

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



**Diseño de la Cabina Subterránea y del Filtro
de Aire en Aceite para Subestaciones
Convencionales**

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECANICO

ROBERTO ABRAHAM ELLIOT SEGURA

Promoción - 1984 - I

L I M A - P E R U

1986

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PROLOGO	1
LISTA DE SIMBOLOS	4
1. INTRODUCCION	10
2. MEMORIA DESCRIPTIVA	12
2.1 Generalidades	12
2.2 Objetivos y Alcances del Proyecto	14
2.2.1 Objetivos	14
2.2.2 Alcances	15
2.3 Subestaciones Convencionales	15
2.3.1 Características Eléctricas	15
2.3.2 Características Físicas	17
2.4 Problemas de Ventilación Actual - en las Subestaciones Convenciona- les	18
2.4.1 Ventilación en los Transfor- madores	18
2.5 Alternativas a Emplearse	21
3. DISEÑO DE LA CABINA DE SUBESTACION	28
3.1 Conducto de Entrada	29
3.2 Cabina de Subestación	29
3.3 Cálculo del Sistema de Ventila - ción	31
3.3.1 Cálculo de la Cantidad de - Calor que se puede Disipar- con Circulación Natural	34

	Página
3.3.2 Cálculo del Aire necesario pa ra la Evacuación del Calor	42
3.3.3 Caudal de Aire de Ingreso	44
3.3.4 Caudal de Aire de Salida	44
3.4 Pérdidas de Presión por Frotamiento	45
3.4.1 Pérdidas de Presión en la ma- lla de Ingreso	45
3.4.2 Pérdida de Presión en el Duc- to de Ingreso	50
3.4.3 Pérdida de Presión en el Fil- tro de Aire	52
3.4.4 Presión de Presión en el - Transformador	53
3.4.5 Pérdida de Presión al Salir - el Aire del Transformador.	54
3.5 Cálculo de la Fuerza Ascensional - del Aire	56
3.6 Adecuación del Sistema Requerido - en la Ventilación	58
4. DISEÑO DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE	61
4.1 Ventajas de Instalación del Filtro- de Aire en Aceite	62
4.2 Descripción del Filtro de Aire en - Aceite	64
4.3 Características Constructivas	66
4.4 Ventajas Constructivas	67
5. ESPECIFICACIONES TECNICAS Y DE MONTAJE	71
5.1 Cabina de Transformación	71.

	Página
5.1.1 Edificio Propiamente dicho	71
5.2 Conductos de Ingreso de Aire	77
5.2.1 Rejillas	77
5.2.2 Conducto de Ingreso	78
5.3 Filtro de Aire Impregnado en Aceite	80
5.4 Conducto de Salida	82
6. ANALISIS ECONOMICO	96
6.1 Costos de Materiales y equipos	96
6.1.1 Cabina de Subestación	96
6.1.2 Rejillas	103
6.1.3 Filtro de Aire en Aceite	104
6.2 Costos de Instalación y Mantenimien to	105
6.3 Comparación de Costos de Manteni - miento utilizando Filtros de Aire - en Aceite en Zonas Contaminadas	114
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFIA	127
LISTA DE PLANOS	128
APENDICE	132

PROLOGO

El presente trabajo tiene la intención de demostrar en forma ordenada y lógica que es posible mejorar en gran medida (tanto en el aspecto técnico y económico) el funcionamiento y mantenimiento de los transformadores que funcionan dentro de las cabinas subterráneas en la Gran Lima. Los aspectos en los cuales las mejoras se llevan a cabo se detallan en los capítulos siguientes con la debida justificación de los mismos.

Para la mejor realización del proyecto, este se ha dividido en 6 capítulos que brevemente se explicarán:

En el Capítulo 1 se indica el propósito de la Tesis, lo que se espera demostrar, los alcances y las limitaciones de la misma.

En el Capítulo 2 estableceremos en forma detallada los objetivos y alcances del proyecto para posteriormente describir las distintas subestaciones que son usadas comunmente, en la que se incluye la usada en Lima. Las características tanto eléctricas y físicas del tipo de transformador utilizado en el ambiente local son también tratadas. A la luz de estas descripciones identificaremos los problemas de aquellas en nuestra capital con respecto a la ventilación actual de las subestaciones instaladas, y se plantean las alternativas de solución a estas dificultades. Finalmente en este Capítulo se establecerá la alternativa mas conveniente.

En el Capítulo 3 con la alternativa escogida se harán los cálculos correspondientes para el diseño de la cabina de subestación que incluye los diseños de : Sistema de Ventilación (Conducto de entrada y salida) y cabina.

En el Capítulo 4 se presenta el filtro de aire en aceite, siendo este parte de la alternativa escogida. Las ventajas de su instalación, descripción y sus características constructivas son mencionadas en este Capítulo.

En el Capítulo 5 las especificaciones técnicas y del montaje de todo el conjunto se señalan. (incluyen planos) para luego en el Capítulo 6 ocuparnos del análisis económico que incluye costos de materiales y equipos, costos de instalación y mantenimiento y la comparación de costos totales entre las cabinas que utilizan filtros de aire impregnados en aceite en zonas contaminadas contra las subestaciones utilizadas en la actualidad.

Finalmente en base a todo lo expuesto en los Capítulos anteriores se apuntan las principales conclusiones del trabajo como también las respectivas recomendaciones para el mejor uso del proyecto.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, que por intermedio de su Dirección de Información y Extensión me brindó todas las facilidades (a lo largo del desarrollo del proyecto de Tesis) para la obtención de valiosa información y de esta manera hacer posi-

ble la realización del proyecto aquí presentado

De igual manera mi agradecimiento a ElectroLima que a la luz de su experiencia adquirida a través de los años me sirvió de guía para poder resolver muchos problemas que se me presentaron en muchas partes del presente trabajo.

Finalmente quiero agradecer muy especialmente al Ing^o - Juan Cruz Rodríguez, quien a pesar de sus recargadas labores dentro de la Facultad de Ingeniería Mecánica accedió a la completa revisión del proyecto lo cual valoro mucho.

LISTA DE SIMBOLOS

A	Area de Transferencia de Calor en el Tanque (pie ²)
A _A	Area de la Aletas (pie ²)
A _{S/A}	Area de la Superficie sin Aletas (pie ²)
A _a	Area de Paso del Aire por los Conductos (m ²)
A _{at}	Area Total de Rejilla Requerida (m ²)
A _m	Area Neta de la Malla (m ²)
A _n	Area Neta del Paso del Aire por el Filtro (m ²)
A _t	Area de Transferencia de Calor Promedio (pie ²)
A ₁	Area Lateral de la Cabina (m ²)
A ₂	Area Superficial del Conducto de Ingreso de Aire - (m ²)
A _{2t}	Area del Techo (m ²)
A ₃	Area Superficial del Conducto de Salida de Aire - (m ²)
a	Exponente de la Relación para Hallar N _u (Convec - ción Libre)
a ₁	Ancho (m)
a ₂	Area Lateral de cada ladrillo (m ²)
b	Longitud de la Cabina (m)
b _o	Espesor o grosor del Encofrado (m)
C	Constante de la Relación para Hallar N _u (Convec - ción Libre)
C _{pA}	Calor Específico del Aceite (BTU/lib-°F)
F ₁	Resistencias Internas que se oponen al Paso del - Aire en m col aire
F ₂	Fuerza Ascensional del Aire en m col aire
G _r	Número de Grashoff

g	Aceleración de la Gravedad (pie/hr^2)
g_0	Aceleración de la Gravedad (m/s^2)
H	Presión Total del Ventilador en m col aire
H_f	Pérdida de Presión al Paso del Aire por la Rejilla de Entrada en m col aire
H_{f1}	Pérdida de Presión al Paso del Aire por el Ducto de Entrada en m col aire
H_{f2}	Pérdida de Presión al Paso del Aire por el Filtro en m col aire
H_{f3}	Pérdida de Presión al Paso del Aire por el Transformador en m col aire
H_{f4}	Pérdida de Presión al Paso del Aire por el Ducto de Salida en m col aire
h_{Ac}	Coefficiente de Película entre el Aceite y el Tanque ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
h_{ac}	Coefficiente de Película entre el Aire y el Tanque (Convección Libre) ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
h_f	h'_{ac}
h_0	Altura Dinámica del Aire (m)
h'_{ac}	Coefficiente de Película entre el Aire y el Transformador, Flujo Turbulento ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
K	Constante para Cargas Estáticas para Vigas Empotradas
K_A	Conductividad Térmica del Aceite ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
K_C	Conductividad Térmica del Acero ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
K_a	Conductividad Térmica del Aire ($\text{BTU/hr-}^\circ\text{F-pie}^2$)
K_1	Factor de Apilamiento
L	Altura de la Plancha de Transferencia (pie)

L_D	Longitud del Ducto de Salida (m)
L_F	Longitud Total del Fierro (m)
L_T	Longitud Total de Varillas (m)
L_V	Longitud de la Viga (m)
L_d	Longitud del Ducto de Entrada (m)
L_r	Espesor de Rejilla (m)
L'	Altura de las Aletas de Transferencia (pie)
M	Momento (Kg-m)
m	Relación de Entrada
m_1	Coefficiente de Seguridad por Compresión
N	Relación de Transformación
N_C	Número de Columnas
N_u	Número de Nusselt
N_t	Número Total de Ladrillos Requerido
N_1	Número de Ladrillos en la Cabina
N_2	Número de Ladrillos en el Conducto de Entrada
N_2	Número de Ladrillos en el Conducto de Salida
n	Número de Bolsas de Cemento
n_{b1}, n_{b2}	Número de Bolsas de Cemento
n_1, n_2	Número de Varillas
P	Potencia del Ventilador (C.V.)
P_e	Perímetro de la Sección Transversal del Canal de Ingreso (m)
P_{em}	Perímetro de la Malla (m)
P_r	Número de Prandtl
P_t	Potencia del Transformador (Kw)
P_1	Potencia Total a Disipar a Plena Carga (Kw)
P_2	Potencia Total a Disipar a 15% de Sobrecarga (Kw)

P'	Fuerza Ascensional Total en m col aire
P'_1	Fuerza Ascensional de la Columna de Aire Inferior- en m col aire
P'_2	Fuerza Ascensional de la Columna de Aire Superior- en m col aire
p	Presión de la Mezcla de Aire (atm)
p_a	Presión Actuante (Kg/cm^2)
Q	Calor Total a Disipar (Kcal/s)
Q_T	Carga Total Sobre el Techo
Q_c	Calor Transferido por Convección (BTU/hr)
Q_{c1}	Calor Transferido de la Superficie sin Aletas (BTU/hr)
Q_{c2}	Calor Transferido de la Superficie de la Aletas (BTU/hr)
Q_r	Calor Transferido por Radiación (BTU/hr)
Q_t	Calor de Transferencia Máxima (Kcal/hr)
Q'	Calor Total a Disipar (Kcal/hr)
Q'_t	Calor Total a Disipar (BTU/hr)
q	Carga por Columna (Ton)
R	Coeficiente de Resistencia por Frotamiento
S	Superficie de la Sección Transversal del Canal de Ingreso (m^2)
S_c	Sección Transversal de la Cabina (m^2)
T	Temperatura Absoluta del Transformador (K)
T_A	Temperatura del Aceite ($^{\circ}\text{F}$)
T_c	Temperatura del Casco del Tanque ($^{\circ}\text{F}$)
T_{cc}	Tensión de Corto Circuito
T_p	Temperatura de Película ($^{\circ}\text{F}$)

T_a	Temperatura del Aire ($^{\circ}\text{F}$)
t	Temperatura Máxima Ambiental ($^{\circ}\text{C}$)
t_m	Temperatura Media entre La Temperatura de Aire de Ingreso y la Correspondiente del Transformador ($^{\circ}\text{C}$)
t_1	Temperatura Máxima del Aire al Paso por el Filtro ($^{\circ}\text{C}$)
t'	Espesor de Aleta (pie)
ΔT_{Ac}	Diferencia de Temperaturas entre el Aceite y el Casco de Transferencia ($^{\circ}\text{F}$)
ΔT_{ac}	Diferencia de Temperaturas entre el Casco y el Aire ($^{\circ}\text{F}$)
V	Volumen de Aire Necesario para la Evacuación de una Cañoría (m^3)
V_0	Volumen de Aire Necesario para Evacuar 1 Kw-hr (m^3)
V_H	Volumen de Hormigón (m^3)
V_{mc}	Volumen Mínimo de la Cabina (m^3)
V_n	Volumen Neto del Transformador (m^3)
V_p	Volumen de Piedra (m^3)
V_1, V_2, V_3	Volumen de Hormigón (m^3)
V_{1a}	Velocidad del Aire en el Ducto de Entrada (m/s)
V_{2a}	Velocidad del Aire a Través del Filtro (m/s)
V_{3a}	Velocidad del Aire por el Transformador (m/s)
V_{4a}	Velocidad del Aire en el Ducto de Salida (m/s)
\dot{V}_1	Caudal de Aire de Ingreso (m^3/s)
\dot{V}_2	Caudal de Aire de Salida (m^3/s)
\dot{V}_3	Caudal de Aire Promedio por el Transformador (m^3/s)
\dot{V}'_1	Caudal de Aire de Ingreso (m^3/hr)

w	Carga Distribuida Uniforme (Ton/m ²)
w'	Carga Distribuida Uniforme (Ton/m)
Y ₁	Altura Neta del Transformador (m)
Y ₂	Altura de la Columna de Aire Superior (m)
z	Distancia del Centro de Gravedad a la Armadura de los Nervios (m)
z ₁	Cantidad de Fierros (unidades)
α	Factor de Carga Variable para Edificios Pequeños - a nivel
β	Coeficiente de Dilatación Térmica del Aire (1/°F)
ε	Emisividad del Casco para Plancha de Acero
η _f	Eficiencia de Aleta
η _t	Eficiencia del Transformador
η _{vc}	Eficiencia del Ventilador
θ	Coeficiente de Resistencia por Tipo de Malla o Filtro a Usarse
θ ₁ , θ ₂	Angulos de Reducción
ν _A	Viscosidad Cinemática del Aceite (pie ² /hr)
ν _a	Viscosidad Cinemática del Aire (pie ² /hr)
ρ	Presión de Compresión (Ton/m ²)
ρ _A	Densidad del Aceite (lib/pie ³)
σ	Coeficiente de Steffan-Boltzmann (BTU/hr-°F-pie ²)
τ	Esfuerzo Cortante Máximo en el Techo (Kg/cm ²)
ω	Peso Específico del Aire (Kg/m ³)
ω'	Cantidad de Aire Necesario para la Evacuación de una Caloría (gr)

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Los edificios subterranos en donde se instalan las subestaciones requieren de un acondicionamiento adecuado de acuerdo a las condiciones del medio ambiente.

En efecto, las subestaciones subterranas instaladas en Lima están expuestas al polvo reinante del medio ambiente al cual puede clasificarse como un medio sucio que afecta al funcionamiento normal de los transformadores. Por otro lado es necesario dimensionar la cabina subterránea y los conductos de entrada y salida del aire, de tal manera que la ventilación sea suficiente como para mantener la subestación dentro de las temperaturas normales de trabajo.

Del mismo modo, debido al ambiente sucio (abundante polvo) existente en Lima, será necesario diseñar y acondicionar un sistema de filtros de aire impregnados en aceite, instalados en el ducto de entrada de aire de ventilación cuya función será el permitir el bloqueo del polvo u otras materias en suspensión hacia la cabina de-

la subestación, manteniendo por lo tanto a esta en condiciones mas limpias y reduciendo sustancialmente los costos por mantenimiento y limpieza de la subestación.

El proyecto se limitará entonces en el dimensionamiento adecuado de la cabina de subestación, conductos de entrada y salida del aire de refrigeración y la instalación (y construcción) de un filtro de aire en aceite - permita mantener limpia la subestación y disminuir sustancialmente los costos por mantenimiento.

Para dicho dimensionamiento se tendrán en cuenta múltiples factores como son : Condiciones de Trabajo del transformador, condiciones ambientales, materiales y equipos disponibles, etc.

Los cálculos que se presentan tienen como apoyo la bibliografía consultada que se da a conocer al final de este trabajo y de algunas experiencias realizadas por ElectroLima.

La justificación económica del proyecto estará sustentado en el ahorro en cuanto a los costos de mantenimiento en comparación con los equipos utilizados para tal fin (es decir actualmente).

CAPITULO 2

MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 Generalidades

En el siguiente trabajo se presenta como objetivo fundamental el diseño de una cabina subterránea de subestación de baja tensión utilizados comunmente en Lima y en otras ciudades importantes. En lo referente a Lima nos basaremos en experiencias realizadas por Electrolima en lo relacionado a bóvedas o cabinas subterráneas para subestaciones de distribución.

Las cabinas de Transformación convencionales instaladas actualmente presentan grandes problemas originados por detalles de diseño, las cuales las hacen cada vez menos confiables. En efecto, en dichas subestaciones convencionales se presentan los problemas de lograr una ventilación adecuada como el mantenimiento limpio de estos que reduzcan los riesgos de corto circuito o descargas a tierra.

Todos los diseños típicos que mayormente son utilizados en nuestro medio se reducen a tres tipos:

a) Bóvedas subterráneas de configuración cilíndrica-
que generalmente se utilizan para transformadores
pequeños de 50 KVA.

Sus medidas son:

- Profundidad : 1 800 mm
- Diámetro : 900 mm

b) Bóveda subterránea de sección rectangular que ge-
neralmente se usa con transformadores de hasta -
250 KVA, y sus medidas son :

- Alto o profundidad : 2 500 mm
- Longitud : 2 530 mm
- Ancho : 1 800 mm

c) Bóveda subterránea rectangular para grandes trans-
formadores de hasta 640 KVA, siendo sus medidas:

- Profundidad : 2 850 mm
- Longitud : 3 020 mm
- Ancho : 2 800 mm

Estas características de los diseños existentes -
trae consigo problemas como son la corrosión las ta-
pas que en muchos casos hace imposible su apertura -
y el ingreso de tierra dentro de la bóveda llegando-
a cubrir totalmente al transformador sobre todo en e
zonas no pavimentadas, lo cual incide directamente -
en la vida útil del transformador así como de los -
cables eléctricos y accesorios que están dentro de -

la bóveda.

Por costos de mantenimiento a causa de estos problemas son altísimos, motivo por el cual considero que el modelo de cabina que propongo en este proyecto resulta ser de mucho interés.

2.2 Objetivos y Alcances del Proyecto

2.2.1 Objetivos

- a) Diseñar una cabina subterránea para subestaciones convencionales, de manera que se reduzcan al mínimo los problemas por refrigeración y esencialmente el ensuciamiento del transformador.
- b) Aprovechar al máximo la capacidad del transformador, eliminando en cierto grado los riesgos de sobrecarga por exceso de temperatura.
- c) Mediante el empleo de filtros de aire impregnados en aceite se reducirá sustancialmente los costos por mantenimiento y limpieza de la subestación.
- d) Disminuir las descargas superficiales en las barras de 10 KV, que se producen por el efecto combinado de la polución (presencia de polvo) y la elevada humedad relativa existente en Lima.

- e) Proteger y prolongar la vida del transformador, manteniendo al mínimo los riesgos de sobrecalentamiento.
- f) Con la instalación de un filtro de aire en aceite, bloquear el ingreso de polvo a la subestación reduciendo de esta manera el grado de polución de esta, simplificando el mantenimiento de la subestaciones.

2.2.2. Alcances

- a) El diseño de la Cabina Subterranea y su correspondiente filtro de aire estará aplicado para subestaciones de distribución (de 10 KV) y potencia de 640 KVA.
- b) El diseño estará específicamente aplicado a subestaciones convencionales instaladas en Lima, considerando para ello sus correspondientes parámetros de temperatura, humedad relativa y grado de polución.

2.3 Subestaciones Convencionales

Las subestaciones convencionales como inicialmente se dijo, está constituido por transformadores de distribución en pedestal, con relación de transformación de 10 000 voltios a 220 voltios, refrigerados por aceite y ventilación natural.

2.3.1 Características Eléctricas

Al desarrollar específicamente el proyecto - para subestaciones de 640 KVA, las características principales del transformador son:

- 1.- Los transformadores trifásicos convencionales en baño de aceite, son construidos según las normas CEI-NOP 10011
- 2.- Potencia Nominal : 640 KVA
- 3.- Relación de transformación : 10 000 / 220 voltios
- 4.- Tensión de prueba :
 - en baja tensión : 2,5 KV
 - en media tensión : 2,8 KV
- 5.- Tensión de corto circuito : 5,5 %
- 6.- Pérdidas en el transformador :
 - en los arrollamientos : 8 400 Watt
 - en el núcleo : 7 600 Watt
- 7.- Calentamiento máximo permitido:
 - en el aceite : 60⁰C
 - en el núcleo : 65⁰C

Sobre una temperatura de 30⁰C del medio ambiente
- 8.- Eficiencia del transformador : 96,5% a 97% hasta una altura de 1 000 m.s.n.m. Para alturas superiores a los mil metros, el ren-

dimiento del transformador disminuirá en un -
0,3% por cada 100 m de elevación, producto -
de la pérdida de presión atmosférica.

9.- Frecuencia : 50 y 60 Hz, corriente alterna

10.-Número de fases : 3

11.-Accesorios suministrados con el transformador:

- 3 seccionadores unipolares EFD para ejecu -
ción radial en alta tensión.
- Conmutador de tomas en vacío de 5 posiciones
- Válvula de seguridad.
- Platina de puesta a tierra del tanque.
- Indicador de nivel de aceite.
- Dispositivo para la salida del aceite o dre-
naje y extracción de muestras.

12.-Accesorios adicionales:

- Termómetro metálico sin contacto 10 - 120⁰C
- Indicador del nivel de aceite con contactos
tipo magnético que incorpora contacto de mer-
curio a nivel mínimo.
- Manómetro con regulador de vacío con escala
de -0,7 a 0,7 Kg/cm² (-10 a 10 PSI)
- Relé de presión súbita
- Válvula de seguridad con contactos.
- Interruptor automático en baja tensión.

2.3.2 Características Físicas

1.- Dimensiones del transformador, incluyen -
do celdas de la conexión, tanque de aceite:

- Altura Total : 1 780 mm
- Ancho Total : 1 750 mm
- Espesor : 1 090 mm

2.- Peso Total : 1 610 Kg

3.- Tanque del transformador: Plancha de hierro soldada, para favorecer la transferencia de calor desde el aceite hacia el exterior.

4.- Características constructivas:

El núcleo magnético está compuesto de columnas de sección escalonada en un solo plano, fabricados con planchas de acero, laminados en frío y ensambladas a 45° para obtener corriente y pérdidas reducidas en el vacío.

5.- Pruebas de vacío :

Hermeticidad de tanque, con una presión de 0,5 atm.

2.4 Problemas de Ventilación Actual en las Subestaciones Convencionales

2.4.1 Ventilación en los Transformadores

En las cabinas subterráneas utilizadas comun-

mente en Lima y otras ciudades importantes - del país y por razones económicas estas cabinas se construyen con menores alturas que las cabinas de superficie, por lo que la fuerza ascensional del aire, debido al aumento de la temperatura es menor que en las segundas, de ahí que los conductos de entrada y salida del aire sean mayores que en las cabinas de superficie

Luego para ejercer una adecuada ventilación al transformador se tendrá que establecer las medidas necesarias de suministro de aire fresco.

El problema existente actualmente en el sistema de ventilación en las cabinas subterráneas es la deficiencia en el mismo, producto de la deficiencia en el suministro de aire fresco a la cabina, así como la cantidad necesaria. Por otro lado es necesario ubicarlas (las cabinas) de manera que el ducto de suministro de aire fresco quede en la dirección del viento (En base de un estudio de movimiento de estos).

En el supuesto caso que sea insuficiente el suministro de aire por ventilación natural sea éste por la pérdida de presión en el circuito de alimentación, o por insuficiencia -

de la velocidad del aire que ingresa será -
necesaria instalar un sistema de ventilación-
artificial o forzada.

Por otro lado la instalación de un filtro de
aire impregnado en aceite, como una manera de
disminuir la frecuencia en el mantenimiento -
de la subestaciones origina aún mas la pérdi-
da de presión en el aire de ingreso con lo -
cual se hará necesario el empleo de ventila-
dores.

