NOTAS DE LA TABLA 302.4**

Nota 1. Los valores de la tabla 302.4 son aplicables cuando se tienen 3 conductores como máximo alojados en una canalización o en un cable multiconductor. Para un número mayor de conductores, deben aplicarse los siguientes factores de corrección (excepto en casos específicos en que se indique lo contrario).

**TABLA 4.26 TABLA 302.4a DE LAS NORMAS.**

Factores de corrección por agrupamiento.

Numero de conductores	Por ciento del valor indicado En la tabla 302.4
4 A 6	80
7 A 24	70
25 A 42	60
Mas de 42	50

Cuando se instalen conductores de sistemas diferentes dentro de una canalización, los factores de corrección por agrupamiento anterior deben aplicarse solamente al numero de conductores para fuerza y alumbrado.

En el caso de un conductor neutro que transporte solamente la corriente de desequilibrio de otros conductores como el caso de los circuitos normalmente equilibrados de tres o mas conductores, no se deben afectar su capacidad de corriente con los factores indicados en esta tabla.

Nota 2. Los valores de la tabla 302.4 deben corregirse para temperaturas ambiente (de local o del lugar en que se encuentren los conductores) mayores de 30 ° C, de acuerdo con la siguiente tabla:

Nota 3. Los valores de la columna "Al aire" se refieren al caso de conductores instalados sobre aisladores, o bien sobre charolas ventiladas. En la columna "En tubería o cable" se incluyen los demás métodos de instalación autorizados.

Nota 4. Cuando los conductores desnudos de puesta a tierra y se encuentran instalados junto a conductores aislados, sus capacidades de corriente deben limitarse a las permitidas para los conductores aislados del mismo calibre.

Nota 5. Cuando en un grupo de conductores se tengan aislamientos para temperaturas máximas diferentes, la temperatura limite del grupo debe determinarse por la menor de ellas.

**TABLA 4.27 TABLA 302.4b DE LAS NORMAS**

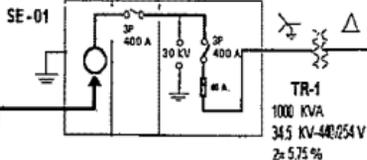
Factores de corrección por temperatura ambiente.

Temperatura Ambiente ° C	Temperatura máxima permisible en el aislamiento, ° C						
	60	75	85	90	110	125	200
31-40	0.82	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	
41-45	0.71	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	
46-50	0.58	0.75	0.80	0.82	0.87	0.89	
51-55	0.41	0.67	0.74	0.76	0.83	0.86	
56-60		0.58	0.67	0.71	0.79	0.83	0.91
61-70		0.35	0.52	0.58	0.71	0.76	0.87
71-80			0.30	0.41	0.61	0.68	0.84
81-90					0.50	0.61	0.80
91-100						0.51	0.77
101-120							0.69
121-140							0.59

