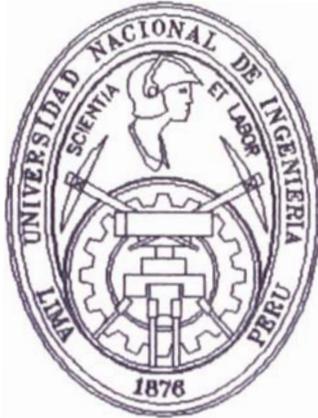


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA**



**DIS O DEL SISTEMA ELECTRICO PARA
UNA FABRICA DE BATERIAS
PLOMO - ACIDO**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADA POR
JUDITH LUZ BETETTA GOMEZ**

LIMA - PERU

1997

SUMARIO

El objetivo del presente trabajo de tesis es el diseño integral del sistema eléctrico para una fábrica de acumuladores eléctricos plomo - ácido, partiendo de la premisa de producir una cantidad de baterías por mes.

· El diseño en sí comprende la determinación del equipo básico y las necesidades de potencia de cada uno de ellos en particular y, sobre todo, la energía requerida en cada etapa del proceso de fabricación y los servicios conexos a la producción.

El sistema propuesto comprende la subestación en 10 KV; las redes de distribución en baja tensión, los tableros eléctricos, el sistema de alumbrado y los principales equipos y maquinarias para la producción de 10 000 baterías al mes.

**DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO
PARA UNA FÁBRICA DE BATERÍAS PLOMO-ÁCIDO**

EXTRACTO

TÍTULO : **Diseño del Sistema Eléctrico para una Fábrica de Baterías de Plomo-Ácido**

AUTORA : **Judith Luz Betetta Gómez**

GRADO AL QUE OPTA: **Ingeniero Electricista**

FACULTAD : **Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

CIUDAD Y AÑO : **Lima, Diciembre de 1996**

El presente trabajo de tesis presenta el diseño del sistema eléctrico para una fábrica de acumuladores plomo-ácido.

En el Primer Capítulo se describen las características de las materias primas necesarias para la fabricación de acumuladores plomo-ácido, las partes que lo constituyen, así como las características técnicas de las mismas.

Las etapas que comprende el proceso de fabricación se presentan en el Segundo Capítulo.

En el Tercer Capítulo se realiza un estudio de la demanda eléctrica para la fabricación de 10 000 baterías mensuales.

Luego, en el Cuarto Capítulo, se diseñan las redes en baja tensión, los tableros eléctricos y se hace el cálculo de la iluminación requerida para la fábrica objeto del

di año.

Finalmente, el diseño la red en 10 KV y la subestación son presentados en el Quinto Capítulo, donde asimismo se muestran las especificaciones técnicas de equipos y materiale

INTRODUCCIÓN

El propósito de esta tesis es el diseño integral del sistema eléctrico de una fábrica de acumuladores eléctricos plomo-ácido tomando como base el volumen de producción mensual de baterías.

La solución se obtuvo tomando como base la energía requerida en cada etapa del proceso fabril como eficaz método de cálculo de la demanda de potencia eléctrica.

El trabajo comprende el requerimiento de equipos, partes (rejillas y accesorios), equipos de batido y empaste, formación de placas, armado y carga de baterías; adicionalmente comprende todo el equipo eléctrico requerido en el proceso propiamente dicho, así como los servicios auxiliares propios de una fábrica.

Hago propicio mi reconocimiento al Ing. Carlos Medina R. por sus recomendaciones y consejo preciso en el desarrollo del sistema eléctrico propuesto.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | |
| GENERALIDADES | 2 |
| 1.1.- El Acumulador de Energía Eléctrica y su Clasificación..... | 2 |
| 1.1.1.- Breve Visión Histórica..... | 2 |
| 1.1.2.- Tipos de celdas | 4 |
| 1.1.3.- Clasificación | 6 |
| 1.2.- El Acumulador tipo Plomo Acido..... | 7 |
| 1.2.1.- Materiales (Materias Primas)..... | 9 |
| 1.2.2.- Partes Constitutivas..... | 15 |
| 1.2.3.- Características Técnicas | 30 |
| CAPÍTULO II | |
| PROCESO DE FABRICACIÓN | 37 |
| 2.1.- Etapas del Proceso de Fabricación | 38 |
| 2.1.1.- Abastecimiento de Productos y Materias Primas | 40 |
| 2.1.2.- Etapa de Control de Calidad de los Productos y Materias Primas..... | 40 |
| 2.1.3.- Fundición de Plomo | 40 |
| 2.1.4.- Sección de Empastado | 42 |
| 2.1.5.- Curado de Placas..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 2.1.6.- Tratamiento o Formación de Placas | 50 |
| 2.1.7.- Armado de Acumuladores | 55 |
| 2.1.8.- Cierre del Acumulador | 56 |
| 2.1.9.- Carga de Acumuladores..... | 56 |
| 2.1.10.- Acabado, Control de Calidad y Almacenaje de Acumuladores | 57 |