Según los informes proporcionados por la ofi-
cina de mantenimiento de redes y subestaciones
de Electrolima, ha clasificado las zonas y su
frecuencia de mantenimiento según el grado de
ensuciamiento en lo siguiente :

TABLA 2.1

Zonas de ubi- cación de las SS.EE. conven- cionales	Frecuencia de Limpieza (N ⁰ - Limpieza / Año)	
	Sin Filtros	Con Filtros
Muy Sucias	9	1,5
Sucias	6	1
Limpias	4	0,66

Del cuadro superior tenemos que la frecuen -
cia de mantenimiento utilizando filtros de -

aire, se reduciría prácticamente a la sexta-
parte del correspondiente cuando no existe es-
te dispositivo, por lo que su instalación -
se justifica, más aún si tenemos en cuenta -
que el costo de este equipo es bajo.

2.5 Alternativas a Emplearse

Existen dos métodos de instalación de subestaciones
convencionales:

- 1.- Cabinas de Subestación instaladas sobre la la -
superficie, son menos utilizados sobre todo en -
las grandes poblaciones a fin de no variar o in-
terferir la estética de la misma.
- 2.- Edificios o cabinas de transformación subterra -
neas, mayormente utilizadas en Lima y otras gran-
des ciudades; es la solución mas apropiada para -
su establecimiento cuando no hay posibilidades de
disponer de locales convenientes para la insta -
lación de cabinas sobre la superficie.

Luego dentro de los edificios o cabinas subte -
rraneas las alternativas mas importantes a utili-
zarse en la instalación de los transformadores -
son:

- a) Cabina o bóveda subterránea de forma cilíndri-
ca, con sección circular de 900 mm de diáme -
tro y una altura aproximada de 1 800 mm con -
la parte superior totalmente enrejillado.

Este tipo de cabinas no tiene uso difundido - limitándose para transformadores pequeños hasta 50 KVA, según se observa en la Fig. 2.2.

El sistema de ventilación y escape del aire - caliente se efectúa por el mismo lugar o sea - la cabina está descubierta en toda su parte - superior, protegido por rejillas metálicas - que impiden el ingreso de materias extrañas.

b) Bóveda subterránea de sección rectangular, cuyas medidas son :

- Profundidad : 2 850 mm
- Sección : 3 020 x 2 800 mm

Las características de estas cabinas tienen - como particularidad en que sus dimensiones - son mayores que la anterior y su sección es - rectangular en vez de circular.

El ingreso y salida del aire se realiza por - los mismos conductos instalados por la parte - superior, como se ve en la Fig. 2.3.

c) Cabina de subestación con ingreso de aire y - salida del mismo separados, de manera que no - haya interferencia entre el aire caliente y el aire fresco.

La ubicación del ducto de ingreso de aire - fresco se ubicará en la dirección del viento-

de manera que el aire ingrese sin interferencia. Del mismo modo se protegerá el ingreso de polvo atmosférico, instalando las rejillas correspondientes en la parte superior por uno de los costados de manera que el polvo como otras materias extrañas no impacten en el transformador.

Ademas el ducto de ingreso del aire estará a condicionado para la instalación del filtro correspondiente.

La Fig. 2.4 permite apreciar el modelo de la cabina. Esta es pues la alternativa que propongo y que seguidamente se justificará su uso.

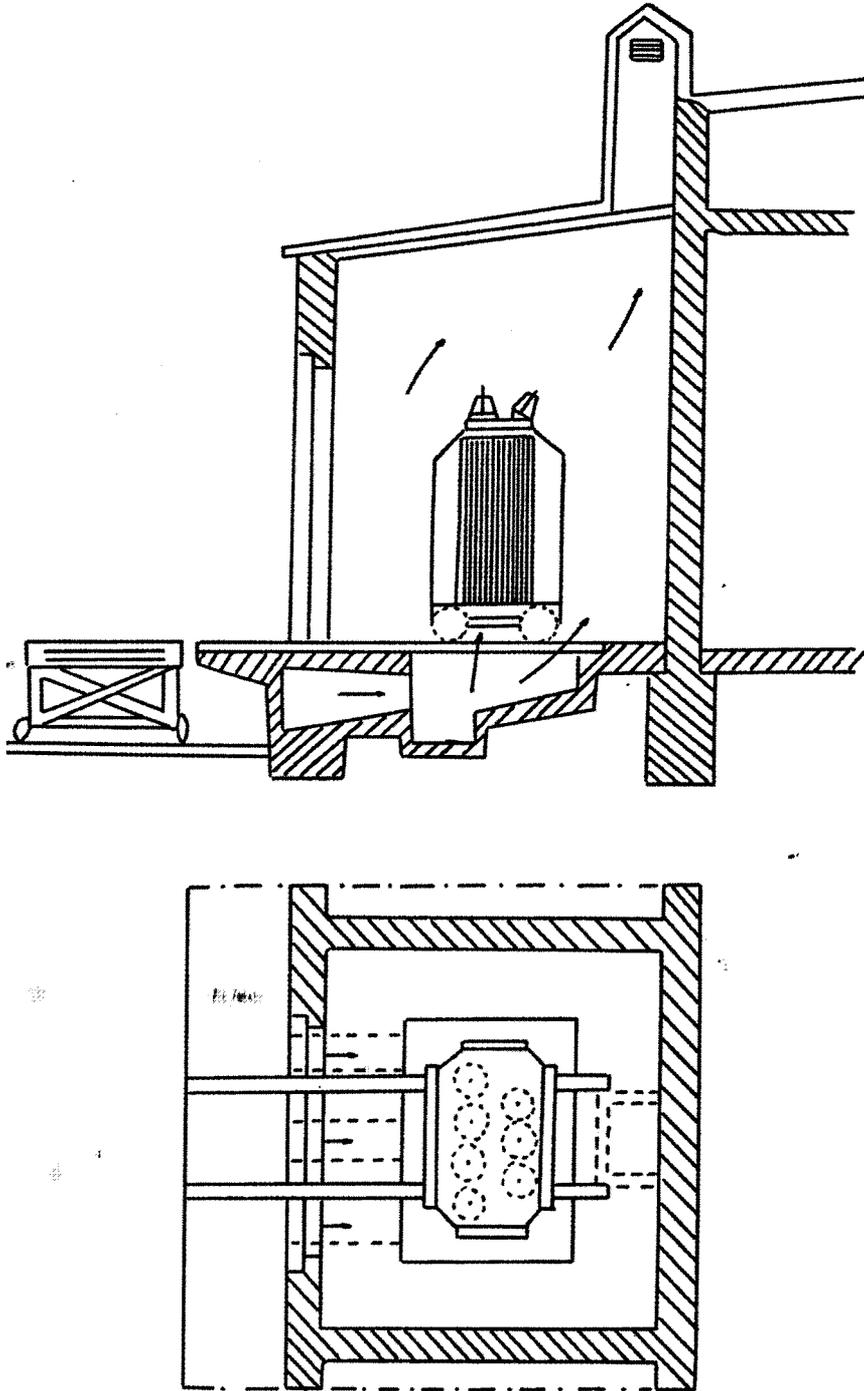


FIG. 2.1 CABINA CON VENTILACION NATURAL
PROVISTA DE CHIMENEA DE EVACUA-
CION DE AIRE CALIENTE

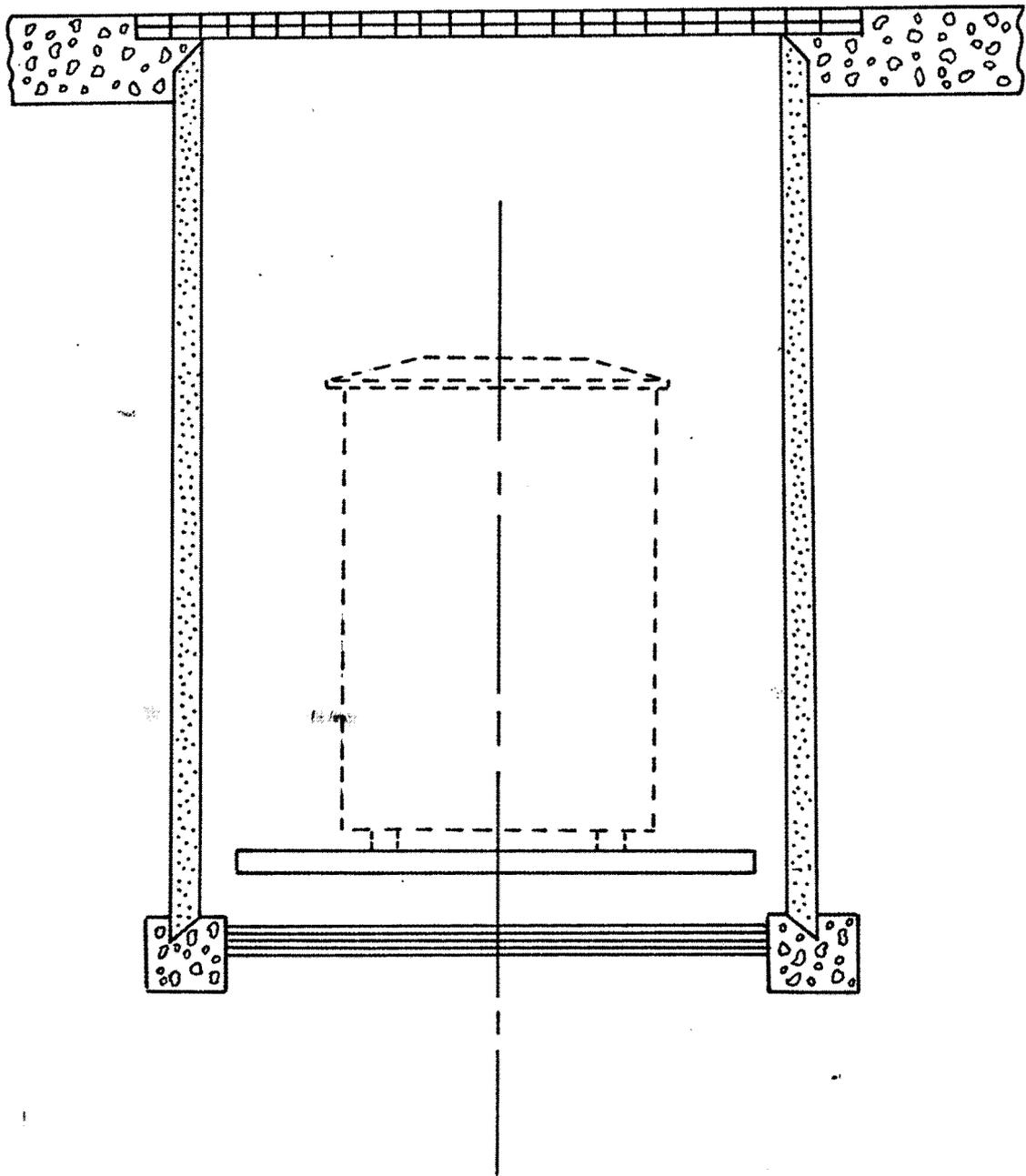
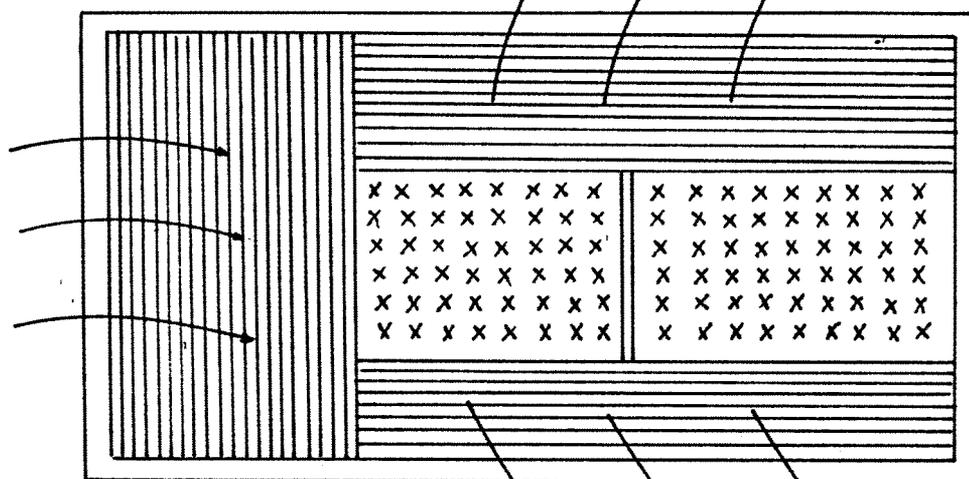


FIG. 2.2 BOVEDA SUBTERRANEA CIRCULAR

SALIDA DE AIRE



SALIDA DE AIRE

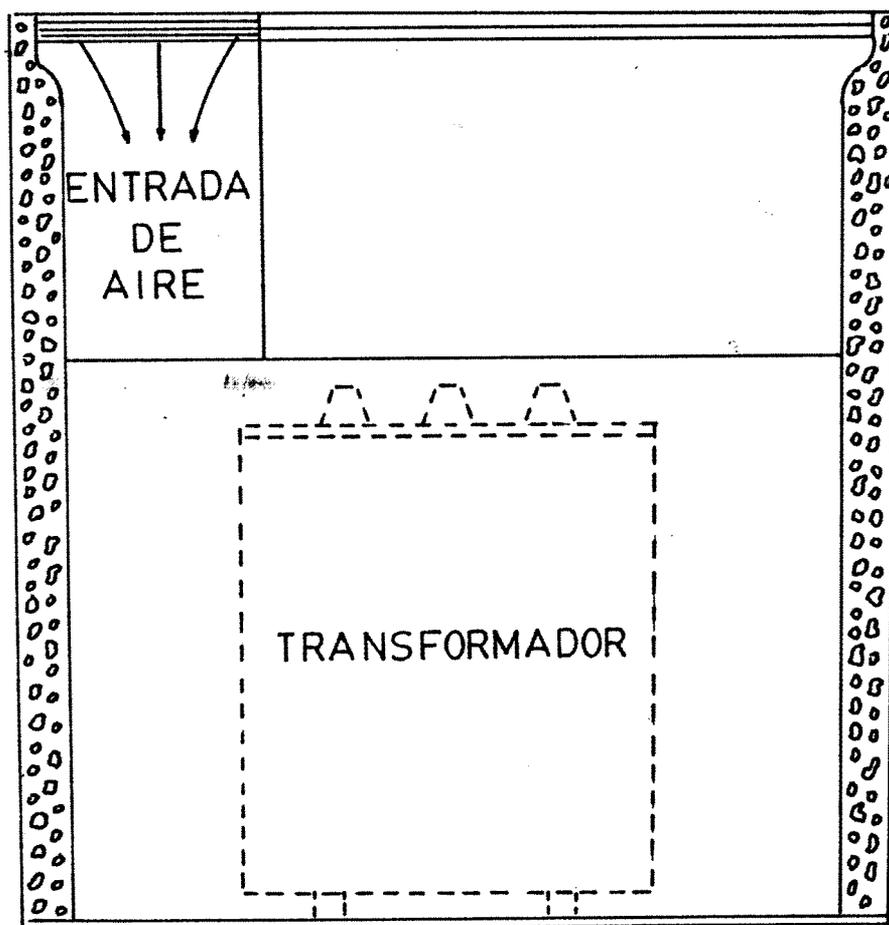


FIG.2.3 BOVEDA SUBTERRANEA RECTANGULAR

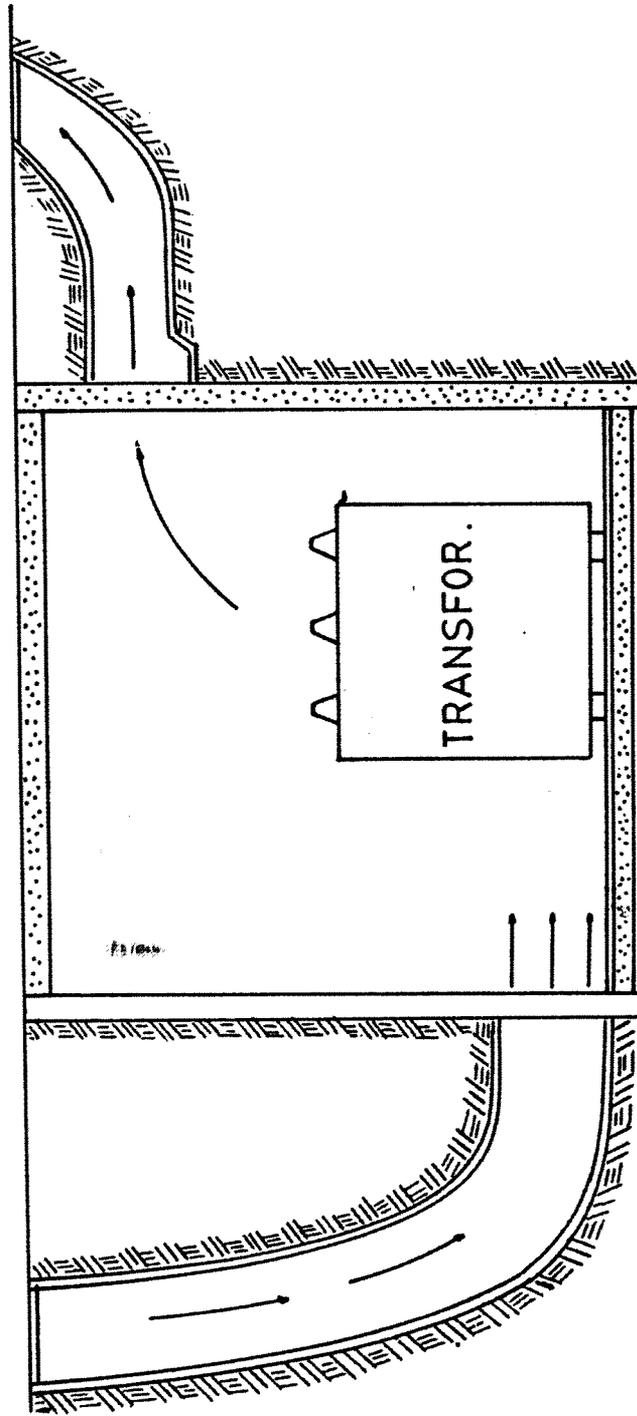


FIG. 2.4 CABINA SUBTERRANEA CON INGRESO Y SALIDA DE AIRE SEPARADOS

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA CABINA DE SUBESTACION

Características del Diseño

Dadas las características del medio ambiente, y en muchos casos a que podemos encontrarnos con espacios muy reducidos para la instalación o construcción de una cabina subterránea, las dimensiones tanto de la cabina subterránea como de los conductos de ingreso y salida del aire serán en cierto grado restringidos en cuanto se refieren a sus dimensiones.

Materialmente las cabinas subterráneas pueden estar hechas con módulos prefabricados de concreto, o en sitio. Los conductos de entrada y salida del aire serán asimismo de ladrillo revestido con concreto en su parte interior de manera que se minimizen las pérdidas de presión en el aire.

La tapa de concreto cubrirá totalmente a la bóveda (o cabina) de manera que impida el ingreso de tie -

rra dentro de ella.

3.1 Conducto de Entrada

El conducto de entrada o conducto de suministro del aire, en primer lugar estará ubicada en una dirección que facilite el ingreso del aire.

Dado que la dirección del viento en Lima generalmente sopla de Sur Oeste (proveniente del mar) - se procurará que el conducto de entrada este ubicada en esa dirección.

La configuración de dicho conducto, así como las dimensiones serán tales que se minimize las pérdidas por frotamiento, así como también evitar que el polvo incida en el transformador.

De acuerdo a experiencias en instalación de subestaciones realizadas en otros países, se ha demostrado que la configuración mas apropiada es de una forma parabólica y de sección rectangular, cuyas medidas se establecerán posteriormente cuando se determine la cantidad de aire necesario para la disipación del calor. Por otro lado debe evitarse que la longitud del ducto presente variaciones bruscas en su sección y sea este de grandes dimensiones a fin de disminuir las pérdidas por fricción.

3.2 Cabina de Subestación

La cabina subterránea esta constituida por el e

dificio propiamente dicho en donde se instalará el transformador correspondiente. Las dimensiones de la cabina deben ser tales que la cantidad de aire de ventilación sea la suficiente y permanezca el tiempo requerido.

Según las recomendaciones de la CEI (Comisión Eléctrica Internacional) establece que el volumen que encierra la cabina subterránea debe ser por lo menos 8 veces el volumen neto del transformador para lugares donde la temperatura promedio ambiental este comprendido entre 15 a 20⁰C.

En Lima donde en las épocas de verano alcanzan valores hasta de 30⁰C, se requerirá de espacios mas amplios de manera que se desarrolle una ventilación natural suficiente.

Inicialmente asumiremos un volumen o espacio de la cabina como mínimo 10 veces el volumen del transformador.

Luego del Catálogo Brown Boberi Industrial Canepa Tabini, para transformadores de 640 KVA.

Tenemos las siguientes medidas :

- Altura, incluyendo bornes : 1 780 mm
- Ancho : 1 750 mm
- Espesor : 1 090 mm

Luego el volumen neto del transformador será :

$$V_n = 1,78 \times 1,750 \times 1,090 = 3,3996 \text{ m}^3$$

Luego el volumen de la cabina será de :

$$V_{mc} = 3,3996 \times 10 = 33,996 \text{ m}^3$$

Las dimensiones de la cabina serán tales que - sean equidistantes de la superficie de disipación del calor proveniente del transformador.

O sea tenemos:

Dimensiones aproximadas de la cabina :

- Altura : $1,78 \times \sqrt[3]{10} = 3,86 \text{ m}$
- Longitud : $1,75 \times \sqrt[3]{10} = 3,80 \text{ m}$
- Ancho : $1,09 \times \sqrt[3]{10} = 2,36 \text{ m}$

Estas medidas iniciales serán reajustadas posteriormente cuando se determine el volumen del aire requerido para la ventilación.

3.3 Cálculo del Sistema de Ventilación

Pérdidas Totales de Calorías en el Transformador-a Disipar

Las pérdidas totales de calor a disipar serán - las correspondientes a la energía perdida por el efecto Joule (Calentamiento) en el núcleo y bobinas del transformador.

Para subestaciones de 640 KVA instalados en las diferentes zonas de Lima, se tienen las siguientes

características técnicas operativas a régimen normal.

- 1^o Potencia Nominal : 640 KVA
- 2^o Relación de Transformación : N 10 000/220 Volt
- 3^o Tensión de Corto Circuito : $T_{CC} = 5,5\%$ en vacío
- 4^o Temperatura máxima permitida en el Transformador:

En el aceite : 60°C

En el núcleo : 65°C

Sobre una temperatura ambiental de 30°C

- 5^o Pérdidas de Potencia: Del Catálogo Brown Boberl para transformadores de 640 KVA se tiene :

- pérdidas en el núcleo : 7 600 Watt

- Pérdidas en los arrollamientos : 8 400 Watt

Luego las pérdidas totales en el transformador serán :

$$7\ 600 + 8\ 400 = 16\ 000\ \text{Watt}$$

Para un $\cos\phi = 0,85$ que es el más frecuente en estos equipos tendremos :

Potencia del Transformador :

$$P_t = 640\ \text{KVA}$$

$$P_t = 640 \times \cos\phi\ (\text{Kw})$$

$$P_t = 640 \times 0,85 = 544\ \text{Kw}$$

Luego el rendimiento del transformador será:

$$\eta_t = \frac{544\ 000 - 16\ 000}{544\ 000} \times 100$$

$$\eta_t = 97,0 \%$$

Este rendimiento es válido para subestaciones instalados debajo de los 1 000 m.s.n.m.

6^o Area de Transferencia de calor: aproximadamente 2,0 m². Luego podemos tomar como la cantidad total del calor como el correspondiente a 14 000 Watt, que es el correspondiente a la energía perdida por el efecto Joule o calentamiento en el núcleo y los arrollamientos del transformador a plena carga. Por otro lado según las recomendaciones del Código Eléctrico del Perú, se admite una sobrecarga del 10% por tiempos cortos en el transformador lo cual incrementa la temperatura del transformador en un porcentaje mayor al del régimen normal.