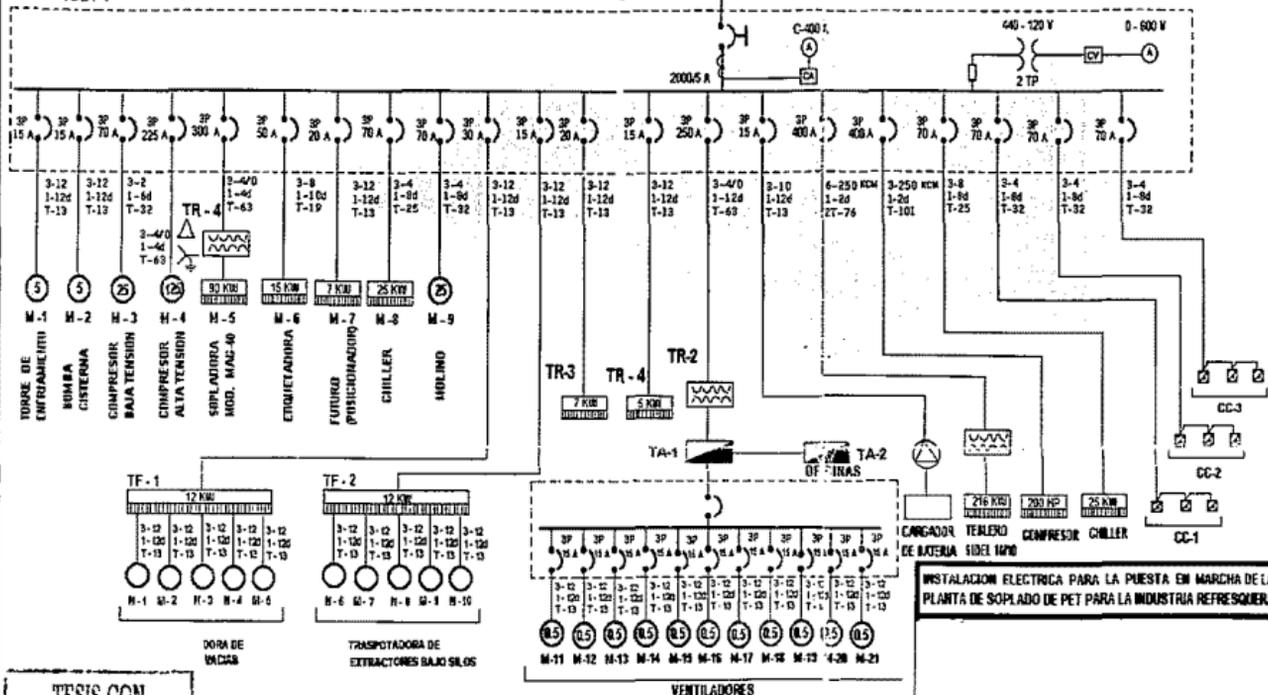
# PLANOS.

# PLANO A

ACOMETIDA ELECTRICA  
DE LA CIA. SUMINISTRADORA  
34.5 KV, 3F, 60 Hz.



TDBT-1



181

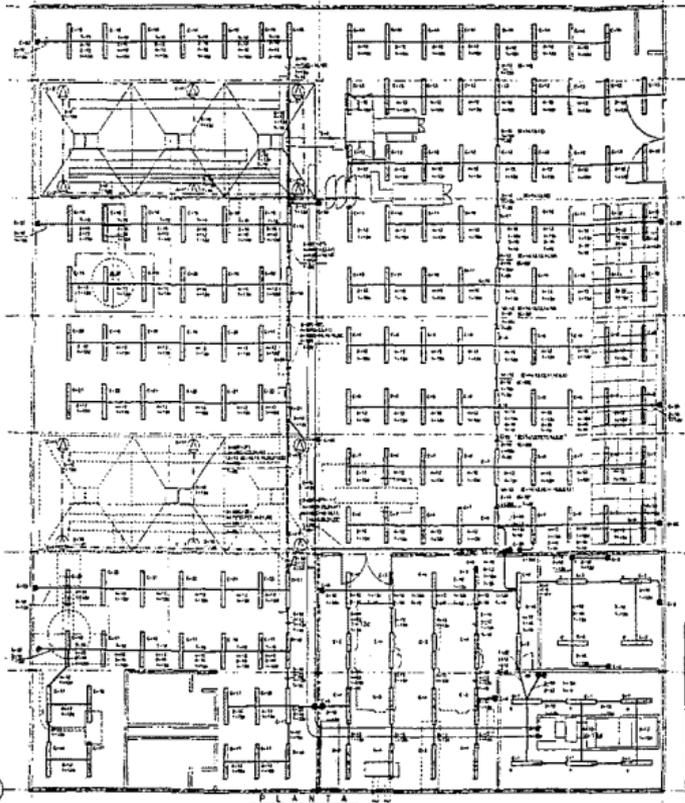
TESIS CON  
RALLA DE ORIGEN

INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA  
PLANTA DE SOPLADO DE PET PARA LA INDUSTRIA REFRESQUERA



# PLANO C

17



**SIMBOLOGIA:**

-  LUZ
-  INTERRUPTOR
-  TOMA DE CORRIENTE
-  CABLEADO
-  CAJON DE JUNCION
-  TIERRA

**NOTAS:**

1. Verificar el estado de los equipos de iluminación antes de la obra.
2. Verificar el estado de los interruptores antes de la obra.
3. Verificar el estado de los tomados antes de la obra.
4. Verificar el estado de los cables antes de la obra.

INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE SOPLADO PET PARA LA INDUSTRIA REFRIGERERA

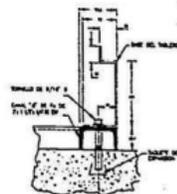
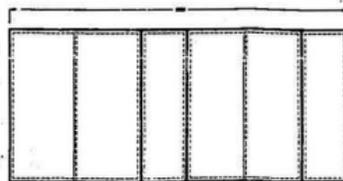
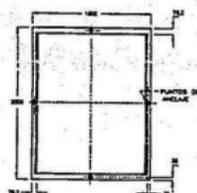
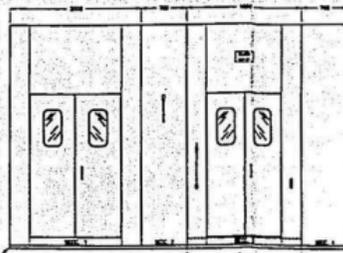
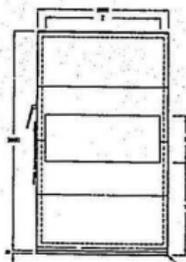
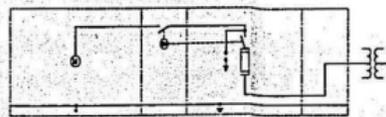
**GENERAL DE ALUMBRADO Y CONTACTOS**

ESCALA: 1:20	DIBUJO: ALFREDO RAMIREZ SANDOVAL
FECHA: 01 / 2002	DISEÑO: FELIPE SANCHEZ JIMENEZ
ACOTADOR: M.M.	DIBUJO: ANTONIO VALERA MORALES

183

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# PLANO D



NOTA: VER PLANOS DE LA INSTALACION PARA  
TEMPERATURA DE AIRE POR SEÑALADO

INSTALACION ELECTRICA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA  
PLANTA DE SOPLADO PET PARA LA INDUSTRIA REFRESQUERA  
SUBESTACION COMPACTA, SERVICIO INTERIOR, NEMA 1.  
TENSION DE SERVICIO, 34.5 KV, 3Φ, 31, 60 HZ, 400 A  
ARREGLO GENERAL Y DIAGRAMA UNIFILAR.

ESCALA 1: 20	DISEÑO ALFREDO RAMIREZ SANDOVAL
FECHA 01 / 2002	DISEÑO FELIPE SANCHEZ JIMENEZ
ACOTACION MM.	DISEÑO ANTONIO VALERA MORALES

## CONCLUSIONES:

Todos los análisis hechos sobre el PET nos destaca la importancia de dicho material en la industria alimenticia y farmacéutica, en este caso, para la industria refresquera. El proceso para la obtención del PET y la elaboración de la botella se ha apoyado en los avances tecnológicos, dándonos así en nuestros tiempos, el mejor aprovechamiento de este.

No obstante se podría preguntarse, ¿qué sucederá con todos estas botellas?, puesto que ya son millones. Es preciso hacer énfasis que podemos reutilizar este material para obtener otros productos e incluso hacer telas para la fabricación de ropa. Esto demuestra que es un material que no producirá una contaminación agresiva, como ha sucedido con otros productos procedentes del petróleo.

Todo lo mencionado respecto al PET nos da la pauta que se debe de seguir estudiando para encontrarle otros usos y aplicaciones, así como de otras formas de reutilización del PET (botellas).

El proyecto de la instalación eléctrica es parte medular para la elaboración de la preforma. Digamos que la preforma es el punto intermedio para la obtención de la botella ya embazada, es decir, primero se obtiene el PET, posteriormente la preforma y por último la botella cerrada.