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA PARA

LA FABRICACIÓN DE 10 000 BATERÍAS MENSUALES

| | |
|--|----|
| 3.1.- Determinación del número de máquinas requeridas en la fabricación y especificación de cada una..... | 59 |
| 3.1.1.- Placas requeridas para una demanda de 10 000 baterías mensuales (600 diarias) y según el tipo de acumuladores requerido..... | 59 |
| 3.1.2.- Cantidad de piezas necesarias y minutos de trabajo por máquina al día.. | 59 |
| 3.1.3.- Selección de Máquinas | 61 |
| 3.1.4.- Determinación del Número de Máquinas Requeridas en el Proceso | 61 |
| 3.1.5.- Descripción de las Máquinas del Proceso Productivo..... | 64 |
| 3.1.6.- Determinación del Tiempo de Carga de los Acumuladores..... | 69 |
| 3.2.- Determinación de la Demanda Eléctrica del Sistema Fabril y del Sistema de Iluminación | 74 |
| 3.2.1.- Zona de Rectificadores para Carga de Baterías..... | 74 |
| 3.2.2.- Zona de Rectificadores para Tratamiento de Placas | 75 |
| 3.2.3.- Zona de Empastadoras y Batidoras..... | 76 |
| 3.2.4.- Zona de Parrilleras..... | 77 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.5.- Zona de Iluminación..... | 77 |
| 3.2.6.- Zona de Emergencia..... | 77 |
| 3.3.- Tabla de Carga y Demanda Eléctrica..... | 77 |
| CAPÍTULO IV | |
| DISEÑO DE LAS REDES EN BAJA TENSIÓN Y | |
| TABLEROS ELÉCTRICOS..... | 80 |
| 4.1.- Diseño de las redes en 230 V - 3 ϕ | 80 |
| 4.2.- Especificaciones técnicas para la obtención de los tableros eléctricos de distribución..... | 81 |
| 4.2.1.- Tablero General..... | 81 |
| 4.2.2.- Tablero para Carga de Baterías (TACB)..... | 82 |
| 4.2.3.- Tablero para Tratamiento de Placas (TATP)..... | 82 |
| 4.2.4.- Tablero para Batidoras y mpastadoras (TABE)..... | 83 |
| 4.2.5.- Tablero de Alimentación de Parrilleras (TAPR)..... | 83 |
| 4.2.6.- Tablero de Alumbrado de Naves (TAN)..... | 84 |
| 4.2.7.- Tablero de Emergencia (T.E.)..... | 84 |
| 4.2.8.- Sistema de Transferencia..... | 85 |
| 4.3.- Cálculo de la iluminación..... | 88 |
| 4.3.1.- Calculo de la iluminación: Nave de fábrica de baterías..... | 88 |
| 4.3.2.- Cálculo de la iluminación: Oficinas administrativas y otros..... | 117 |
| 4.3.3.- Cálculo de reflectores..... | 127 |
| 4.3.4.- Cálculo de la caída de tensión en las naves..... | 129 |