Considerando un 15% más de la cantidad de calor a disipar tenemos:

Potencia total a disipar a plena carga :

$$P_1 = 16\ 000\ \text{Watt} = 16\ \text{Kw}$$

P_2 = Potencia a disipar cuando el transformado opera a sobrecarga en un 15% de su capacidad.

$$P_2 = 16 \times 1,15 = 18,4\ \text{Kw}$$

Que corresponde al caso más crítico de calor

a disipar.

Por otro lado tenemos:

1 Kilocaloría es igual a 427 Kg-m o igual a :
 $427 \times 9,81 = 4\ 190$ Watt-seg

Luego el calor total a disipar será:

$$Q = \frac{18\ 400 \text{ Watt}}{4\ 190 \text{ Watt} \times \text{seg/Kcal}} = 4,39 \text{ Kcal/seg}$$

Que representa la cantidad de calor a disipar por segundo, para mantener al transformador dentro de los valores permisibles de temperatura.

La cantidad de calor a disipar por hora será entonces :

$$Q' = 4,39 \text{ Kcal/seg} \times 3\ 600 \text{ seg/hr}$$
$$Q' = 15\ 804 \text{ Kcal/hr}$$

3.3.1 Cálculo de la Cantidad de Calor que se puede disipar con circulación natural

a) Cálculo del coeficiente de película entre el tanque y el aire

Se sabe que en convección libre, el coeficiente promedio está dado por la siguiente relación :

$$N_u = C (G_r \times P_r)^a$$

Donde :

$$G_r = \frac{g \times L^3 \times T_p}{\nu^2} \quad \text{Número de Grashoff}$$

$$g = 32 \times (3600)^2 \frac{\text{pies}}{\text{hr}^2} \quad \text{Aceleración de la gravedad.}$$

$$L = 4,8 \text{ pies} \quad \text{Altura de la plancha del tanque}$$

$$\Delta T_{ac} = 60^{\circ}\text{F} \quad 15^{\circ}\text{C} \quad \text{Representa la diferencia de temperaturas entre el casco y el aire que puede considerarse } 16^{\circ}\text{C.}$$

(Zoopetti, Estaciones de transformación)

$$\beta = 0,0001 \text{ } 1/^{\circ}\text{F} \quad \text{Coeficiente de expansión térmica del aire (Ver Apéndice A.1)}$$

$$\nu_a = 0,62 \text{ pie}^2/\text{hr} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire a } 37,5^{\circ}\text{C}$$

(Ver Apéndice A.2)

$$P_r = 0,74 \quad \text{Número de Prandtl para temperaturas del aire menores a } 100^{\circ}\text{C} (212^{\circ}\text{F}) \text{ (Ver Apéndice-Tabla A.3)}$$

Los valores β , ν_a , P_r se calculan para una temperatura de película $T_p = 99,5^{\circ}\text{F}$ o $37,5^{\circ}\text{C}$ (Ver Apéndice A.3)

Reemplazando valores :

$$G_r = \frac{32 \times (3\ 600)^2 \times 0,0001 \times 4,8^3 \times 99,5}{0,62^2}$$

$$G_r = 1,18 \times 10^9$$

Luego :

$$G_r \times P_r = 8,78 \times 10^8$$

Para estas condiciones de $G_r \times P_r$

$$N_u = 0,59 (G_r \times P_r)^{1/4} \quad (\text{ Ver Apéndice - Tabla A.4 })$$

Pero :

$$N_u = \frac{h_{ac} \times L}{K_a}$$

De ahí que :

$$h_{ac} = \frac{K_a}{L} \times 0,59 (G_r \times P_r)^{1/4}$$

$$h_{ac} = \frac{K_a}{L} \times 0,59 (G_r \times P_r)^{1/4}$$

Donde :

$$K_a = 0,0156 \text{ BTU/hr-pie-}^{\circ}\text{F} \quad (\text{ Ver Apéndice Tabla A.6 })$$

K_a que es la conductividad térmica del -
aire a una temperatura $T_p = 99,5^{\circ}\text{F}$ -
o $37,5^{\circ}\text{C}$.

Finalmente :

$$h_{ac} = \frac{0,0156}{4,8} \times 0,59 (8,78 \times 10^8)^{1/4}$$

$$h_{ac} = 0,330 \text{ BTU/hr-pie-}^{\circ}\text{F}$$

b) Cálculo de la Eficiencia de Aleta (η_f)

Para calcular la eficiencia de aleta. me remito al gráfico η_f v.s. mL' (Ver A péndice-Gráfico A.2)

Donde :

$$m = \sqrt{\frac{2 \times h_{ac}}{K_c \times t'}}$$

$t' = 0,5'' = 0,0416'$ Espesor de Aleta

$K_c = 26 \frac{\text{BTU}}{\text{hr-pie-}^{\circ}\text{F}}$ Conductividad -
térmica del Acero
del cual está -
constituido el -
tanque del trans-
formador a una -
 $T_p = 99,5^{\circ}\text{F}$ (Ver
Apéndice-Tabla A.5)

$L' = 2'' = 0,166'$ Altura de Aleta -
(Ver Apéndice A.5)

Luego:

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 0,0375}{26 \times 0,0416}}$$

$$m \times L' = 0,044$$

Del Gráfico del Apéndice-Gráfico A.2

$$\eta_f = 0,99 \quad \text{Eficiencia de Aleta}$$

c) Cálculo de la Cantidad de calor por Convección

La cantidad de calor por convección entre el aire y el casco se determina mediante la siguiente ecuación :

$$Q_c = \underbrace{h_{ac} \times A_{S/A} \times (T_c - T_a)}_{Q_{c1}} + \underbrace{h_{ac} \times A_A \times \eta_f \times (T_c - T_a)}_{Q_{c2}}$$

Q_{c1} = Calor transferido de la Superficie sin aleta.

Q_{c2} = Calor transferido de la Superficie de las aletas.

$A_{S/A} = 14,96 \text{ pie}^2 (1,39 \text{ m}^2)$ Area de la Superficie sin aletas-
(Ver Apéndice A.5)

$A_A = 84,28 \text{ pie}^2 (7,83 \text{ m}^2)$ Area Total de las Aletas.
(Ver Apéndice A.5)

$$h_{ac} = 0,330 \text{ BTU/hr-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

$T_a = 86^{\circ}\text{F}$ (30°C) Temperatura del aire

$T_c = 113^{\circ}\text{F}$ (45°C) Temperatura del casco

Las temperaturas T_a y T_c están justificadas en el Apéndice A.3.

Luego reemplazando valores obtenemos como resultado :

$$Q_c = 876,71 \text{ BTU/hr}$$

d) Cálculo del Calor por Radiación

La cantidad de calor que se irradia de las paredes del transformador hacia el aire viene dado por la forma :

$$Q_r = \sigma \times \epsilon \times A_t \times (T_c^4 - T_a^4)$$

Donde :

σ = Coeficiente de Steffan y Boltzmann -
Cuyo valor es de $0,172 \times 10^{-8}$ BTU/hr-R⁴-
pie²

ϵ = Emisividad del casco para la plancha de acero con pintura = 0,9 - 1,0 (Ver Apéndice-Tabla A.7)

A_t = Area de Transferencia de Calor : -
21,5 pie² como promedio

T_c = Temperatura del Casco 45°C (113°F)

T_a = Temperatura del Aire refrigerante -
o sea 30°C o 86°F , en este caso -

estos valores de T_a y T_c están expresados en grados Rankine:

$$T_c = 113^{\circ}\text{F} + 460 = 573^{\circ}\text{R}$$

$$T_a = 86^{\circ}\text{F} + 460 = 546^{\circ}\text{R}$$

Reemplazando valores tenemos :

$$Q_r = 0,172 \times 10^{-8} \times 0,9 \times 21,5 (573^4 - 546^4)$$

$$Q_r = 564,37 \text{ BTU/hr}$$

Luego el máximo calor a disipar en ambos casos será :

- Por Convección : 876,71 BTU/hr

- Por Radiación : 564,37 BTU/hr

Considerando que la transferencia de calor se realiza por ambas formas tenemos :

$$Q'_t = 876,71 + 564,37 = 1441,08$$

Además tenemos que 1 BTU = 0,252 Kcal

Por lo cual :

$$Q_t = 1441,08 \times 0,252 = 363,15 \text{ Kcal/hr}$$

Que representa el calor de transferencia máxima a estas condiciones.

Sin embargo la cantidad de calor real necesario a disiparse serán las correspondientes por el efecto Joule, o sea

la cantidad de 13 824 Kcal/hr.

3.3.2 Cálculo del Aire Necesario para la Evacuación del Calor

El peso de 1 m³ de aire seco a la temperatura de 0⁰C, se obtiene por la siguiente fórmula :

$$w = \frac{342 \times p}{T} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Donde :

w = Peso específico del aire en Kg/m³

p = Presión de la mezcla de aire en atmósferas.

T = Temperatura Absoluta : 0⁰C + 273

El calor específico del aire seco es igual a 0,238 calorías, o sea que para elevar la temperatura de un gramo de aire seco en un grado centígrado, se precisa una cantidad de calor de 0,238 calorías

Luego la cantidad de aire necesario para la evacuación del calor de una caloría tendremos :

$$w' = 1/0,238 = 4,2 \text{ gr de aire}$$

El volumen de aire necesario se obtendrá por consiguiente, dividiendo su peso por el-

peso específico, es decir el peso de un metro cúbico que para la misma temperatura el volumen de aire será :

$$V = \frac{1 \times T}{0,238 \times 342 \times p (T_c - T_a)} \quad (m^3)$$

Siendo $T_c - T_a$ diferencia de temperaturas.

Dado que una caloría equivale a 4,157 watt-seg, la cantidad de calor equivalente a un Kw-hr será :

$$\frac{1\ 000 \times 3\ 600}{4,157} = 866\ 000 \text{ calorías}$$

Finalmente tenemos que el volumen de aire para evacuar el calor correspondiente a un Kw-hr será :

$$V_0 = \frac{10^{-3} \times 866\ 000 \times T}{0,238 (T_c - T_a) 342 \times p} \quad \frac{m^3}{Kw-hr}$$

Los valores respectivos son :

$$T_c = 45^{\circ}C \quad ; \quad T_a = 30^{\circ}C$$

p = Presión atmosférica = 1 atm a nivel del mar.

T = Temperatura del Transformador.

$$45^{\circ}C + 273 = 318^{\circ}K$$

Reemplazando valores tenemos :

$$V_0 = \frac{10^{-3} \times 866\ 000 \times 318}{0,238 \times 15 \times 342 \times 1} \quad (m^3/Kw-hr)$$

$$V_0 = 225,4 \text{ m}^3/\text{Kw-hr}$$

Para disipar la cantidad de 18,4 Kw será :

$$\dot{V}_1 = 225,4 \text{ m}^3/\text{Kw-hr} \times 18,4 \text{ Kw}$$

$$\dot{V}_1 = 4\,147,36 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Expresándolo en segundos será:

$$\dot{V}_1 = \frac{4\,147,36 \text{ m}^3/\text{hr}}{3\,600 \text{ s/hr}} = 1,152 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego se necesitará un caudal de 1,152 m³/s para disipar el calor por pérdidas y sobrecargas en el transformador.

3.3.3 Caudal de Aire de Ingreso

Suponiendo que el flujo de aire es continuo, la cantidad de aire de 1,152 m³/s determinado corresponde al caudal de aire de ingreso, a una temperatura máxima de 30⁰C.

3.3.4 Caudal de Aire de Salida

Los parámetros serán los mismos que para el aire de ingreso, con la Temperatura del aire de salida será mayor que el correspondiente al ingreso. La temperatura del aire de salida puede considerarse como el promedio de la temperatura del aire de ingreso y el correspondiente al transformador.

O sea :

$$t_m = \frac{45^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}}{2} = 37,5^{\circ}\text{C}$$

Considerando al aire como un gas real y aplicando la fórmula de Gay-Lissac y Boyle - Mariotte tendremos:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{t + 273}{t_m + 273}$$

Siendo \dot{V}_1 ; \dot{V}_2 flujos de aire m^3/s

t = temperatura de aire al ingreso

t_m = temperatura de aire de salida

Luego tenemos :

$$\dot{V}_2 = \frac{1,152 (273 + 37,5)}{(273 + 30)}$$

De donde :

$$\dot{V}_2 = \frac{1,152 (273 + 37,5)}{(273 + 30)} = 1,181 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.2 Pérdidas de Presión por Frotamiento

El aire a través de su paso por el transformador - sufre un conjunto de pérdidas, tanto por la configuración de los ductos de aire de ingreso y salida así como en el mismo transformador.

3.4.1. Pérdidas de Presión en la Malla de Ingreso

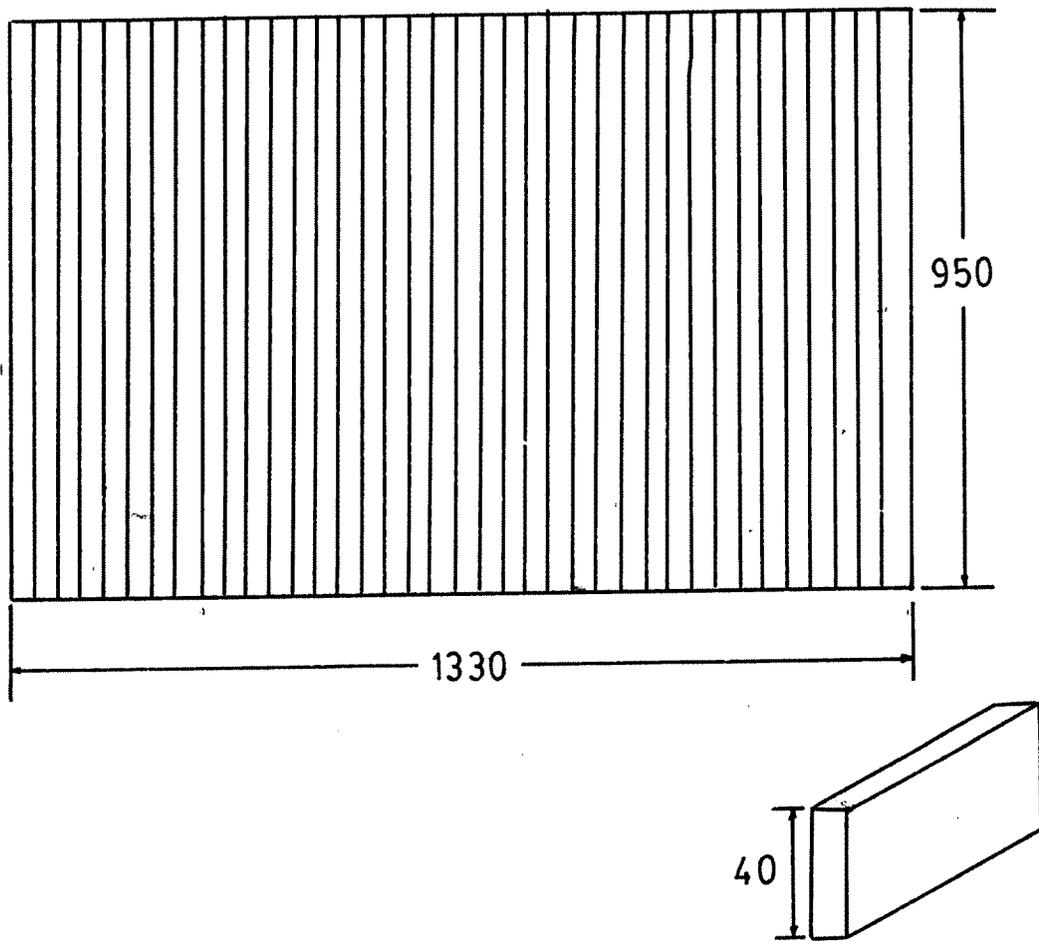


FIG. 3.2 DIMENSIONES DE LA REJILLA DEL CONDUCTO DE ENTRADA DE AIRE

Para determinar las pérdidas del paso del aire a su paso por las rejillas, estableceremos las dimensiones de estas rejillas así como la velocidad del aire a su paso por este.

De acuerdo a las medidas establecidas por ElectroLima, para la instalación de rejillas para subestaciones, asumimos que estas serán de forma rectangular cuyas medidas serán tales que la velocidad del aire sea menor a 1,2 m/s.

Tomando $V_{1a} = 1,0$ m/s

Luego la sección de paso del aire será:

$$A_a = \frac{\dot{V}_1}{V_{1a}} = \frac{1,152 \text{ m}^3/\text{s}}{1,00 \text{ m/s}} = 1,152 \text{ m}^2$$

La sección total será entonces:

$$A_{at} = 1,152 \text{ m}^2 / 0,75 = 1,53 \text{ m}^2$$

Donde 0,75 es el coeficiente de reducción de area por presencia de rejillas.

Estableciendo la sección de forma rectangular tendremos las siguientes medidas :

Longitud : 1 330 mm

Ancho : 950 mm

La ecuación general de las pérdidas de pre-

sión al paso del aire está dado por la forma :

$$H_f = \frac{v_{1a}^2}{2 \times g_0 (1 + t)} (1 + R + \theta)$$

Donde :

V_{1a} = Velocidad del aire = 1 m/s

t = Temperatura máxima ambiental = 30°C

α = 0,0037 1/°C = Coeficiente de expansión-Térmica del aire a 30°C (Ver Apéndice-Tabla A.1)

g_0 = Gravedad terrestre = 9,81 m/s²

R = Está en función del perímetro y la sección, es decir :

$$P_{em}/A_m = \frac{2 \times 1,330 + 2 \times 0,950}{1,008 \text{ m}^2}$$

$$P_{em}/A_m = 4,56$$

Siendo:

P_{em} = Perímetro de la malla

A_m = Sección neta de la malla

Del Gráfico 3.1 tenemos el valor de "R" en función de " L_r " o longitud.

Como la longitud de la malla es igual a su espesor, la relación R/L_r para un parámetro de 456 cm tenemos aproximadamente :

$$R/L_r = 0,04 \text{ . para } L_r = \text{espesor de rejilla}$$

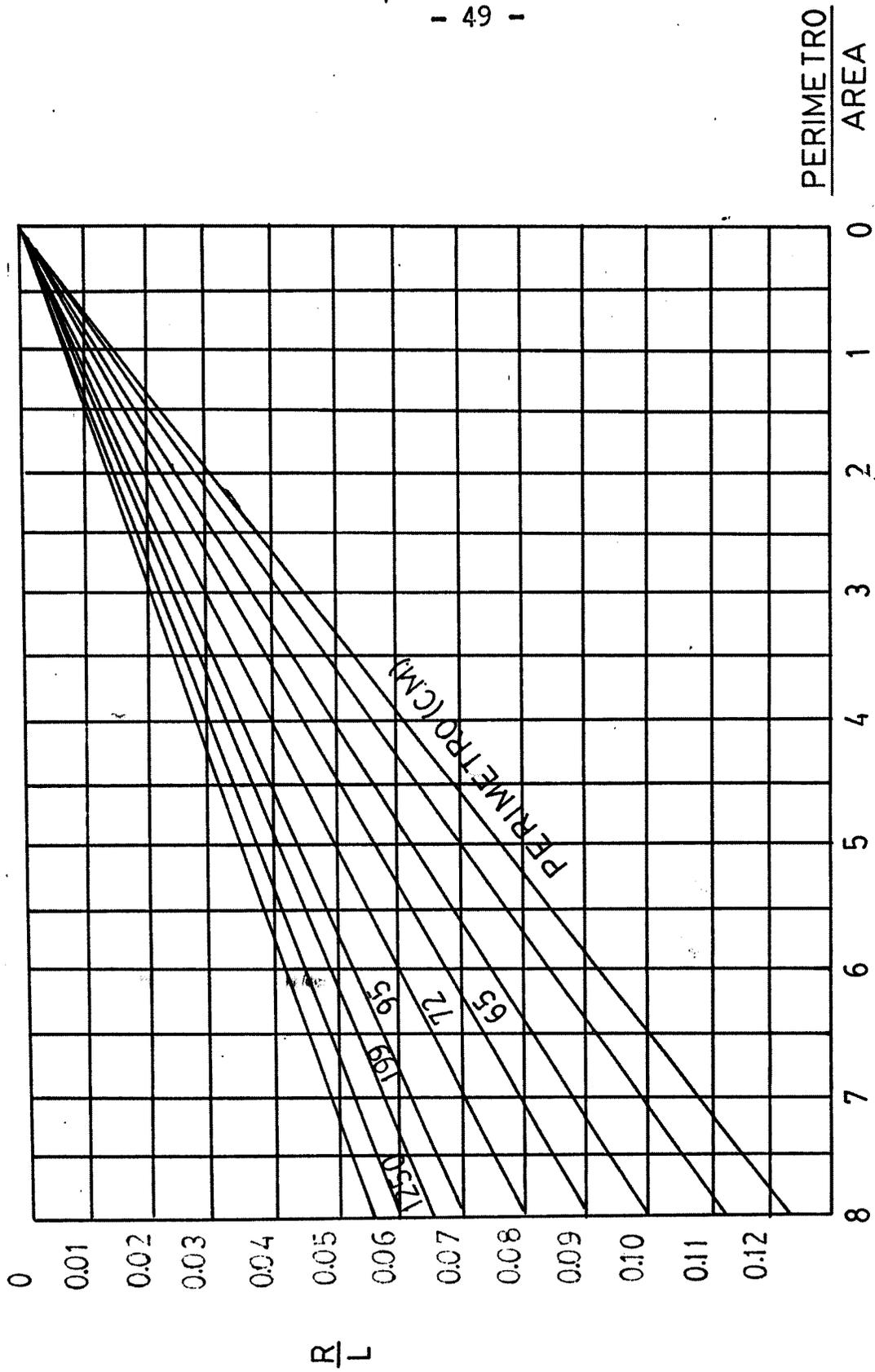


GRAFICO 3.1 GRAFICO PARA DETERMINAR LAS RESISTENCIAS POR FROTAMIENTO EN LOS CONDUCTOS DE CIRCULACION DE AIRE PARA LA VENTILACION

$$L_r = 0.04 \text{ m}$$

$$R = 0,04 \times 0,04 = 0,0016$$

El valor de θ depende de los diversos tipos de mallas y cuyos valores son :

TABLA 3.1

Ancho de malla (mm)	Espesor	Valor de θ
10 - 20	1,2 mm	1,0
20 - 30	1,9 mm	0,75
30 a mas	2,8 mm	0,5

De esta tabla tomamos para valor de θ el correspondiente a 0,5

Reemplazando valores tenemos :

$$H_f = \frac{(1)^2 \times (1 + 0,0016 + 0,5)}{2 \times 9,81 (1 + 0,00367 \times 30)}$$

$$H_f = 0,0690 \text{ m col aire}$$

3.4.2 Pérdida de Presión en el Ducto de Ingreso

El canal de ingreso tiene las siguientes medidas seccionales :

Lado mayor : 1 330 mm

Lado menor : 950 mm

Con lo cual la sección del canal será de :

$$1,33 \times 0,9 = 1,263 \text{ m}^2$$

Que representa la sección recta del canal - considerando el caudal necesario de 1,152 - m^3/s , la velocidad del aire de ingreso será:

$$V_{1a} = \frac{1,152}{1,2635} = 0,9 \text{ m/s}$$

Luego las pérdidas por fricción en el ducto de entrada se determina por la fórmula :

$$H_{f1} = \frac{V_{1a}^2 \times (1 + R)}{2 \times g_0 \times (1 + t)} = h_0 \times (1 + R)$$

Donde :

V_{1a} = Velocidad del aire (m/s)

h_0 = Altura Dinámica (m)

t = Temperatura ambiental : 30°C

α = $0,00367 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ = Coeficiente de Expansión Térmica (Ver Apéndice-Tabla A.1)

g_0 = Gravedad Terrestre = $9,81 \text{ m/s}^2$

Del Gráfico 3.1, tenemos el valor de " R " - por unidad de longitud del canal en función de P_e y S, el cual para valores de $P_e/S=3,61$ y un perímetro de 456 cm se tiene $R/L_d=0,032$ con lo cual el valor de R será :

$$\begin{aligned} R &= 0,032 \times L_d \\ &= 0,032 \times 4,5 = 0,144 \end{aligned}$$

Reemplazando estos valores tenemos:

$$H_{f1} = \frac{(0,9)^2}{2 \times 9,81 (1 + 0,00366 \times 30)} (1 + 0,144)$$

$$H_{f1} = 0,0425 \text{ m col aire}$$

3.4.3 Pérdida de Presión en el Filtro de Aire

La instalación del filtro tiene como finalidad de retener el polvo contenido en el aire de ingreso, de manera que el transformador permanezca libre de la polución.