El proyecto nos ha permitido hacer una amplia aplicación de los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera. Como son los cálculos de sistema en POR UNIDAD que es la forma en que podemos llevar al proyecto a diagramas unifilares y planos con los tipos de materiales, como son: contactos apagadores, cables, Subestación compacta de 34.5 KV que contiene gabinete de medición, gabinete de cuchillas, fusibles, etc. La obtención de nuevos materiales para la instalación nos ha dado la oportunidad de contar con estos para una mejor ejecución de la instalación.

Es importante señalar que la parte central de nuestra tesis es la memoria técnica, la forma de ejecución de la instalación así como de las normas que se deben de aplicar. Tanto en baja tensión como en alta tensión. Los planos que se elaboraron no incluyen los trabajos de la obra civil ni los trabajos que tenga que realizar la Comisión Federal de Electricidad.

El desarrollo del proyecto ya efectuándose en la planta, se tendrán que hacer algunos ajuste por la naturaleza misma de la mejor ejecución del mismo. Es decir debe de haber una retroalimentación de la ejecución para no dejar fuera las diferentes variables que llegaran a salir. Todo sistema como lo hemos estudiado en la carrera no es eficiente al 100%.

## **BIBLIOGRAFIA.**

### **INJECTION MOULDING INTERNATIONAL**

New materials, global news, supplier news, news products, management, design, tooling, manufacturing.

Carl Hanser Verlag (Editorial Europe).

POBox 860420 – D – 81631 Munich – Germany

Tel. 00 49 89 99830-622 – Fax 0049 89 99830 625

e-mail: imi hanser.de

### **INTERNATIONAL TRADER PUBLICATIONS, INC.**

Current and comprehensive trade information on petrochemicals and plastics.

Tarrytown, NY 10591 USA.

Fax 914-631-6857

e-mail: itp idt.net

### **KUNSTSTOFFE PLAST EUROPE.**

Tecnologías de transformación de plásticos, mercado, polímeros.

Kolfergerstr. 22-D-81679 Munich-Germany

Tel. 00 49 89 9983 0621 Fax. 00 49 89 9983 0625

e.mail: Kunststoffe hanser.de

[www.Kunststoffweb.de](http://www.Kunststoffweb.de)

### **MODERN PLASTICS INTERNATIONAL.**

P.O. Box 605 – Hightstown, NJ 08520 – USA

Phone + 1 609-426-7070 Fax + 1 609-426-5905

14, avenue d'Ouchy CH-1006, Lausanne – Switzerland

Tel. + 41-21-6174415 Fax. + 41-21-6172919

[www.modplas.com](http://www.modplas.com)

### **PET PACKAGING RESIN CONSULTING SERVICE**

Business report work overview: Raw material market prices, PET resin, End use markets.

PCI PET Packaging, Resin & recycling Ltd.

PO Box 319, Derby, DE 1 2ZZ, UK

Phone 44 1332-295200 Fax. 441331-295225

#### REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS

Ciencia y tecnología de polímeros, noticias técnicas, desarrollo de nuevos polímeros, nuevos materiales, plásticos de ingeniería, tecnologías de la transformación de plásticos.

Publicación de Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (CSIC)

Juan de la Cierva, 3 - 28006 Madrid - España

Tel. + 34 - 91 561 3441 Fax. + 34 - 91 564 4853

e-mail: ictav54 fresno csic.es

#### DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

Raúl Martín Jose.

México: MC graw - Hill, C 1987

#### FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS POR RELEVADORES.

Enriquez Harper, Gilberto.

México: Limusa 1981.

#### ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA.

John J. Grainger.

William D Stevenson Jr.

Mc Graw Hill.

#### PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES.

B. Ravindranath.

M. Chander.

Limusa.

México 1980

#### INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES.

Pedro Camarena M.

CECSA.

#### REDES ELÉCTRICAS.

Jacinto Viqueiro Landa.

Alfa Omega.