Considerando el mismo criterio anterior o sea utilizando la misma ecuación de la altura dinámica del aire tendremos :

$$H_{f2} = \frac{v_{2a}^2}{2 \times g (1 + t_1)} (1 + \theta)$$

Donde :

v_{2a} = Velocidad de paso del aire a través del filtro (m/s)

t_1 = Temperatura del aire = 30^0C

θ = Coeficiente que depende de la fricción al paso del aire por el filtro como no tenemos valores de " θ ", asumimos un valor de $\theta = 1,0$

Las dimensiones serán tales que el perímetro sea el mismo que el ducto de entrada se debe mencionar que la sección neta del filtro que corresponde al paso del aire se-

ve grandemente reducido por la presencia -
misma del filtro. En efecto, para filtros-
metálicos se considera una reducción del -
40% de area (Texto: Zoopetti Judez G. -
pag. 528), con lo cual el área neta será :

$$A_n = 0,6 \times 1,2635 \text{ m}^2$$
$$A_n = 0,758 \text{ m}^2$$

Luego la velocidad del aire a su paso por -
el filtro será de :

$$V_{2a} = \frac{1,152 \text{ m}^3/\text{s}}{0,758 \text{ m}^2} = 1,52 \text{ m/s}$$

Luego reemplazando valores tenemos :

$$H_{f2} = \frac{(1,52)^2}{2 \times 9,81 (1 + 0,00367 \times 30)} (1+1)$$

$$H_{f2} = 0,212 \text{ m col aire}$$

Entonces las pérdidas totales al ingreso -
del aire serán :

- Pérdida en la malla o rejilla: 0,0690 m
- Pérdida en el conducto : 0,0425 m
- Pérdida en el filtro de aire : 0,212 m

Total : 0,323

3.4.4 Pérdida de Presión en el Transformador

3.4.5 Pérdida de presión al salir el aire del Transformador

La pérdida de presión en este caso depende de las características geométricas de la chimenea o tiro. En subestaciones subterráneas el tiro generalmente de forma rectangular, cuya sección estableceremos por lo menos 1,5 veces la sección del correspondiente a la entrada.

Asumiremos una sección de 1,5 veces el área de entrada, de manera que facilite la salida del aire, tenemos :

$$\begin{aligned} \text{Sección del área de salida: } & 1,5 \times 1,2635 \\ & = 1,895 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Las medidas correspondientes serán entonces:

Largo : 1 600 mm

Ancho : 1 180 mm

La temperatura del aire de salida será de $37,5^{\circ}\text{C}$ y el caudal de aire caliente será de $1,181 \text{ m}^3/\text{s}$. Luego la velocidad promedio de salida del aire caliente será :

$$V_{4a} = \frac{1,181 \text{ m}^3/\text{s}}{1,895 \text{ m}^2} = 0,62 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación general tenemos :

$$H_{f4} = \frac{(V_{4a})^2}{2 \times g (1 + t_m)} (1 + R) m$$

El valor del coeficiente de fricción por frotamiento será prácticamente el mismo que el correspondiente al ingreso, puesto que también se instalarán ducto de salida y mallas. Luego tendremos :

$$R/L_d = 0,04$$

Para $L_d = 1,5$ m (Plano 5.3) Tenemos :

$$R = 0,04 \times 1,5 = 0,06$$

Para la malla de salida consideraremos el mismo valor anterior o sea : 0,0690

Finalmente obtenemos :

$$H_{f4} = \frac{(0,62)^2 (1 + 0,06)}{2 \times 9,81 (1 + 0,00366 \times 37,5)} + 0,069$$

$$H_{f4} = 0,0183 + 0,0690 = 0,0873 \text{ m}$$

Las pérdidas totales del aire a su paso por la cabina de transformación serán iguales a la suma de las pérdidas en cada uno de los casos :

Pérdidas totales :

- Conducto de entrada	: 0,323	m
- En el Transformador	: 0,00075	m
- En el Conducto de salida	: 0,0873	m

Total : P_1 : 0,411 m

3.5 Cálculo de la Fuerza Ascensional del Aire

El aire de enfriamiento que ingresa a la cabina de transformación, eleva su temperatura por el contacto con la superficie del transformador.

La fuerza ascensional del aire se origina por la diferencia de presiones entre el aire caliente que es desplazado por el mas frio.

Puesto que la temperatura dentro de la cabina es variable según el contacto con la superficie caliente del transformador para determinar la fuerza ascensional, consideraremos una temperatura promedio entre el correspondiente al transformador (45 °C) y el aire (30°C).

O sea :

$$t_m = \frac{30 + 45}{2} = 37,5^{\circ}\text{C}$$

Luego las columnas de temperatura de 30°C a 37,5°C da origen a una presión ascensional, por la diferencia de temperaturas.

Dividiremos la cabina en 2 columnas: Columna 1 con una altura correspondiente a la neta del transformador; Columna 2 correspondiente a la altura por encima del transformador.

El valor Y_1 (altura del transformador) es de 1,28 m

El valor de Y_2 (altura por encima del transformador es de 2,38 m, luego tenemos las fuerzas siguientes

Columna 1

$$P'_1 = \frac{Y_1}{1 + t} - \frac{Y_1}{1 + t_m} \quad (\text{m})$$

Donde .

$t = 30^{\circ}\text{C}$ temperatura del aire ambiental

$t_m = 37,5^{\circ}\text{C}$ temperatura del aire en cabina

$Y_1 = 1,28$ m Altura neta del Transformador

Reemplazando :

$$P'_1 = \frac{1,28}{1 + 0,00366 \times 30} - \frac{1,28}{1 + 0,00366 \times 37,5}$$

$$P'_1 = 0,0278 \text{ m}$$

Columna 2

$$P'_2 = \frac{2,38}{1 + 0,00366 \times 30} - \frac{2,38}{1 + 0,00366 \times 37,5}$$

$$P'_2 = 2,145 - 2,093 = 0,052 \text{ m}$$

La fuerza total ascensional será :

$$P' = 0,0278 + 0,052 = 0,0798$$

$$F_2 = 0,0798 \text{ m col aire}$$

Para que el aire circule por la cabina de transformación será necesario que la fuerza ascensional

nal sea mayor que las pérdidas internas, o sea -
si :

F_1 = Resistencias internas que se oponen al paso-
del aire.

F_2 = Fuerza ascensional del aire

Luego es necesario que :

$$F_2 > F_1$$

En nuestro caso tenemos que las pérdidas son ma -
yores que la fuerza ascensional del aire, por lo -
prácticamente no circulará aire de ventilación na -
tural. Como vemos, el filtro de aire a instalarse -
es el que mas origina pérdidas.

Por esta razón será necesario establecer un siste -
ma de ventilación forzada, cuya capacidad sea tal -
que venza las pérdidas internas.

3.6 Adecuación del Sistema Requerido en la Ventilación

En efecto, al establecer que las pérdidas son ma -
yores que la fuerza ascensional del aire, la cir -
culación natural será imposible, por lo que será -
necesario efectuar un sistema de ventilación for -
zada, para lo cual se utilizará un equipo venti -
lador.

Datos necesarios para determinar la potencia del -
ventilador :

- Caudal de aire requerido : $1,152 \text{ m}^3/\text{s}$

- Velocidad del aire de ingreso : 0,9 m/s
- Temperatura del aire de ingreso : 30⁰C
- Presión del Ventilador : La presión que debe tener el ventilador debe ser como mínimo la diferencia entre las pérdidas y la fuerza as -
censional del aire.

Es decir :

$$\begin{aligned} \text{Presión del ventilador} &= F_1 - F_2 \\ &= 0,4110 - 0,0798 \\ &= 0,3312 \text{ m col aire} \end{aligned}$$

Que debe ser la presión mínima en el ventilador para vencer las resistencias internas en la cabina de subestación.

El tipo de ventilador mas aconsejable es el ventilador centrífugo, tipo axial.

A efectos de que las pérdidas por fricciones aumentan por el mismo ensuciamiento sobre todo del filtro, consideramos una presión adicional del 40% sobre la establecida.

O sea :

$$F_2 - F_1 = 1,4 \times 0,3312 = 0,46 \text{ m}$$

La potencia del ventilador centrífugo tipo axial se determina mediante la fórmula :

$$P = \frac{\dot{V}_1 \times w \times H}{\eta_{vc}}$$

Donde :

\dot{V}_1 = Caudal de aire : $1,152 \text{ m}^3/\text{s}$

w = Peso específico del aire a 20°C y 730 mm Hg -.

El peso específico es de $1,25 \text{ Kg}/\text{m}^3$

H = Presión total en el ventilador : $0,46 \text{ m col-}$
aire

η_{vc} = Rendimiento del ventilador. En nuestro caso -
para un ventilador centrífugo varía entre -
25% y 40%

Reemplazando valores tenemos que para un rendimien-
to promedio de 30% :

$$P = \frac{1,152 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,25 \times 0,46}{0,40} = 1,66 \text{ C.V.}$$

Luego la potencia requerida en el ventilador será
de 1,68 C.V. Entonces se seleccionará un ventila-
dor del tipo centrífugo, flujo axial, cuyas ca-
racterísticas son :

- Ventilador de Flujo axial, tipo centrífugo
- Potencia : 1,75 HP (Motor)
- Velocidad: 650 RPM
- Caudal : $90 \text{ m}^3/\text{min} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro del ventilador : 0,84 m
- Sección recta : $0,605 \text{ m}^2$

CAPITULO 4

DISEÑO DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE

El objetivo del filtro de aire en aceite es el disminuir la frecuencia de los mantenimientos de las subestaciones, motivado por la polución, producto de un ambiente sucio.

El problema de la polución (por tierra o polvos industriales) afecta a todas las subestaciones convencionales distribuidas en las redes de media tensión en la zona de Lima, principalmente en las zonas periféricas donde la principal fuente de suciedad, consideramos a las emanaciones de polvos que los vehículos motorizados producen al ambiente semiabierto de la subestación en cantidades que sobrepasan los límites normales.

Como consecuencia de esto, la dependencia encargada de los mantenimientos y limpieza de las subestaciones como de las instalaciones eléctricas, tienen que desarrollarse con mayor frecuencia, incrementando los costos por este concepto. Generalmente estos mantenimien-

tos son llevados a cabo por ElectroLima o empresas autorizadas. De acuerdo al grado de polución, que indicamos en el cuadro siguiente, podemos clasificar a las zonas en limpias, sucias y muy sucias, y la frecuencia de mantenimientos establecidos según los trabajos llevados a cabo por ElectroLima.

TABLA 4.1

SUBESTACIONES CONVENCIONALES		
CANTIDAD	FRECUENCIA DE LIMPIEZA (N ⁰ DE LIMPIEZAS/AÑO)	ZONAS DE UBICACIÓN
350	9	MUY SUCIAS
390	6	SUCIAS
460	4	LIMPIAS

4.1 Ventajas de Instalación del Filtro del Aire en Aceite

Los beneficios y ventajas que se pretenden obtener con la instalación del filtro de aire impregnados en aceite son:

- 1.- Simplificación de mantenimiento en subestaciones convencionales, utilizando filtros de aire en aceite se bloquea el ingreso del polvo y otras partículas a la subestación, reduciendo por ello el grado de polución en esta.

Como consecuencia de ello se reducen los cos-

tos de mantenimiento y limpieza, por cuanto se prolongará los tiempos programados para la limpieza. La frecuencia de mantenimiento con la instalación de filtros se especifica en la TABLA 4.2, según experiencias realizadas por ElectroLima.

TABLA 4.2

ZONAS DE UBICACION DE LAS SUBESTACIONES CONVENCIONALES	FRECUENCIA DE LIMPIEZA (N ⁰ / AÑO)	
	SIN/FILTROS	CON/FIL.
MUY SUCIAS	9	1,5
SUCIAS	6	1,0
LIMPIAS	4	0,66

Como vemos del cuadro superior, considerando a las zonas periféricas de Lima como zonas muy sucias, tenemos que la frecuencia de mantenimiento se reducirá de 9 veces por año (Para SS. CC. sin filtros) a 1,5 veces (0 cada 9 meses por año) para instalaciones con filtro.

2.- Disminución de descargas superficiales en el lado de media tensión (10 KV). Las descargas superficiales en las barras de media tensión en las subestaciones de 10/0,22 KV instaladas en Lima, se producen por un efecto combinado de la polución y la elevada hume -

dad relativa existente en Lima que trae consigo descargas por dichas barras hacia tierra con la consiguiente disminución de la potencia de suministro.

El filtro de aire reduce esta acción combinada, obstruyendo el polvo y disminuyendo la intensidad de polución dentro de la subestación, especialmente sobre los aisladores de 10 KV.

- 3.- Reducción de los costos de mantenimiento de limpieza en subestaciones convencionales; la utilización de filtros de aire puede eliminar anualmente el 80% de los trabajos de mantenimiento y limpieza, que sin usarlos, representaría un menor empleo de mano de obra (Horas Hombre) y por lo tanto los costos de mantenimiento en dichas subestaciones disminuye considerablemente .
- 4.- Disminución de los riesgos de accidentes por contacto con el transformador; puede ocurrir que con abundante humedad y gran polución, la cantidad de descargas se incrementan, representando por ello un peligro para el personal.

4.2 Descripción del Filtro de Aire en Aceite

El filtro de aire impregnado en aceite está constituido principalmente de las siguientes partes :

- a) Marcos principales de acero estructural o fierro galvanizado en forma de ángulo cuyas medidas son de 1" x 1" x 1/8". Los marcos principales que son de forma rectangular determinan la robustez del ensamblado del filtro.
- b) Bandejas que en un número de 38 son los recipientes del aceite. El cuerpo de las bandejas está conformada de planchas de fierro galvanizado y unidos al marco principal mediante pernos de fijación (Ver plano de ensamble).
- c) Filtros propiamente dicho que está constituido de malla fina (malla 60 y 100), el cual se impregna en aceite de manera que se mantenga húmedo en todo instante. Como las mallas son de tejido fino, al contacto con el aceite se vuelve higroscópico (absorvedor de humedad). Dichas mallas estarán formadas por fibras de acero.
- d) Bastones de seguridad que contienen a las bandejas y son también de ángulo 2/4" x 3/4" x 1/8".
- e) Pernos de sujeción de los filtros con los marcos principales.
- f) Aceite; derivado del petroleo grado 30 o 40 para la impregnación de los filtros. No necesariamente debe usarse aceite nuevo, sino tam-

bién puede usarse aceite usado por los vehículos motorizados, ahorrando por lo tanto costos por esta adquisición.

La disposición del filtro en el conducto de ingreso de aire será de forma transversal a este y su montaje a los marcos fijos será mediante pernos de fijación de manera que pueda ser fácilmente desmontado cuantas veces se requiera cuando se limpie o se cambie de aceite.

4.3 Características Constructivas

Las características constructivas del filtro en aceite son :

- a) El cuerpo de las bandejas está conformado por planchas de fierro galvanizado y están unidos a marcos principales e intermedios por medio de pernos de fijación.
- b) Filtros propiamente dichos; el cual está constituido por malla fina (Cedazo de malla 60 y 100) el cual se impregna en aceite en todo su area de manera que se mantenga así en todo instante. Las mallas finas en contacto con el aceite se vuelve higroscópico (absorvedor de humedad) y estarán constituidas por material de acero.
- c) Bastones de seguridad, los cuales están formados por perfiles angulares de 1" x 1" x 1/8" -

de fierro galvanizado y contienen a las bandejas de acero.

- d) Pernos de sujeción de las bandejas y los bastones de seguridad, así como pernos de fijación entre los marcos principales y los marcos finos en el ducto de entrada.
- e) Aceite; derivado del petróleo grado 30 o 40 para la impregnación de los filtros. Puede emplearse aceite utilizado por los vehículos motorizados sin problema alguno, ahorrando por lo tanto divisas por adquisición de aceite.
- f) La disposición del filtro en general en el conducto de ingreso de aire será en forma transversal a este, pudiéndose fácilmente montar o desmontar a los marcos fijos mediante pernos de fijación, cuantas veces se requiera para su limpieza y cambio de aceite.

4.4 Ventajas Constructivas

- Son completamente desarmables, facilitando el montaje y desmontaje de piezas o repuestos de acuerdo a los requerimientos del mantenimiento (Mantención).
- Su construcción tanto de los marcos principales como los bastones de seguridad y las bandejas contenedoras de aceite son de fierro galvanizado que es un material abundante en el mercado de fá

cil adquisición, así como altamente resistente-resistente a la corrosión por efecto de la humedad ambiental.

- El tamaño de los cedazos, con malla 60 y 100 - permite la retención fácil del polvo y otras - partículas pequeñas flotantes en el ambiente impregnandose en el aceite existente.

- Admite el empleo de aceite semiquemado proveniente de la combustión de los motores (Grado 30 - o 40), reteniendo el polvo ambiental sin problema alguno y economizando divisas por adquisición de este producto.

- El ensamble del filtro en general, así como las-disposiciones de las bandejas permite que la limpieza y el cambio de aceite de las bandejas se - realice sin necesidad de desmontar despiezar - las bandejas y los filtros, así como puede soportar la presión de una corriente de aire de limppieza.

- Las disposiciones y dimensionamiento del filtro en general y despieze se detallan en el plano de ensamble correspondiente.

Para lograr un adecuado funcionamiento del filtro de aire instalado para subestaciones subterráneas sujetas a intensidades de polución variable y de - acuerdo a numerosas experiencias llevadas a cabo -

por empresas destinadas al mantenimiento de SS. -
CC. en países como Brasil y España, recomiendan -
tener en cuenta las siguientes consideraciones -
tanto en los niveles de aceite en la cuba, como -
la renovación de este.

TABLA 4.3

ZONAS DE UBICACION DE LA SUBESTACION	NIVEL DE ACEITE DE LAS BANDEJAS	RENOVACION DEL ACEITE (MESES)
MUY SUCIAS	20 mm	6
POCO SUCIAS	15 mm	10
LIMPIAS	10 mm	18

Luego si comparamos con las tablas anteriores -
vemos que el uso del filtro de aire y su consi -
guiente costo de mantenimiento por limpieza y cam -
bio de ^{el aceite} aceite es muy reducido (2 veces por año -
en el casos de zonas muy sucias) con el consi -
guiente ahorro por estos conceptos.

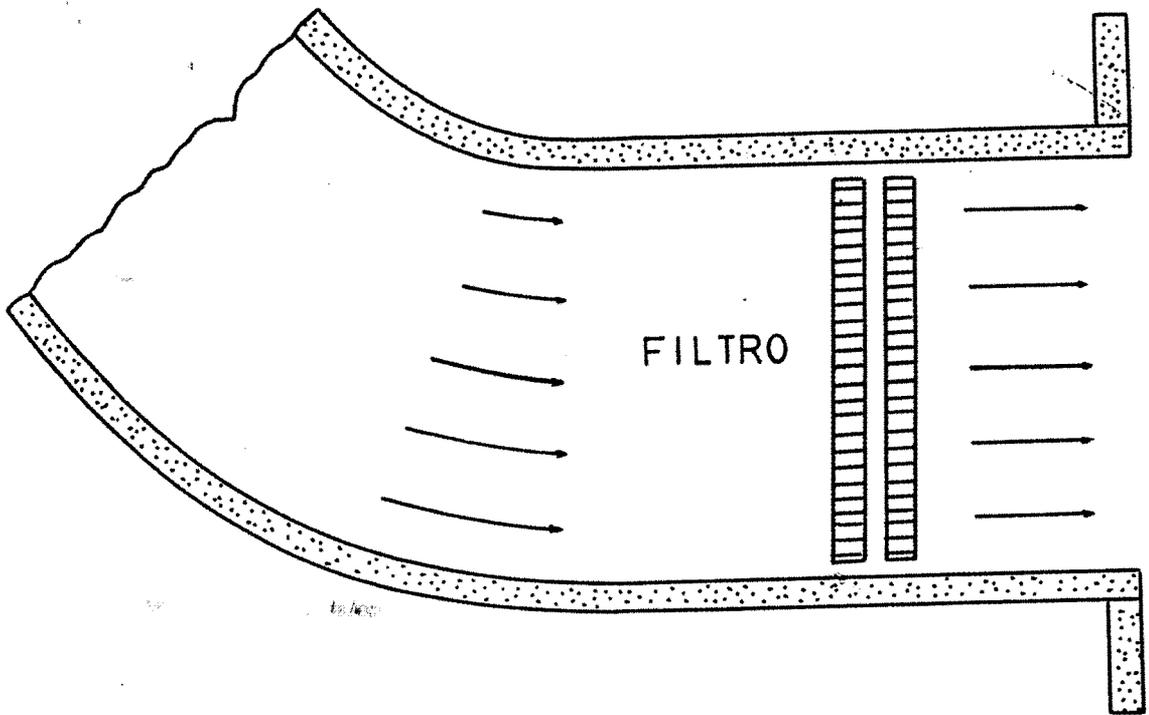


FIG.4.1 DISPOSICION DEL FILTRO EN EL DUCTO DE INGRESO DE AIRE

CAPITULO 5

ESPECIFICACIONES TECNICAS Y DE MONTAJE

5.1 Cabina de Transformación

La cabina subterránea para las subestaciones convencionales, tiene las siguientes medidas determinadas anteriormente :

Altura	:	3,86	m
Longitud	:	3,80	m
Ancho	:	2,36	m

El cual representa un volumen aproximado de 34 m³ (sin incluir los conductos de entrada y salida) - que puede considerarse suficiente para realizar la transferencia de calor por refrigeración para un transformador de 640 KVA.

La cabina de transformación está constituido específicamente por :

5.1.1 Edificio Propiamente Dicho

El edificio propiamente dicho en donde se -

albergará a la subestación tiene las paredes constituidas de ladrillo corriente, macizo y revestimiento interno de concreto y arena fina, de manera que ofrezcan la menor resistencia del paso del aire de circulación. A fin de proteger a la subestación de derrumbe ocasionado por posibles movimientos sísmicos así como por cargas externas, el edificio será construido por columnas en los extremos, que a la vez puede soportar presiones laterales del terreno.

Las paredes de la cabina por tanto estarán constituidos por ladrillo macizo, corriente de 0,21 m x 0,155 m., cuya resistencia según ASA 310 a la compresión es de 140 Ton/m^2 (14 Kg/cm^2).

Cálculo de las Columnas

Las columnas serán de concreto armado con vigas de construcción de 1/2" \emptyset que ayudará a la consistencia y rigidez de las columnas.

Cargas Actuantes

Dado que las cabinas subterráneas, se construyen preferentemente en las aceras o esquinas, ocasionalmente pueden soportar cargas pesadas, como puede ser un vehículo pesado, con

sideraremos una carga máxima de un vehículo pesado, es decir 40 Ton (Recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, Sección Automotriz), con lo cual tendremos :

- Cargas actuantes : 40 Ton sobre el techo
- Número de columnas a utilizar : 4

De acuerdo a esto determinamos las cargas por columnas, la cual considerandolas distribuidas tendremos :

$$q = \frac{Q_T}{N_C} \times \alpha$$

q = Carga por columna (Ton)

Q_T = Carga total sobre el techo : 40 Ton

N_C = Número de columnas

α = Factor de carga variable para edificios pequeños a nivel 1,3 (30% Q)

Luego tendremos :

$$q = \frac{1,3 \times 40}{4} = 13 \text{ Ton}$$

Para columnas de concreto armado de 0,22 x 0,22 m² de sección (0,0484 m²), determinamos la presión de compresión :

$$f = \frac{13 \text{ Ton}}{0,0484 \text{ m}^2} = 268,8 \text{ Ton/m}^2$$

El esfuerzo máximo admisible para concreto armado es de 500 Ton/m^2 , por lo cual el coeficiente de seguridad por compresión será de :

$$m_1 = \frac{500 \text{ Ton/m}^2}{268,8 \text{ Ton/m}^2} = 1,86$$

De acuerdo a las tablas del Manual de construcciones " Construction Concrete Principles " el valor de $268,8 \text{ Ton/m}^2$ corresponde a una longitud libre de pandeos de $7,26 \text{ m}$, mientras que para la compresión (Capacidad) de 500 Ton/m^2 , la longitud libre a pandeo es de $5,10 \text{ m}$.

Cálculo del Techo

Para el cálculo del techo se considera una carga máxima establecida de 40 Ton , lo cual podemos ser capaces de evaluar la presión máxima :

$$p_a = \frac{Q}{A_{at}}$$

Donde :

$$Q = 40 \text{ Ton}$$

$$A_{at} = \text{Area del Techo}$$

$$A_{at} = b \times a \text{ (Dimensiones del Techo)}$$

$$b = \text{Longitud de la cabina : } 3,8 \text{ m}$$

$a_1 = \text{Ancho} : 2,36 \text{ m}$

Luego el área será :

$$A_{2t} = 3,8 \times 2,36 = 8,968 \text{ m}^2$$

La presión máxima actuante será de :

$$P_a = \frac{40 \text{ Ton}}{8,968 \text{ m}^2} = 4,46 \text{ Ton/m}^2$$

$$P_a = 0,446 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta carga actúa sobre el techo en forma vertical a esta, por lo cual estará sometido a un esfuerzo cortante y un momento de flexión máxima.

En el Plano 5.1 el valor "w" es la carga distribuida uniforme en todo el área del techo.

$$w' = 4,46 \text{ Ton/m}^2 \times 2,36 \text{ m}$$

$$w' = 10,52 \text{ Ton/m}$$

Donde el valor w' es la carga distribuida a todo lo ancho del techo.

El momento máximo a que estará sometido el techo será :

$$M = \frac{L^2}{24} (K \times w)$$

Donde :

L_v = Longitud de la viga = 3,8 m

w = Carga distribuida = 4,46 Ton/m²

M = Momento máximo resistente

K = 9,231 Constante para cargas estáti -
cas en vigas empotradas.

Reemplazando valores tenemos :

$$M = 0,3852 w \times L^2$$

$$M = 24\ 810 \text{ Kg-m}$$

El esfuerzo cortante máximo existente en -
el hormigón será :

$$\tau = \frac{w}{b_o \cdot Z}$$

Donde :

τ = Esfuerzo cortante máximo en el techo.

w = Carga distribuida por unidad de área.

b_o = Espesor o grueso del encofrado del te -
cho.

Z = Distancia del centro de gravedad a la -
armadura de los nervios = 0,42 b_o

Para :

$$w = 4,46 \text{ Ton/m}^2$$

$$b_o = 20 \text{ cm (0,2 m)}$$

Tenemos :

$$\tau = \frac{4,46}{0,20 \times 0,082} = 272 \text{ Ton/m}^2$$

$$= 27,2 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo máximo del concreto armado es de 35 Kg/cm^2 , que es mayor al valor determinado. El detalle de la forma de los nervios y el encofrado se aprecia en el plano detalle correspondiente.

Piso o Cimentación

El piso de la cabina también será de concreto armado y hormigón, capacitado para soportar el peso de la subestación y de constitución semiacabado.

Base del Transformador

Deberá construirse una base sobre el piso en donde se instalará el transformador, de manera que el aire de refrigeración ingrese también por la parte inferior.

La base estará hecho de Concreto y hormigón armado, cuyos detalles se especifican en el plano detalle.

5.2 Conductos de Ingreso de Aire

El conducto de ingreso de aire de refrigeración está a su vez comprendido por la rejilla al ingreso del aire y el conducto propiamente dicho.

5.2.1 Rejillas

Tienen por finalidad evitar el ingreso a la cabina e impedir que elementos extraños dañen a el transformador así como evitar la caída de personas a su paso.

Materialmente estará constituido de cartelas rectangulares de fierro, cuyas dimensiones son :

- Longitud : 970 mm
- Ancho : 40 mm
- Espesor : 3 mm

El espaciamiento entre cartelas es de 10 mm cuya instalación se detalla en el plano siguiente.

5.2.2 Conducto de Ingreso

El conducto de ingreso tiene una sección de entrada de $1,2635 \text{ m}^2$, con un perímetro de $2 \times 1,33 + 2 \times 0,95 = 4,56 \text{ m}$ y una longitud media de $4,50 \text{ m}$.

La sección rectangular del conducto en la entrada se va reduciendo en su dimensión hasta alcanzar valores en el filtro de :

Longitud en el filtro : 1,064 m

Ancho : 920 mm

Existiendo por lo tanto una reducción del-

16% en su área.

El conducto de entrada está constituido - por ladrillo corriente reforzado con fie - rros de construcción a fin de impedir su res - quebrajamiento.

El desarrollo del conducto de ingreso per - mitirá adquirir una configuración de manera - que permita las menores pérdidas posibles a - su paso del aire por el conducto. Las pare - des internas así mismo estarán revestidas li - samente que permite menores pérdidas.

Considerando la reducción de orificios de - entrada en forma uniforme, la reducción uni - taria será :

$$\operatorname{Tg} \theta_1 = \frac{1\ 330 - 1\ 064}{2 \times 4\ 500} = 0,0295$$

$$\theta_1 = 1^{\circ} 35'$$

$$\operatorname{Tg} \theta_2 = \frac{950 - 920}{2 \times 4\ 500} = 0,0089$$

$$\theta_2 = 30' 30'' \quad (\text{ángulo de reducción})$$

La reducción uniforme en su perímetro será - en porcentaje el 0,89%, o sea una reducción - de 1,8 cm por metro de longitud del conducto.

Las dimensiones del conducto en el lado del - filtro son suficientes para el acceso del -

personal hacia el ducto y hacer las correspondientes reparaciones o limpiezas.

5.3 Filtro de Aire Impregnado en Aceite

El filtro de aire está constituido por dos partes principales :

- Bastidor fijo
- Filtro propiamente dicho

a) El bastidor fijo esta constituido de perriles-angulares de fierro galvanizado de 2 x 1 1/8 - los cuales se empotrarán en las paredes del conducto de ingreso de aire. El ensamble de los ángulos que conforma el bastidor fijo será mediante la unión por soldadura a tope. De acuerdo a lo que especifica en el Plano 5.

b) Filtro Propiamente Dicho

El filtro propiamente dicho que tiene la forma rectangular (Plano 3) está constituido por:

- Angulos de F⁰G⁰ de 2 x 1 x 1/8 formando el marco principal.
- Tees intermedias formando el refuerzo central de F⁰G⁰ de 2 x 1 1/2 x 1/8.
- Bandejas receptoras del aceite. Están formando un conjunto de planchas de fierro galva -

nizado de 1/16" de espesor cuya capacidad de contención de aceite es de 960 cm^3 (0,46 lit) que representa aproximadamente el 30% del volumen neto de cada bandeja. (Ver Plano 5.6)

Las bandejas serán fácilmente desmontadas, puesto que solamente estarán insertadas en el filtro mediante correderas o guidores y sujetadas en sus extremos de manera que pueden quedar fijos una vez instalados.

El filtro ensamblado puede fácilmente ser instalado y desmontado cuantas veces se requiera en su mantenimiento y limpieza, puesto que estará unido al bastidor fijo mediante pernos y abrazaderas sujetadoras.

Adaptación del Ventilador en el Conducto de Ingreso

Como se menciono en el Capítulo 3, la función del ventilador es el introducir aire en forma forzada a la cabina de la subestación.

Las características del ventilador seleccionado son :

- Potencia	: 1,75 HP
- Velocidad	: 650 RPM
- Caudal o flujo	: $90 \text{ m}^3/\text{min}$

- Diámetro del Ventilador : 840 mm

Luego existirá una sección en el conducto en forma circular para dar cabida al ventilador y su correspondiente carcasa.

5.4 Conducto de Salida

El conducto de salida cuya sección asumida es de $1,895 \text{ m}^2$, cuyas dimensiones serán :

Longitud : 1 380 mm

Ancho : 1 380 mm

Representando aproximadamente un 50% de la sección mayor del conducto de entrada. A fin de evitar pérdidas por fricción del aire a su paso por este conducto la longitud debe ser menor con respecto al de entrada.

La sección en este caso será uniforme y de forma rectangular. Similar al conducto de entrada también estará constituido por el conducto propiamente dicho y la rejilla.

Rejilla

Al igual que en el conducto de ingreso, su finalidad será evitar el ingreso de materias extrañas y protección del personal. Está constituido de cartelas rectangulares de fierro de dimensiones :

- Longitud : 1 377 mm

- Ancho : 40 mm

- Espesor : 3,0 mm

Material

Tanto las rejillas de ingreso de aire como el conducto de salida estarán constituidos por varillas rectangulares de 40 mm de ancho por 3mm (1/8") de espesor, con material : Acero Comercial A-36, resistentes al impacto, flexión respectivamente.

El espaciamiento entre rejillas será de 10 mm, suficiente para no permitir el ingreso de partículas y materias grandes que puedan obstruir los conductos.

Acceso a la Cabina

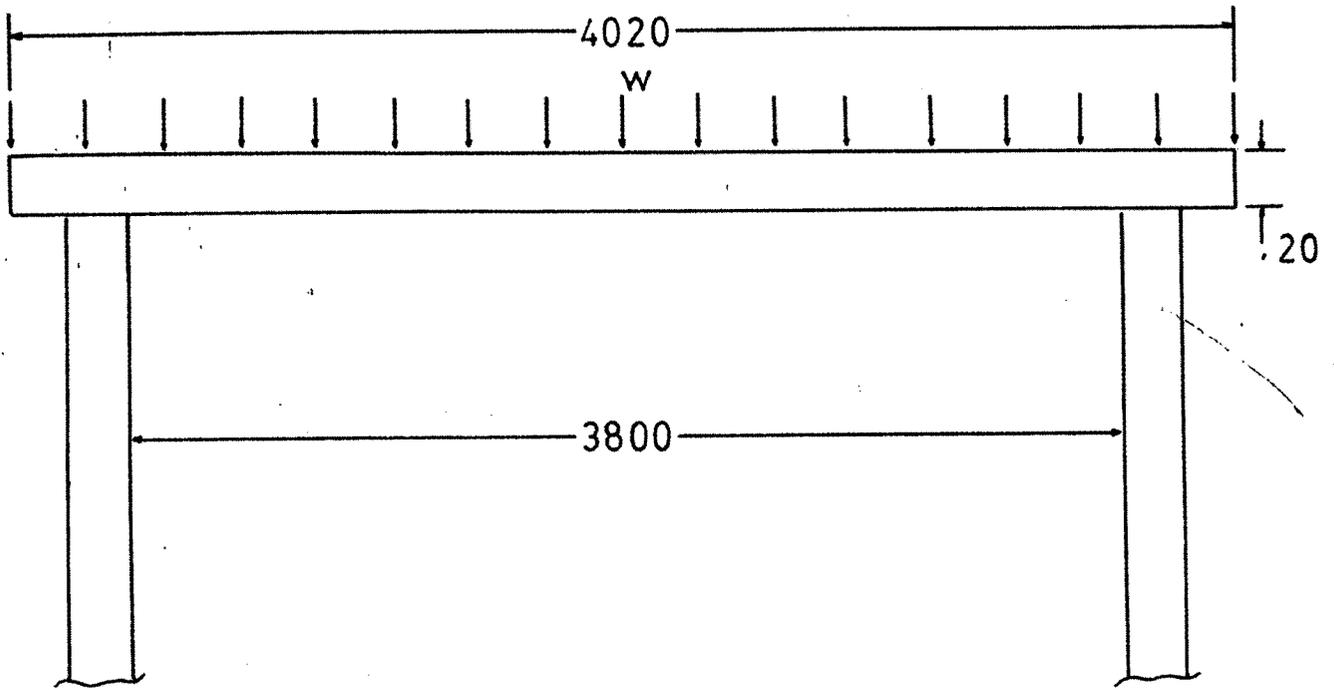
Según se detalla en el Plano 5.10 el acceso a la cabina del personal encargado del mantenimiento e inspección de la subestación, será por la parte superior o techo, con escalera de gato y ubicación tal que no interfiera las operaciones y maniobras en dichas subestaciones.

Tanto el acceso mismo en el techo, como la escalera será de dimensiones reducidas siendo el primero removible a manera de tapa, con dimensiones de 630 mm x 500 mm necesarios para el ingreso del personal y constituido por material de concreto, mientras que la escalera de gato, tipo vertical es-

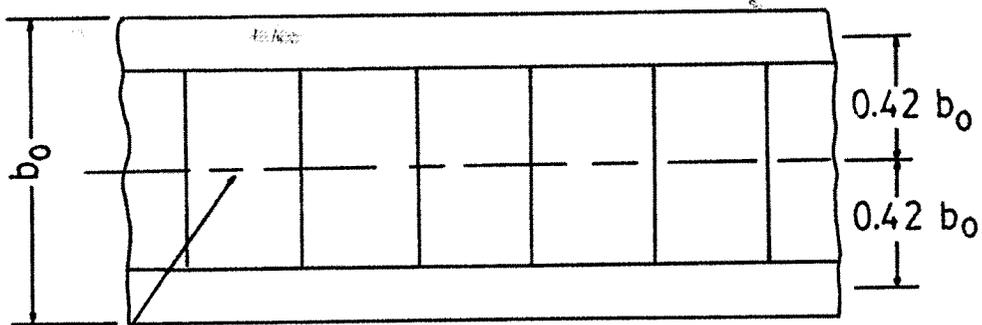
tará constituido por fierro angular de 3 x 2 x 36
según se detalla en el Plano 5.10 .

PLANOS DEL CAPITULO 5

<u>Número de Plano</u>	<u>Designación</u>
5.1	Techo de la Cabina
5.2	Rejilla del Canal de Entrada
5.3	Conducto de Entrada (Vista Isométrica)
5.4	Conducto de Entrada a la Su- bestación
5.5	Bastidor Fijo
5.6	Bandeja Receptora
5.7	Ventilador
5.8	Rejilla del Conducto de Sa - lida
5.9	Conducto de Salida
5.10	Escalera de acceso a la Ca - bina



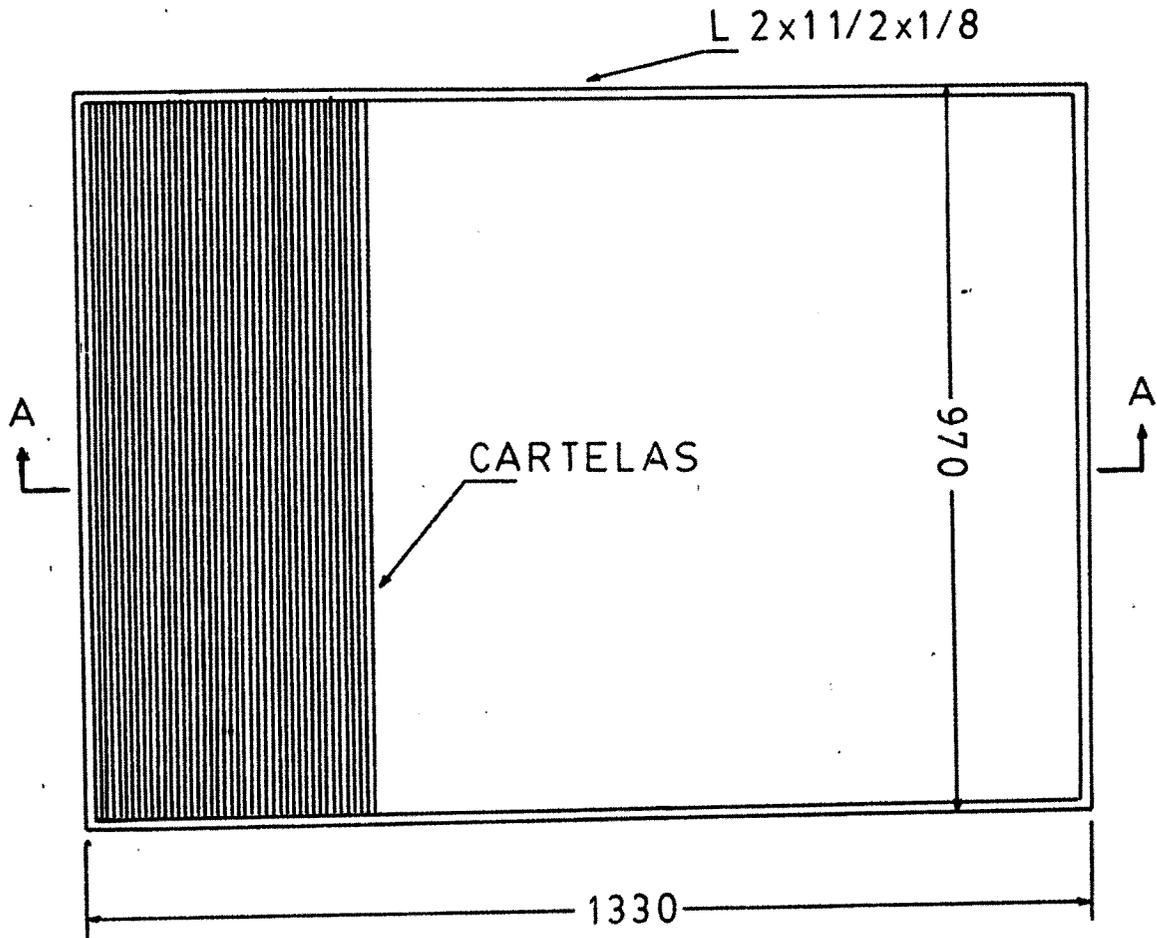
w = CARGA DISTRIBUIDA SOBRE EL TECHO
 ESCALA 1/25



LINEA QUE PASA POR EL C. G. DEL ENCOFRADO

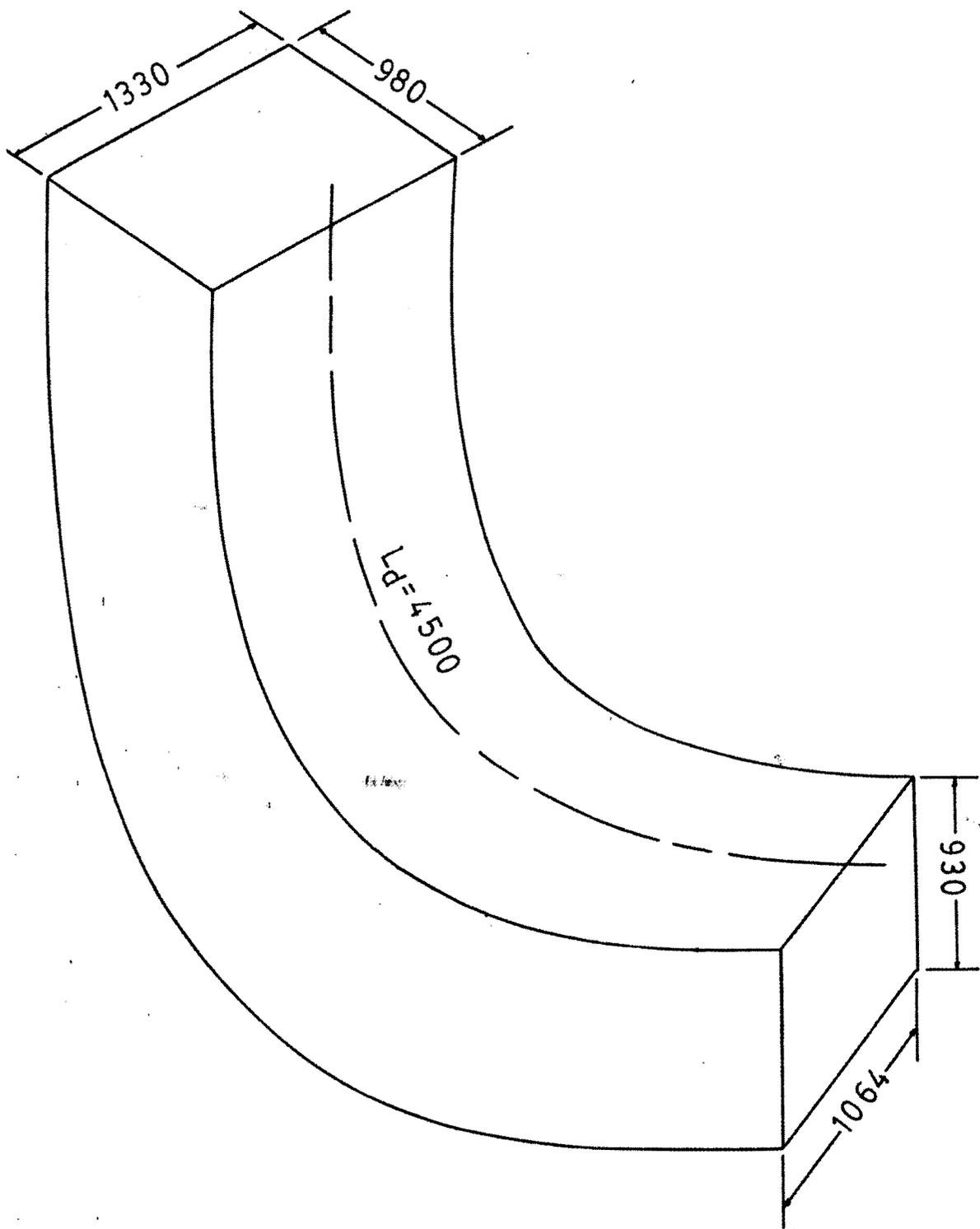
ESCALA 1/10

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS. CC.		TECHO DE LA CABINA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	se indica		5.1

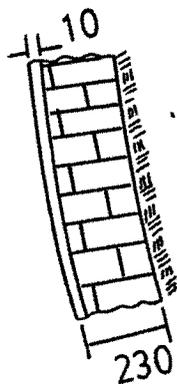
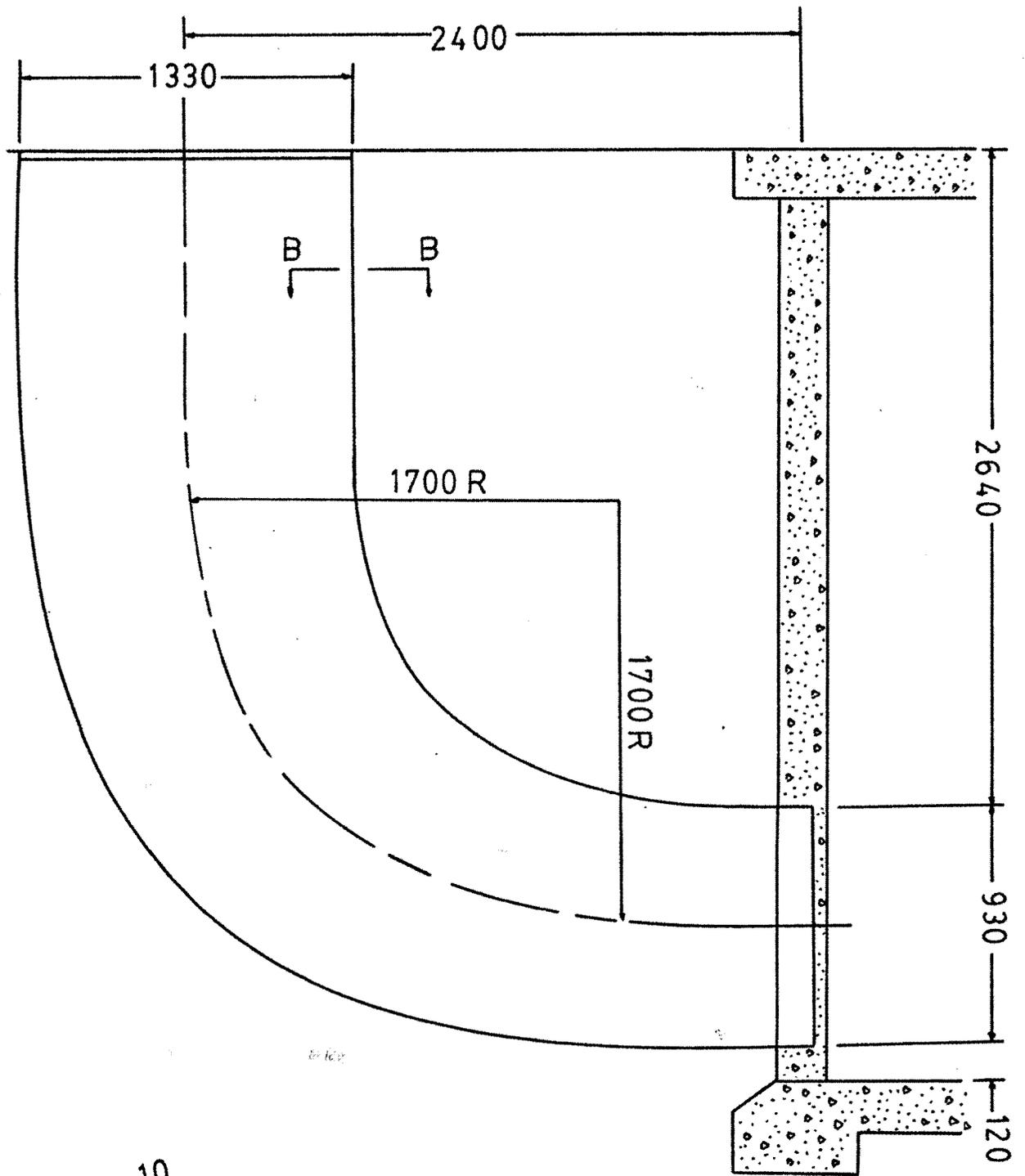


VISTA SECCIONAL A-A

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SSCC		REJILLA DEL CANAL DE ENTRADA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S	1/10		52

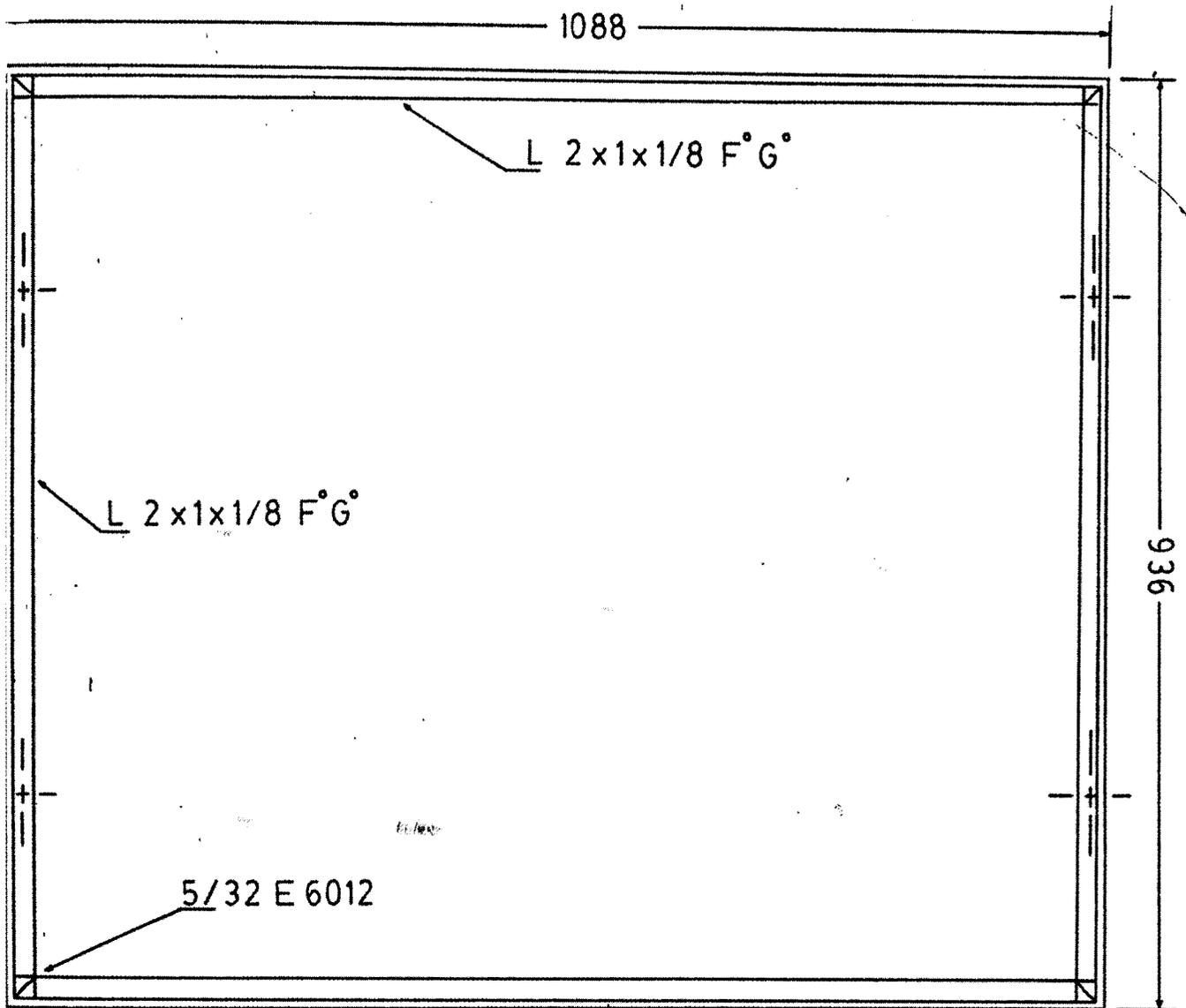


TESIS		DESIGNACION		
SEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL L'TRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		CONDUCTO-DE-ENTRADA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
GENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/30		5.3

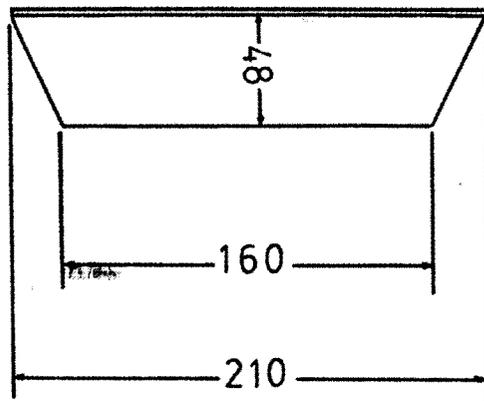
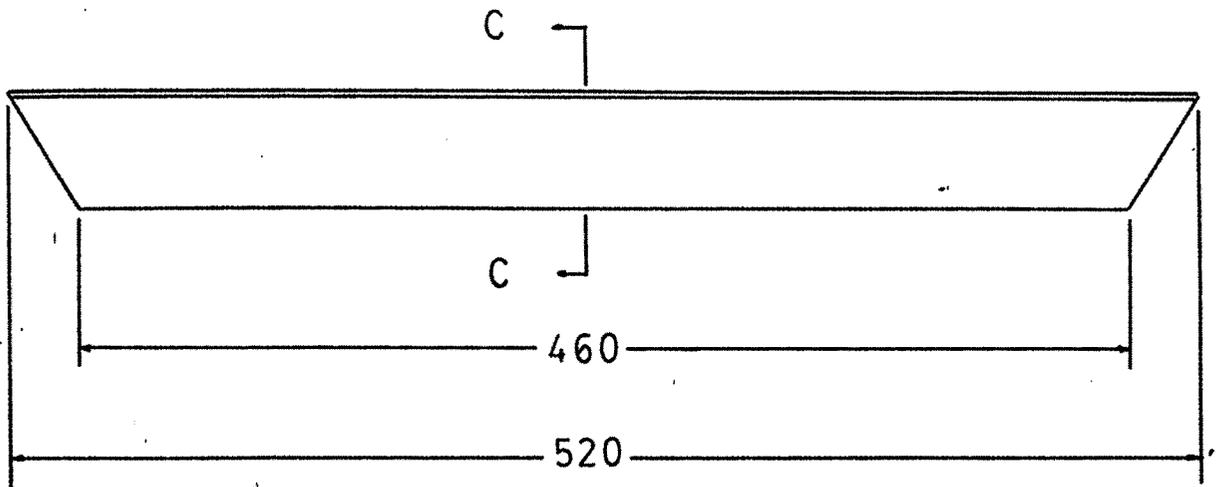


SECCION B-B

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		CONDUCTO-DE-ENTRADA A LA SUBESTACION		
ACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/25		5.4

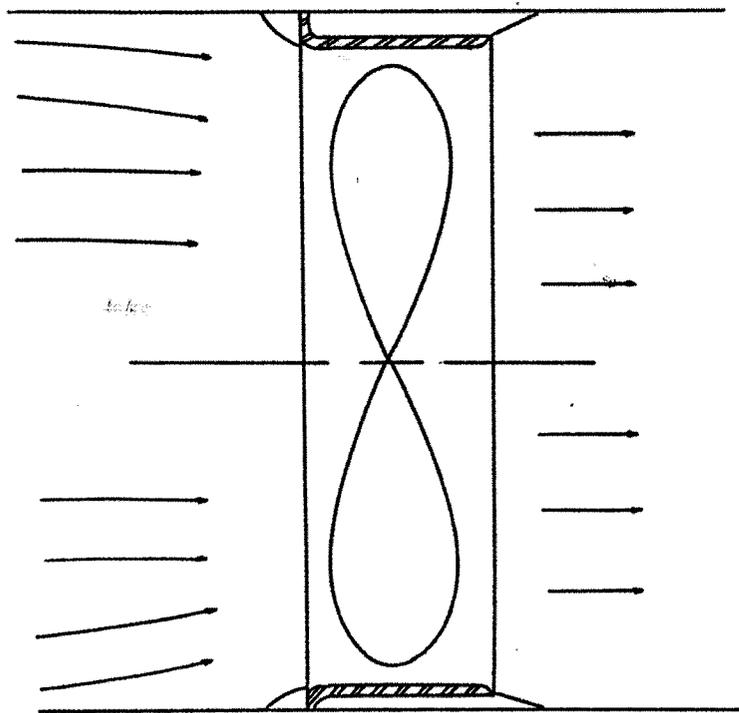
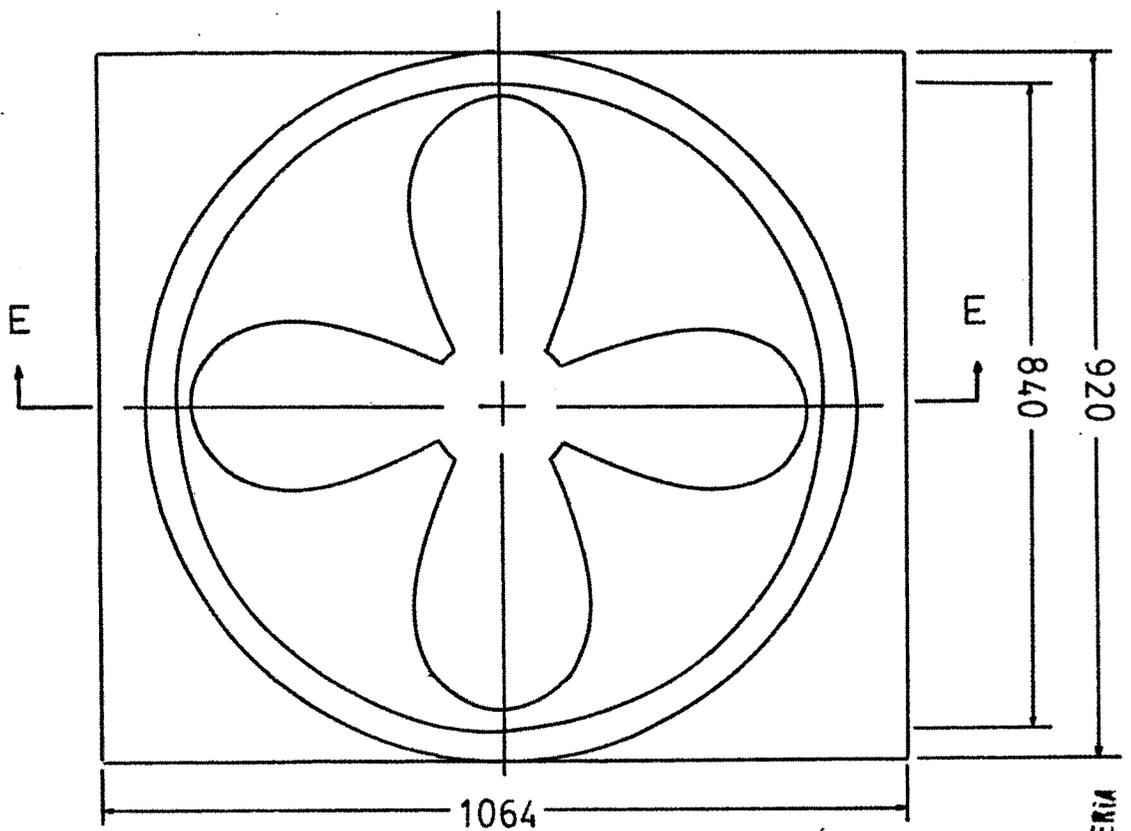


TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		BASTIDOR FIJO		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	3/20		5.5



SECCION CC

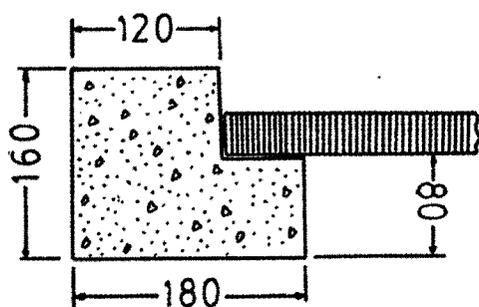
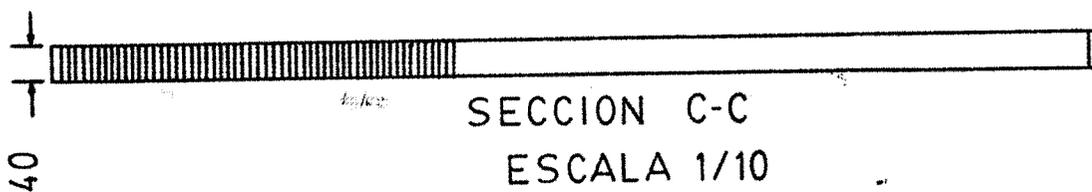
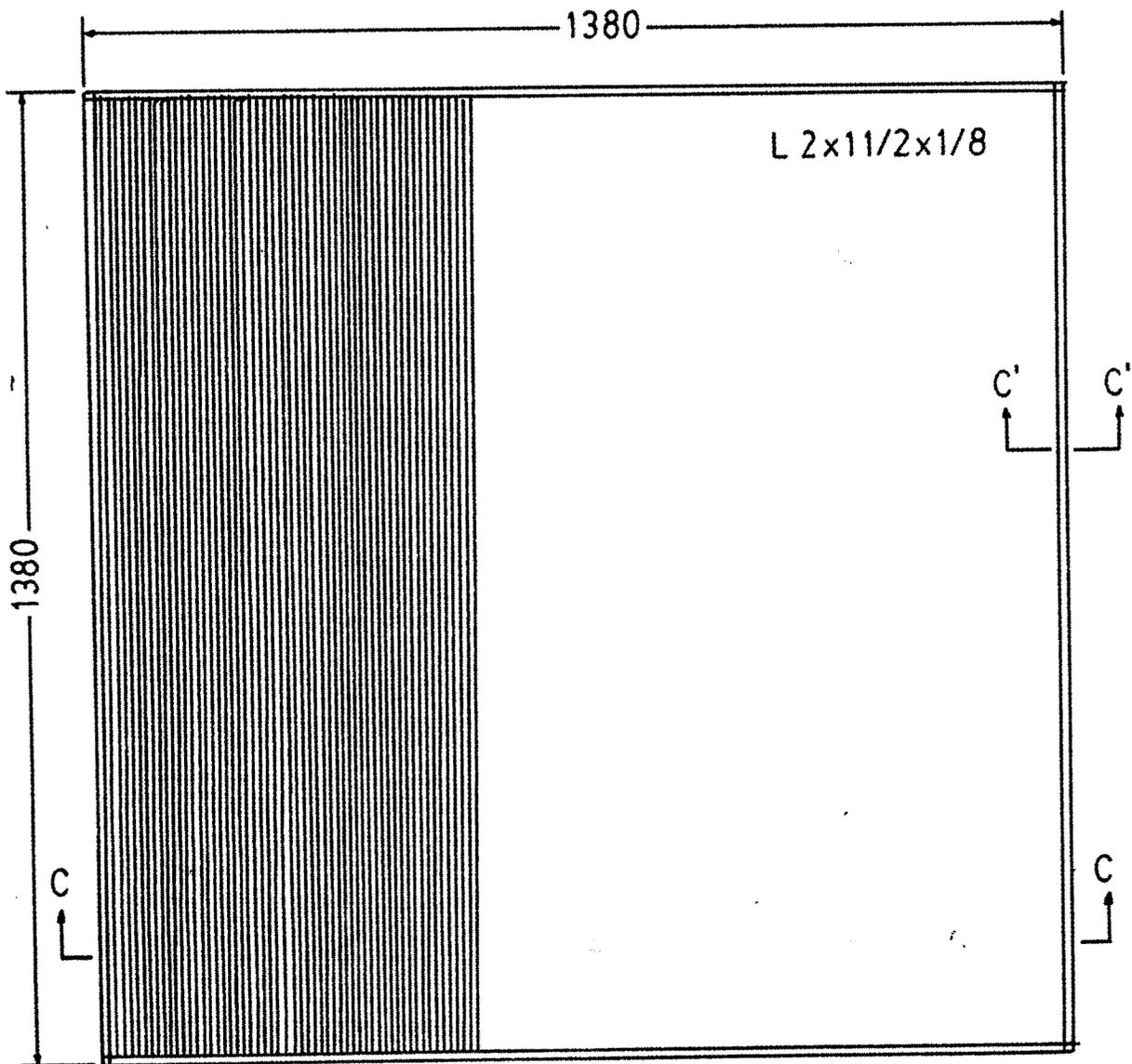
TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		BANDEJA RECEPTORA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	3/10		56



SECCION E-E

DIVISION DE INGENIERIA
 1957

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		VENTILADOR		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/10		5.7

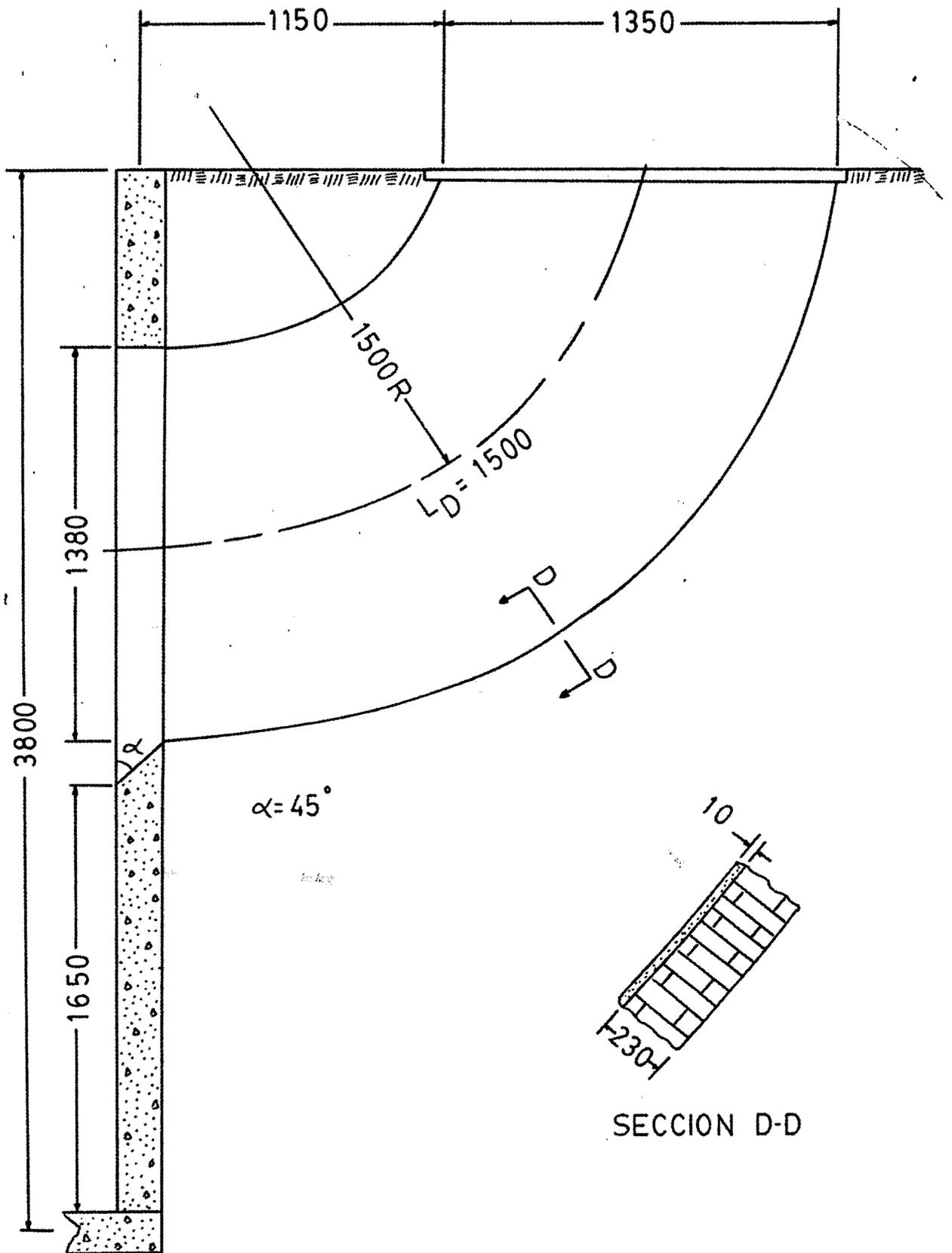


SECCION C'-C'

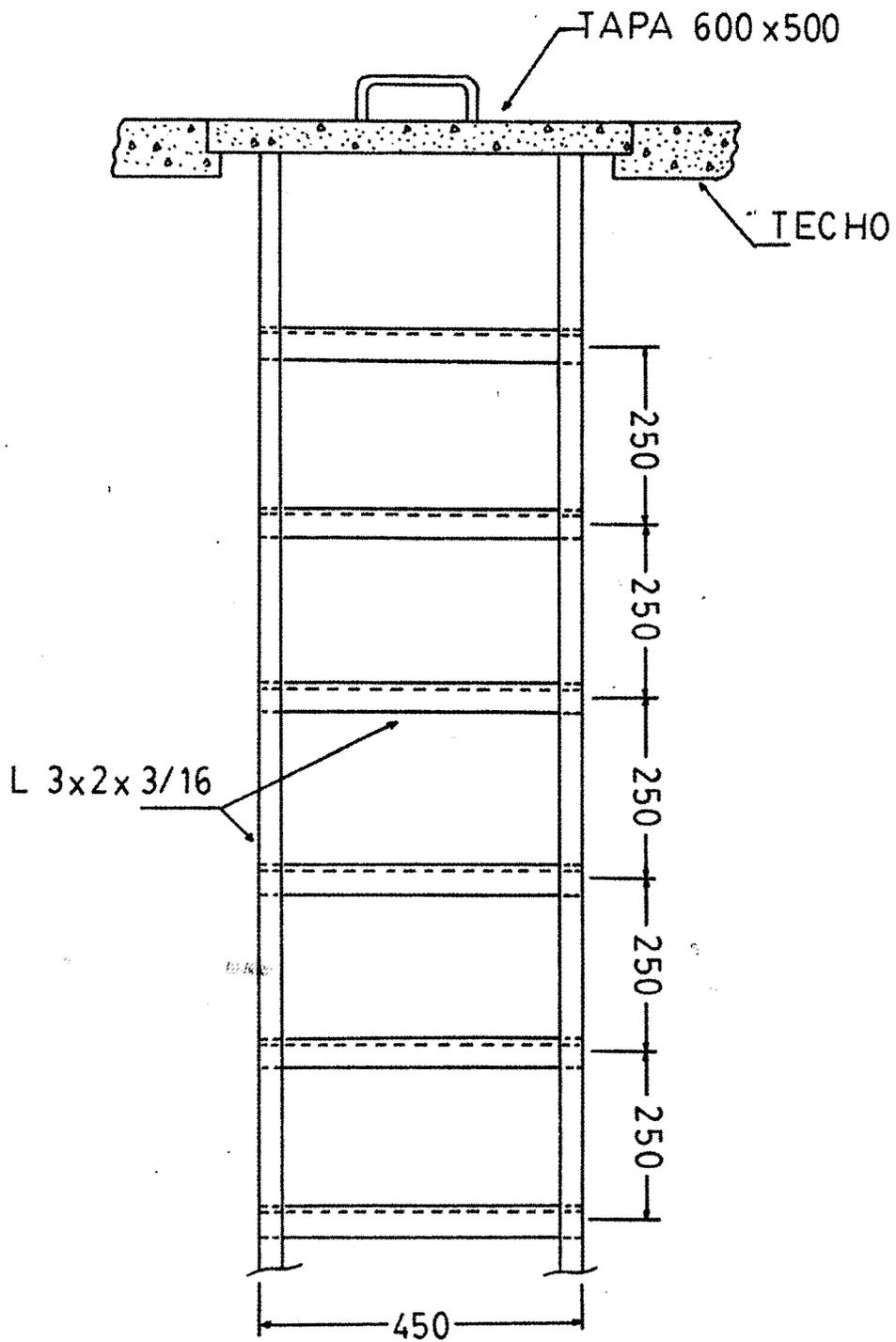
APOYO DE LA REJILLA

ESCALA 1/6

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		REJILLA DEL CONDUCTO DE SALIDA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	se indica		5.8



TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		CONDUCTO DE SALIDA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/20		5.9



TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		ESCALERA DE ACCESO A LA CABINA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/10		5.10

CAPITULO 6

ANALISIS ECONOMICO

6.1 Costo de Materiales y Equipos

Los costos de materiales y equipos, considerando que todos son de procedencia nacional, comprenderán de los siguientes aspectos :

6.1.1 Cabina de Subestación

Cuyas dimensiones son :

- Longitud : 3,80 m
- Altura : 3,86 m
- Ancho : 2,36 m

Los materiales constituyentes para la construcción del edificio propiamente dicho son:

- a) Hormigón de primera clase para el llenado de las columnas (4 columnas), encofrado del techo, y de base de la cabina.

. 4 columnas de 0,22 x 0,22 x 3,86 m :

$$4 \times 0,187\text{m}^3 = 0,750 \text{ m}^3$$

- . Factor de Compactación : 0,80 , para hormigón entre malla 60 a 1 " (Según-Building Construction Inc.), con lo cual tendremos :

Volumen Neto del hormigón :

$$V_1 = \frac{0,750 \text{ m}^3}{0,80} = 0,9375 \text{ m}^3$$

- . Techo de 3,80 m x 2,36 m x 0,2 m, con volumen total de :

$$0,20 \times 3,8 \times 2,36 = 1,79 \text{ m}^3$$

- . Considerando el mismo factor de compactación tendremos el volumen neto :

$$V_2 = \frac{1,7936 \text{ m}^3}{0,80} = 2,242 \text{ m}^3$$

- . Base; en este caso estará constituido de hormigón y piedra y dado el poco peso del transformador, será necesario un espesor a 30 cm o menós. Para nuestro caso consideraremos una base de 30-cm con lo cual el volumen neto será :

$$V_3 = 0,3 \times 3,8 \times 2,36 = 2,69 \text{ m}^3$$

Dado que las piedras ocupan el mayor volumen consideraremos solo un 40% en lo referente al hormigón, o sea :

Volumen neto : V_3

$$V_3 = \frac{0,40 \times 2,69}{0,80} = 1,345 \text{ m}^3$$

Luego la cantidad de hormigón necesario en la cabina será de :

$$V_H = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_H = 0,9375 + 2,242 + 1,345$$

$$V_H = 4,52 \text{ m}^3$$

Redondeando

$$V_H = 4,60 \text{ m}^3$$

- b) Piedras : se los utilizará para la construcción de la base. Su volumen aproximadamente será :

$$V_p = \frac{0,6 \times 2,69}{0,70} \text{ m}^3$$

$$V_p = 2,45 \text{ m}^3$$

- c) Ladrillo corriente macizo del tipo rojo - de 21 x 15,5 cm para las paredes de la cabina :

Areas laterales :

$$2 \text{ caras laterales: } 3,86 \times 3,80 \quad 29,336\text{m}^2$$

$$2 \text{ caras de : } \quad 3,86 \times 2,36 \quad 18,219\text{m}^2$$

$$\text{Total } A_1 = 47,55 \text{ m}^2$$

Area de cada ladrillo :

$$a_2 = 0,21 \times 0,06 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 0,0126 \text{ m}^2$$

Número total de ladrillos a utilizarse =
en las paredes :

$$N_1 = \frac{A}{a} \times K$$

Donde K es el factor de apilamiento -
que depende de la forma del apilamiento,
y que generalmente se considera K = 90 a
92 % considerando K= 90% ($\kappa = 0,90$)

tendremos :

$$N_1 = \frac{47,555 \text{ m}^2}{0,0126} \times 0,90$$

$$N_1 = 3\ 397 \text{ unidades}$$

Para los conductos de entrada y salida -
tendremos aproximadamente :

- Conducto de ingreso del aire (Ver Pla
no 6.3)

$$A_2 = 1/2 \times 4,5 (4,56 + 3,968)$$

$$A_2 = 19,138 \text{ m}^2$$

Considerando el mismo factor de apila-
miento y disposición de los ladrillos :

$$N_2 = \frac{19,138}{0,0126} \times 0,90$$

$$N_2 = 1\,367 \text{ unidades}$$

- Conducto de Salida del Aire

De la Plano 6.4 tenemos

$$A_3 = 1,5 \times 5,520 = 8,28 \text{ m}^2$$

$$N_3 = \frac{8,280}{0,0126} \times 0,9 = 657,4 \times 0,9$$

$$N_3 = 591,66 = 592 \text{ unidades}$$

Luego la cantidad de ladrillo requerido será:

$$N_t = N_1 + N_2 + N_3$$

$$N_t = 3\,397 + 1,367 + 592$$

$$N_t = 5\,356 = 5\,400 \text{ unidades}$$

d) Cemento : Está en relación entre una mezcla determinada, para nuestro caso consideraremos una relación de 3:1, o sea 3 carretillas Americanas de hormigón o arena por una bolsa de concreto.

Volumen de carretilla promedio: 2,5 - pie³ (0,081 m³), luego la cantidad de mezcla por bolsa de cemento :

$$1 \text{ bolsa} = 3 \times 0,081 \text{ m}^3 = 0,243 \text{ m}^3$$

Número de bolsas :

En hormigón :

$$n_{b1} = \frac{4,60 \text{ m}^3}{0,243 \text{ m}^3} = 19,35$$

$$n_{b1} = 20 \text{ bolsas}$$

En ladrillos: consideraremos una relación de 1 bolsa de cemento por cada 4 m² de area levantada .

Area total " A_t" de las paredes :

$$\text{- Laterales : } 47,55 \text{ m}^2$$

$$\text{- Conducto de entrada : } 19,138 \text{ m}^2$$

$$\text{- Conducto de salida : } 8,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Total : } 74,97 \text{ m}^2 \cong 75 \text{ m}^2$$

Luego la cantidad de bolsas será :

$$n_{b2} = 75/4 = 18,75$$

$$n_{b2} = 19 \text{ bolsas}$$

$$\text{Total empleado: } n = n_{b1} + n_{b2}$$

$$n = 20 + 19 = 39$$

Utilizar 40 bolsas de cemento por cabina, a esto habrá que añadir los que se utilizarán para la base del transformador, revestimiento interno de la cabina los cuales podemos considerarlo en 10-bolsas más.

Lo que el número total de bolsas a emple

plearse por cabina será de 50 unidades -

e) Varillas de fierro de construcción

Estas se utilizarán tanto para las columnas como para el techo .

En las columnas : 4 varillas de 1/2" \emptyset - por 3,86 m de long. por columna.

Total : 4 x 4 x 3,86 = 61,76 m

Techo : Se distribuirán varillas de 1/2"- \emptyset en forma uniformemente distribuida a lo ancho del techo de manera que esté espaciado entre si 30 cm (Ver Plano 6.5)

Cantidad de fierro a lo largo del lado de 3,80 m.

$$z_1 = \frac{2,36}{0,2} + 1 = 12,8 \cong 13$$

Como son dos vigas entrelazadas y paralelas :

$$z_1 = 2 \times 13 = 26 \text{ varillas de } 3,8 \text{ m}$$

$$\text{Longitud : } 3,8 \times 26 = 98,8 \text{ m}$$

Cantidad de fierro a lo largo de 2,36 m

$$4 \text{ unidades } \times 2,36 \text{ m}$$

$$\text{Longitud : } 4 \times 2,36 = 9,44 \text{ m}$$

Longitud total de fierro de 1/2" \emptyset

$$L_F = 98,8 + 9,44 = 108,24 \text{ m}$$

(16,37 = 17 varillas Std. de 6 metros)

Varillas de enlace: fierro redondo liso-
de 1/8" \emptyset cantidad aproximada : 50 Kg.

6.1.2 Rejillas

a) Rejillas en el conducto de entrada: Es-
tá constituido por varillas de forma -
rectangular de fierro, cuyas medidas -
son :

970 x 40 x 3 mm (unitarias)

. Número de varillas:

Con un espaciamiento entre ellas de -
10 mm, tenemos :

$$n_1 = \frac{1330}{10} + 1 = 134 \text{ varillas}$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud total} &: 134 \times 0,97 = 129,98 \text{ m} \\ &= 130 \text{ m} \end{aligned}$$

. Angulos de 2 x 1 1/2 x 1/8

$$\begin{aligned} \text{Cantidad} &: 2 \times 1,33 + 2 \times 0,970 \\ &= 4,6 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Rejillas en el conducto de salida :

Son similares en sus características -
que el conducto de entrada.

Número de varillas:

$$n_2 = \frac{1\ 380}{10} + 1 = 139 \text{ varillas de } 1\ 380 \text{ x } 40 \text{ x } 3 \text{ mm}$$

Longitud total :

$$L_t = 139 \times 1,38 = 195,42 \text{ m}$$

Angulos de 2 x 1 1/2 x 1/8" :

$$4 \times 1,38 = 5,52 \text{ m}$$

Cantidad de material en rejillas de entrada y salida :

. Varillas de 40 x 3 mm

Conducto de ingreso : 129,98 m

Conducto de salida : 195,42 m

Total : 325,40 m

Consideraremos : 326 m

. Angulos de 2 x 1 1/2 x 1/8"

Conducto de ingreso : 4,6 m

Conducto de salida : 5,52 m

Total : 10,12 m

6.1.3 Filtro de Aire en Aceite

Componentes principales del filtro :

a) Marcos principales: Constituido por ángulos 2 x 1 x 1/8" de fierro galvanizado.

Longitud total : $4 \times 1,088 + 4 \times 0,936$
 $= 8,096 \text{ m}$

- Tees de refuerzo central al filtro de-
2 x 1 1/2 x 1/8"

Cantidad : $2 \times 1,088 \text{ m}$
 $= 2,176 \text{ m}$

- Angulos de 1 x 1 x 1/16, para el sos-
tén de las bandejas y guidores de ést
tas.

Número de varillas ángulares :

16 varillas de 1 088 mm, dispuestos a-
lo largo del filtro :

$16 \times 1,033 = 17,408 \text{ m}$

b) Bandejas receptoras de aceite, constitui-
do con plancha de 1/16" F^OG^O.

Número total de bandejas : 38 distribui-
das 2 en posición horizontal y 19 en po-
sición vertical.

c) Filtros propiamente dicho, constituidos-
por malla fina.

6.2 Costos de Instalación y Mantenimiento

Estos costos estarán constituidos por la mano de
obra correspondiente, tanto en las obras civiles-

tendrán sus costos unitarios correspondientes de acuerdo a las tarifas por la Cámara Peruana de la construcción.

Costos por Mantenimiento

Estos costos incluyen todas las operaciones de mantenimiento, sobre todo en el filtro de aceite - cambio de aceite, limpieza de filtros, etc.

Los costos de limpieza de la subestación convencional incluido el filtro, cambio de aceite, se detalla en el cuadro siguiente (Cuadro 6.1).

CUADRO 6.1

<u>CUADRO DE COSTOS POR MANTENIMIENTO</u>				
Actividad	Cantidad		Costo	Costo
	Hr - Homb	Mat.	Unitario	Parcial
(Soles)				
<u>Mantenimiento</u>				
<u>del filtro</u>				
Cambio de a - ceite Tipo				
SAE 90	-	10,8 (lit)	12 000	129 600
Mano de obra	4	-	10 000	40 000
<u>Limpieza de la</u>				
<u>Subestación</u>				
Comprende cabi- na, transforma- dor y rejillas				
- 2 obreros	8	-	10 000	80 000
- 1 capataz	4	-	12 000	48 000
<u>Costos por</u>				
<u>Movilidad</u>				
- Chofer	4	-	10 000	40 000
- Movilidad	-	-	-	40 000
- Otros	-	-	-	25 000
Costo Total				402 600

Del cuadro de costos por mantenimiento, hacemos -
el siguiente análisis :

- a) Costo total de mantenimiento de una subesta -
ción con filtro será de \$/ 402 600.-
- b) Costo total de mantenimiento en una subesta -
ción sin filtros será de \$/ 233 000.-

De acuerdo a estos valores determinados se puede
hacer una comparación de los costos en subestaciones
convencionales con o sin filtros, y determi -
nar en base a ello la rentabilidad del proyecto -
con esta innovación.

CUADRO 6.2

COSTO DE MATERIALES

N°	Descripción	Metrado		Costo	Costo
		Unid.	Cant.	Unitario	Parcial
	<u>Cabina Sub.</u>				
01	Hormigón de Primera	-	4,6m ³	120 000	552 000
02	Piedras	-	2,45m ³	90 000	220 000
03	Ladrillo corriente macizo de 21 x 15,5 cm	5,4 mill.	-	400 000 millar	2'160 000
04	Cemento Portland (50kg)	50	-	40 000	2'000 000
05	Varillas de Construcción F _e de 1/2" Ø	-	108,24m	8 000	865 000
06	Fierro Redondo de 1/8" Ø	-	50 Kg	10 000	500 000
	<u>Rejillas</u>				
07	Varillas de 40 x 3 mm F _e de construc.	-	325,4m	10 000	3'254 000
08	Argulo de 2 x 1 1/2 x 1/8"	-	10,12m	9 000	91 000

.../

N ^o	Descripción	Metrado		Costo	Costo
		Unid.	Cant.	Unitario	Parcial
	<u>Filtro de- Aire</u>				
09	Angulo de - 2 x 1 x 1/8" F ^o G ^o	-	8,1m	8 000	64 000
10	Tee 2 x 1/2" x 1/8" F ^o G ^o	-	2,2	10 000	22 000
11	Angulo de 1 x 1 x 1/16" F ^o G ^o	-	17,5	6 000	105 000
12	Bandejas Re- ceptoras	38	-	50 000	1'900 000
13	Filtro Pro- piamente di- cho	-	-	-	300 000
14	Aceite SAE 90	-	10,8	12 000	129 000
15	Ferreteria en general	-	-	-	150 000
16	Ventilador flujo axial 1,50 HP 650 RPM	1	-	3 600 000	3'600 000
Total					15'907 000

CUADRO 6.3

COSTO POR MANO DE OBRA

Comprenden los costos de construcción de la cabina e instalación de los equipos.

Nº	Descripción	Metrado		Costo Unitario	Costo Parcial
		Unid.	Cant.		
01	Cabina de - Subestación Paredes La- terales	-	47,5m ²	26 000	760 000
02	Columnas de Concreto	4	-	180 000	720 000
03	Piso de la- cabina y ba- se de sub. Construcción	-	-	600 000	600 000
04	del techo	-	6,6m ²	180 000	1'188 000
05	Conducto de Ingreso de- Aire	-	-	650 000	650 000
06	Conducto de Salida	-	-	300 000	300 000
07	Construcción e instala- ción del fil- tro	1	-	900 000	900 000

.../

Nº	Descripción	Medrado		Costo	Costo
		Unid.	Cant.	Unitario	Parcial
08	Instalación del Venti- lador	1	-	400 000	400 000
09	Construcción de rejillas metálicas	2	-	200 000	400 000
				Total	5'968 000

Costos y Gastos Imprevistos

Son todos aquellos gastos originados durante el desarrollo de la obra. En este mismo rubro consideraremos los gastos generales y dirección técnica. A estos gastos imprevistos, generales y de dirección técnica, consideraremos como el 25% del costo de materiales y mano de obra. O sea tenemos:

Gastos generales, imprevistos y Dirección Técnica
será = $0,25 (15'907\ 000 + 5'968\ 000)$
= $5'469\ 000$

Luego el presupuesto total de la subestación será la sumatoria de los valores hallados anteriormente, sea :

. Costo de materiales y equipos :	15'907 000	+
. Costos por mano de obra :	5'968 000	
. Gastos ^{generales} generales e imprevistos:	5'469 000	
	<hr/>	
Total :	27'344 000	

Son veintisiete millones trescientos cuarenta y cuatro mil soles oro.

Si consideramos un total de 300 subestaciones en ambientes sucios, tendremos un costo total de :

Costo Total = $300 \times 27'344\ 000$

Costo Total = $8\ 203'200\ 000$

6.3 Comparación de Costos de Mantenimiento, utilizando Filtros de aire en Aceite en zonas contaminadas

Para la comparación económica en las subestaciones convencionales, determinaremos los costos correspondientes en cada caso :

a) Costo de una subestación con filtro determinado anteriormente : 27'244 000

b) Costo de una subestación convencional sin filtro y que actualmente están instalados, para una subestación de 630 KVA, las medidas de la cabina son :

Altura : 3,20 m

Longitud : 2,85 m

Ancho : 2,10 m

Costos ^{de la} aproximados, estimados por la empresa ElectroLima : 17'000 000 de soles.

c) Costos por mantenimiento de una subestación con filtros : S/ 402 600 .-

d) Costos por mantenimiento de una subestación sin filtros : S/ 233 000 .-

Los programas de mantenimiento de las subestaciones fueron detalladas en el capítulo 4, y cuyos valores recomendados por ElectroLima para ambientes sucios son:

- Subestaciones sin filtros : 9 veces/año, equivalente a 1,5 meses de frecuencia.
- Subestaciones con filtros : 1,5 veces por año - equivalente a cada 8 meses por año.

Numéricamente los valores anuales serán de :

- Sin filtro : $9 \times 233\ 000 = 2\ 097\ 000$
- Con filtro : $1,5 \times 402\ 600 = 603\ 900$

Luego de acuerdo a estos valores podemos determinar gráficamente el punto de equilibrio, y la rentabilidad en las subestaciones con filtro.

El gráfico adjunto muestra el comportamiento de los costos en relación al tiempo de servicio.

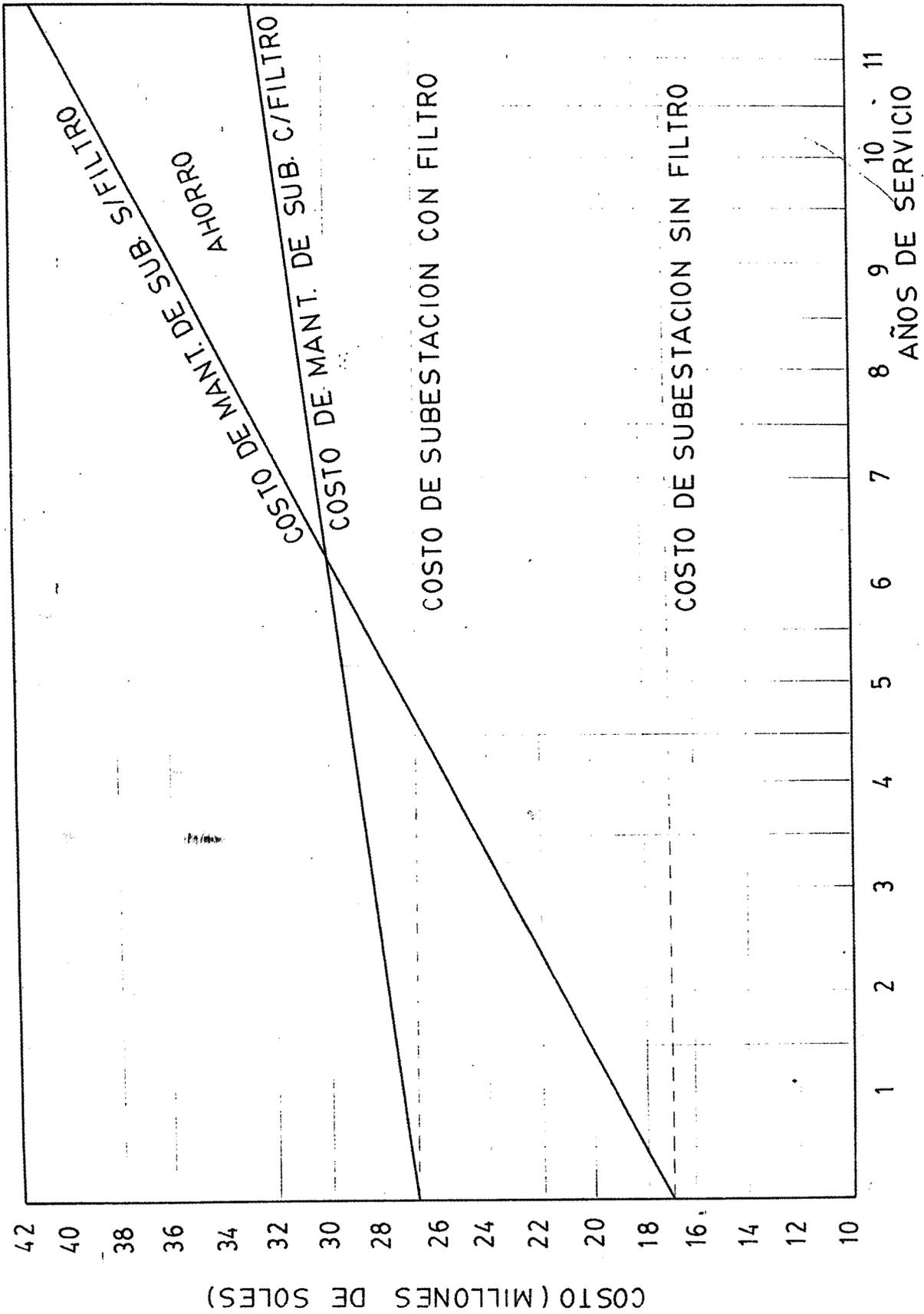


GRAFICO 6.1 COMPARACION DE COSTOS

De acuerdo al gráfico de la proyección de costos de mantenimiento para ambos casos (con o sin filtros), tenemos que inicialmente los costos de inversión inicial que incluye los costos de inversión inicial de construcción de la cabina, y los equipos son mayores para el caso de subestaciones con filtro que para el caso de subestaciones sin filtros.

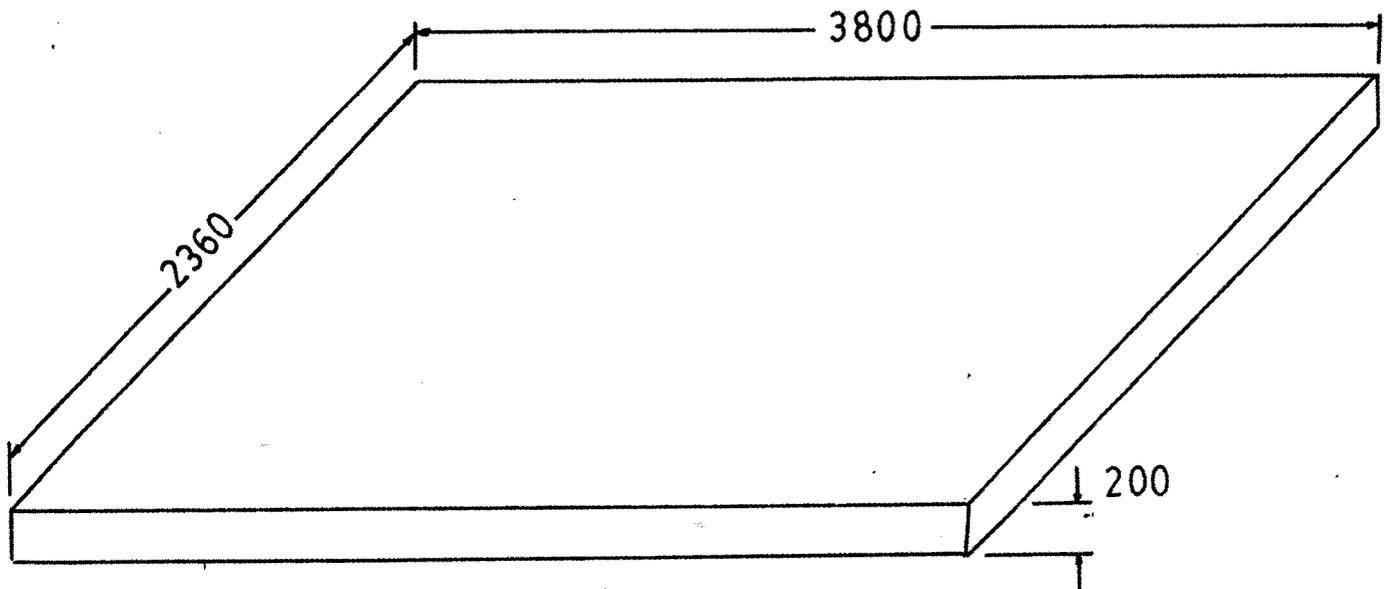
Pero como los costos de mantenimiento para la subestación con filtros es menor anualmente que los costos de mantenimiento en subestaciones sin filtros, tenemos que al cabo de los 6,3 años de instalado la subestación con los equipos de filtración del aire, se empiezan a obtener los ahorros por este concepto.

Considerando un periodo de vida de la subestación de 30 años, tenemos que se tendrá por lo menos 23 años de utilidad. La consistencia del filtro permite también una larga duración.

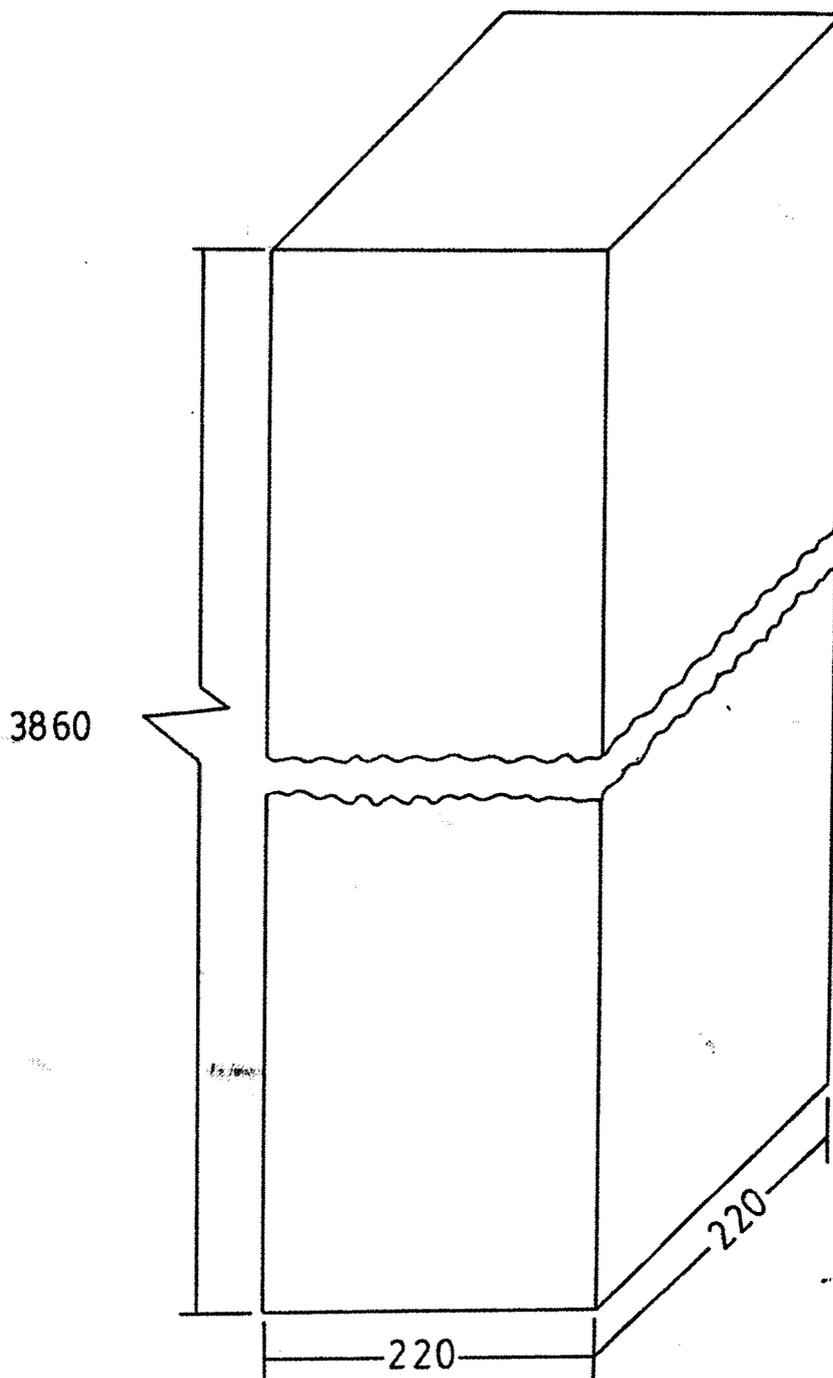
Para 300 unidades los costos ahorrados por este concepto son de muy buena importancia para la empresa encargada, en este caso po ElectroLima .

PLANOS DEL CAPITULO 6

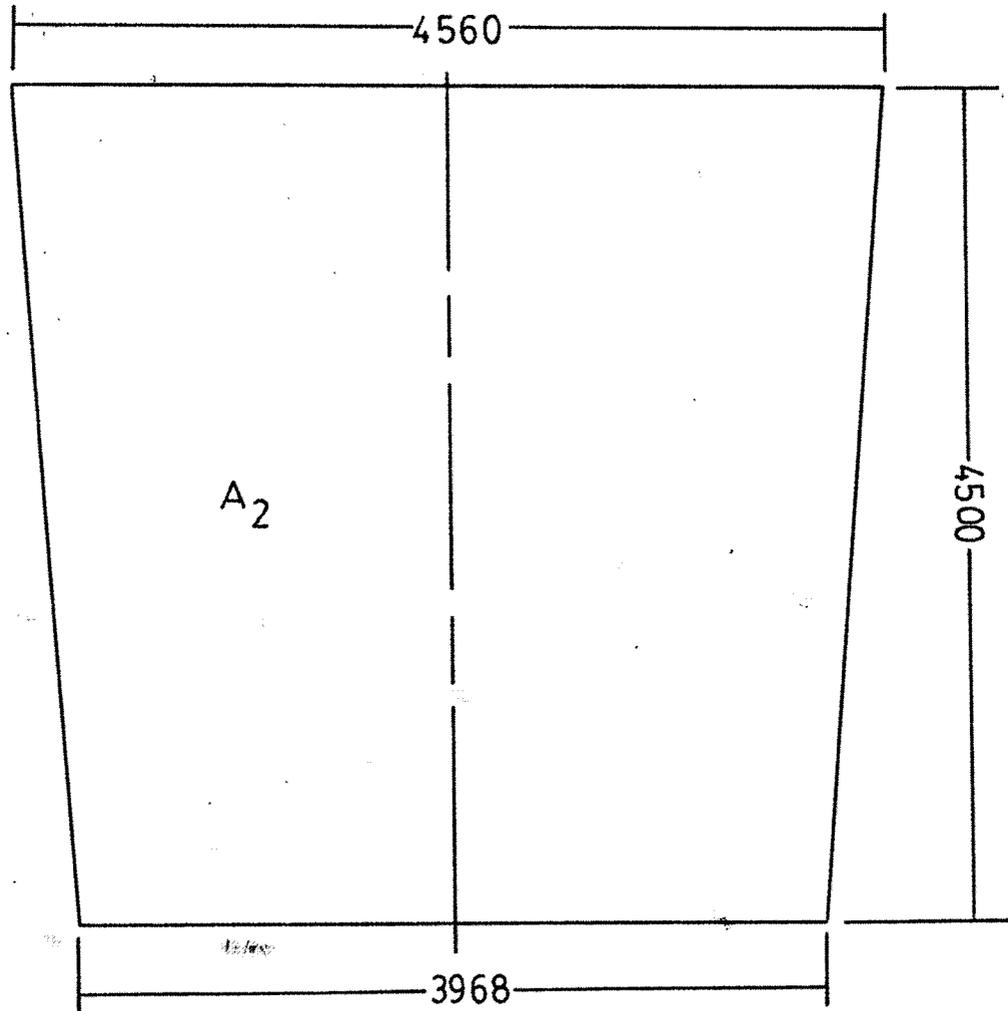
<u>Número de Plano</u>	<u>Designación</u>
6.1	Techo de la Cabina (Dimensiones Generales)
6.2	Dimensiones de la columna de Concreto
6.3	Desarrollo del Conducto - de Entrada
6.4	Desarrollo del Conducto de Salida
6.5	Detalle de la Puesta de - los Fierros en el Techo
6.6	Cabina de Protección



TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		TECHO DE LA CABINA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/30		6.1

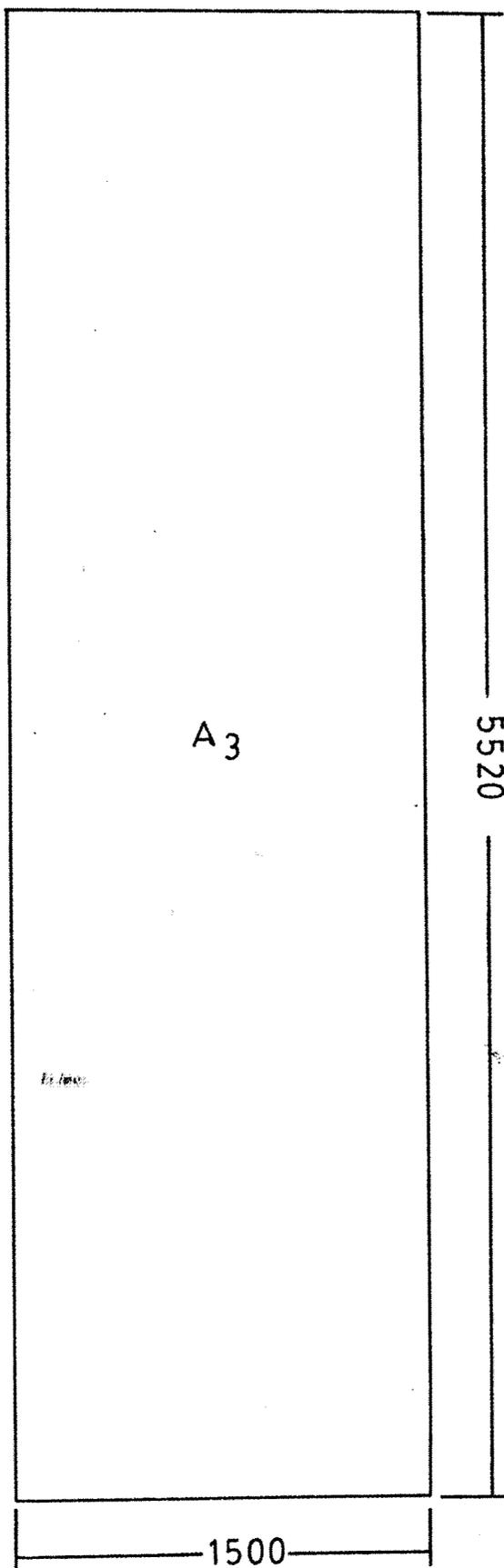


TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		DIMENSIONES DE LA COLUMNA DE CONCRETO		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/5		6.2



$$A_2 = \text{ÁREA TOTAL} = \frac{1}{2} \times 4,5 (4,56 + 3,968) \\ = 19,138 \text{ m}^2$$

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		DESARROLLO DEL CONDUCTO DE ENTRADA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/40		6.3

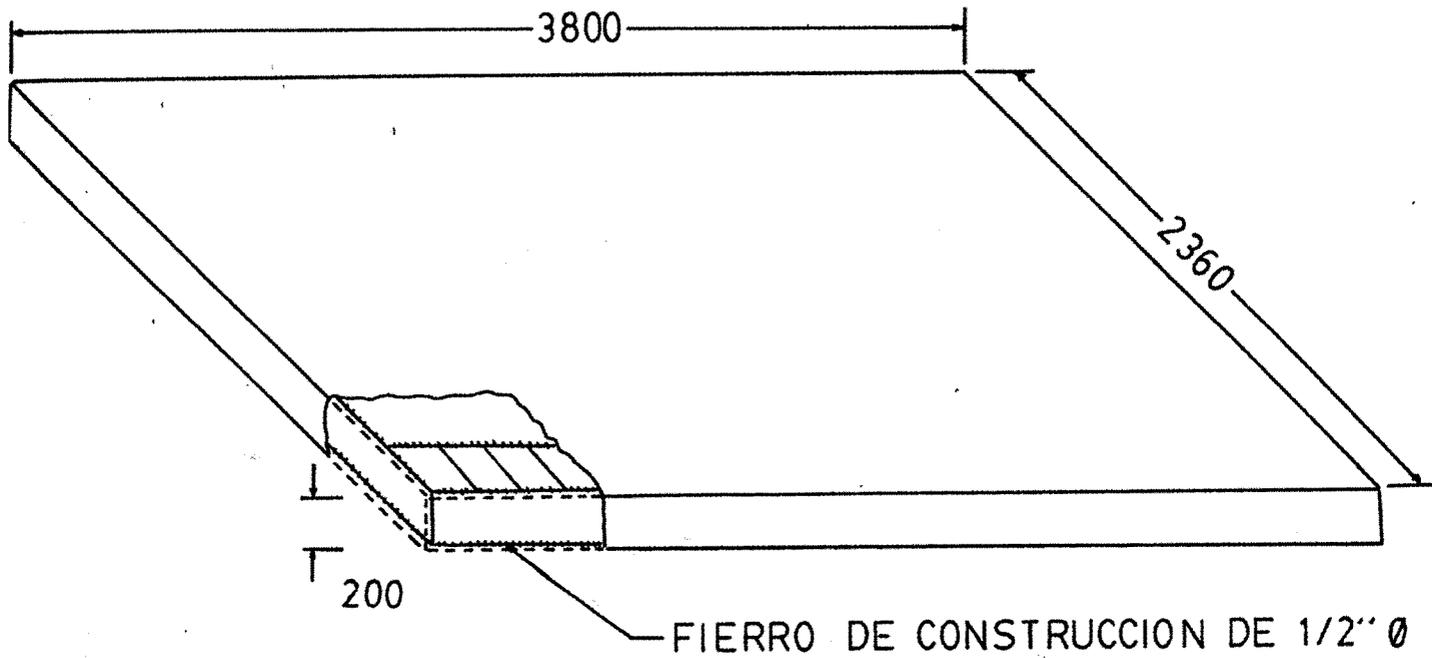


A₃

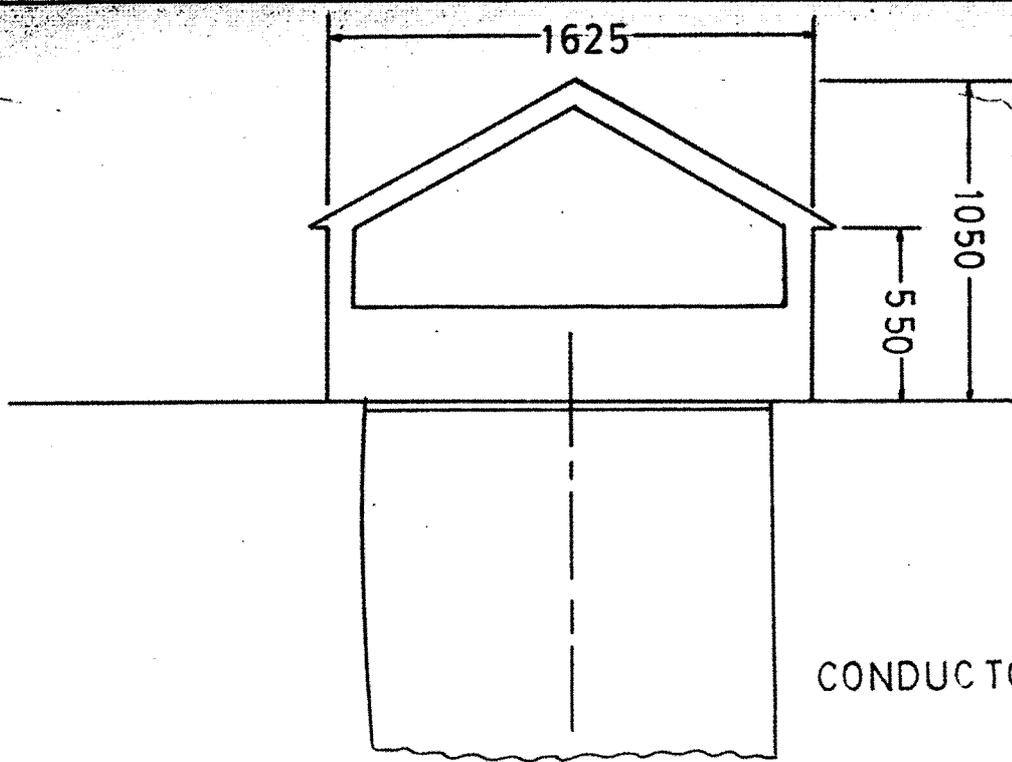
5520

1500

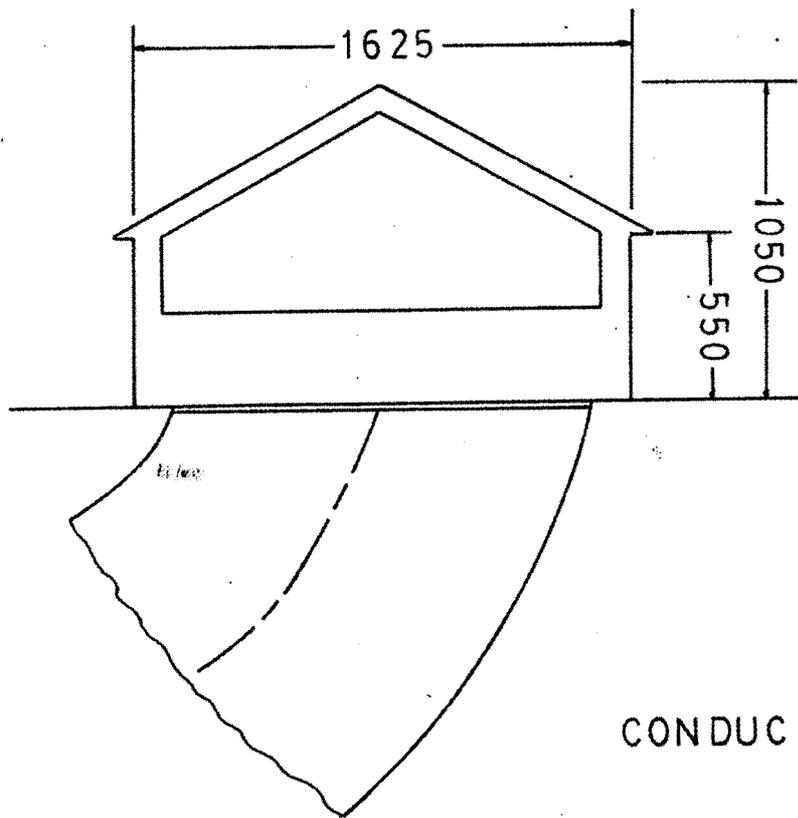
TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		DESARROLLO DEL CONDUCTO DE SALIDA		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC.-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/25		6.4



TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SS.CC.		DETALLE DE LA PUESTA DE LOS-FIERROS-EN-EL-TECHO		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC-UNI	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/30		6.5



CONDUCTO DE ENTRADA



CONDUCTO DE SALIDA

TESIS		DESIGNACION		
DISEÑO DE LA CABINA SUBT. Y DEL FILTRO DE AIRE EN ACEITE PARA SSCC		CABINA DE PROTECCION		
FACULTAD	PROYECTADO	ESCALA	FECHA	NUMERO
INGENIERIA MEC. UNI.	ROBERTO-ELLIOT-S.	1/25		6.6

CONCLUSIONES

- 1.- Los transformadores subterráneos de distribución pueden instalarse en bóvedas cerradas que cuente con ducto de ventilación para la circulación del aire por tiro forzado, puesto que el filtro de aire en aceite origina las mayores pérdidas a su paso del aire, en el caso de tiro libre.
- 2.- La utilización de bóvedas subterráneas, con ventilación forzada, filtro de aire en aceite, origina con el transcurso de los años ahorros de divisas por mantenimiento que en el caso de subestaciones sin filtros, según los análisis comparativos descritos.
- 3.- Las dimensiones internas de la cabina de subestación permitirán una mejor transferencia de calor-puesto que habrá una mayor masa de aire por unidad de tiempo.
- 4.- Las dimensiones y configuración del conducto de ingreso de aire permitirá un mayor ingreso del aire con un mínimo de pérdidas a su paso, de manera que esta pueda comportarse como una especie de garganta.
- 5.- Los filtros de aire nos permitirá economizar aproximadamente 40 000 horas-hombre durante un año considerando solamente las subestaciones ubicadas en las zonas sucias y muy sucias con el-

consecuente ahorro de dinero.

6.- El empleo de filtros simplifica la limpieza y mantenimiento, que permite un ahorro de divisas y horas-hombre, que canalizando en la empresa se puede distribuir adecuadamente en un plan de mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos eléctricos que sí requieren y justifican un buen cuidado.

7.- Los filtros de aire están constituidos de material resistente a la corrosión (F⁰G⁰) de manera que tenga un prolongado periodo de vida, así como un desmontaje rápido para su limpieza.

8.- El aceite utilizado, el cual se ha seleccionado el grado 90 SAE, o aceite de motor de vehículo puede ser un aceite usado, sin que por ello pierda sus características de captación de polvo, ni causar demasiadas obstrucciones al paso del aire para lo cual el ventilador cuenta con la potencia necesaria para vencer eventuales resistencias.

RECOMENDACIONES

- 1.- El programa de mantenimiento estimado en 1,5 veces por año, fué estimado o considerado como recomendaciones por trabajos similares en otros países (Argentina y Brasil) por lo cual por similitud de ambientes puede recomendarse el mismo plazo.
- 2.- Para la limpieza del transformador será necesario desenergizar, a fin de evitar posibles accidentes del personal encargado del mantenimiento.
- 3.- Las rejillas que se instalarán en el conducto de ingreso del aire estarán orientados de manera que permita la mayor captación de aire para la ventilación.
- 4.- Utilizando el mismo proceso analítico se puede de ~~terminar~~ sistemas similares en subestaciones de distribución para otras capacidades.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- " Bóveda Subterránea para Transformadores "
Empresas Eléctricas Asociadas
Congreso CONIMERA - 1975
- 2.- " Diseño de Filtros para SS. EE. Convencionales "
Ing. W. Mendoza
ElectroPerú - 1979
- 3.- " Estaciones de Transformación y Distribución "
Zoopetti Judez G.
Barcelona - 1976
- 4.- " Heat Transmission "
Mc Adams
3ra Edición
- 5.- " Principles of Heat Exchanger "
Kreith
Michigan - 1974
- 6.- " Subestaciones de Transformación "
Ramirez Vásquez, José
Enciclopedia CEAC, Alemania
- 7.- " Transferencia de Calor "
D.R. Pitts - L.E. Sisson
Editorial McGraw-Hill Latinoamericana-1979
- 8.- " Transferencia de Calor : Fundamentos "
Donald Kern
Editorial Urmo - 1980
- 9.- " Transformadores de Potencia "
Corrales Martín, Juan
Editorial Urmo - 1968
- 10.- " Ventilación en Transformadores "
Curso Desarrollado por Técnicos de la Empresa
Brown Boberi Industrial - Abril 1978