CAPÍTULO V

| | |
|--|------------|
| DISEÑO DE LA RED EN 10 KV Y SUBESTACIÓN DE 10 KV/0,22 KV.... | 138 |
| 5.1.- Diseño de la red en 10 KV - 3 ϕ | 138 |
| 5.1.1.- Cálculo de la Corriente Nominal (I_n)..... | 138 |
| 5.1.2.- Cálculo del cable subterráneo..... | 138 |
| 5.1.3.- Cálculo de la impedancia del cable NKY proyectado..... | 141 |
| 5.1.4.- Cálculo de la caída de tensión | 143 |
| 5.1.5.- Pérdida de potencia y eficiencia..... | 144 |
| 5.1.6.- Cálculo de la corriente de cortocircuito permanente (I_{ccp}), en barras de EDELSUR..... | 145 |
| 5.1.7.- Verificación del cable por corriente de cortocircuito..... | 145 |
| 5.2.- Diseño de la subestación de 10KV/0.22 KV | 146 |
| 5.2.1.- Cálculo de la corriente de cortocircuito permanente en barras de la subestación proyectada..... | 146 |
| 5.2.2.- Cálculo de la corriente de choque I_{ch} | 147 |
| 5.2.3.- Cálculo de la barra de 10 KV en la subestación proyectada | 148 |
| 5.2.4.- Dimensionamiento de aisladores portabarras de media tensión..... | 154 |
| 5.2.5.- Cálculo de la ventilación | 155 |
| 5.2.6.- Cálculo de la puesta a tierra..... | 166 |
| 5.3.- Especificaciones técnicas de equipos y materiales..... | 167 |
| 5.3.1.- Cable eléctrico de media tensión..... | 167 |
| 5.3.2.- Aisladores portabarras | 168 |
| 5.3.3.- Elementos de protección..... | 168 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.4.- Sistema de puesta a tierra | 170 |
| 5.3.5.- Elementos accesorios de protección y maniobra..... | 171 |
| 5.3.6.- Equipamiento electromecánico | 172 |
| 5.3.7.- Transformador de potencia..... | 173 |
| 5.3.8.- Obras civiles | 175 |
| CONCLUSIONES..... | 177 |
| APENDICES..... | 179 |
| BIBLIOGRAFIA | 269 |
| PLANOS..... | 274 |

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1. El acumulador de Energía Eléctrica y su Clasificación

1.1.1. Breve Historia

Además de las pilas, que constituyen verdaderos generadores de electricidad, la Física distingue a otros elementos similares con el nombre de pilas secundarias, las cuales no generan este fluido, sino que lo almacenan. Estos elementos son los acumuladores, siendo básicamente elementos electroquímicos.

Se atribuye a Gastón Planté la invención del acumulador ya que fué el primero de utilidad práctica. Planté presentó su primera batería a la Academia Francesa de Ciencias en 1860. Cada celda de esta batería consistía en dos hojas de Plomo separadas por tiras de caucho y enrolladas en forma de espiral. El elemento así formado se sumergía en una solución diluída de ácido sulfúrico al 10 por ciento, aproximadamente. La batería consistía en nueve celdas como la descrita, conectadas en paralelo. Todo ello se hallaba protegido dentro de un recipiente aislante y a cada uno de los polos se les conectó terminales.

Planté estudió la carga y descarga de esta celda sencilla y dijo que almacenaba la "**obra química**" de la pila voltaica. Observó que era posible aumentar considerablemente la capacidad de la celda por medio de un proceso que en la actualidad se conoce con el nombre de formación. Después de un período de carga, descargaba la celda y la dejaba reposar un tiempo, durante el cual la **acción local**

transforma el recubrimiento de peróxido de la placa positiva en sulfato de Plomo. De vez en cuando invertía la polaridad y repetía el proceso de carga y descarga para aumentar la capacidad de la celda.

En comparación con las baterías primarias (pilas), el nuevo acumulador tenía la desventaja de requerir mucho tiempo para la formación de las placas y el empleo de muchas baterías primarias para cargarlo. Pero, en 1873, Planté presentó un generador de Gramme impulsado a mano con el cual se podía cargar la batería, e hizo un interesante experimento para ilustrar la transformación de una forma de energía en otra. La energía mecánica que se empleaba en hacer girar la manivela producía energía eléctrica en el generador, y ésta, a su vez, se transformaba en energía química en la batería. Cuando la batería estaba cargada y se interrumpía el movimiento de la manivela del generador, se dejaban conectadas las unidades y el generador funcionaba como motor. La energía química se convertía entonces en energía eléctrica, que el motor volvía a transformar en energía mecánica. De esta manera se completaba el ciclo de transformaciones.

El nombre de Planté se ha perpetuado en el acumulador, en la llamada placa de Planté. Este tipo de placa, a distinción de otras, consiste en una hoja de Plomo en que el material activo se forma electroquímicamente del Plomo de la placa misma.

En 1881, Fauré patentó un proceso para empastar (recubrir) la superficie de las placas (electrodos) con un compuesto de Plomo, del que podían formarse más fácilmente los materiales activos de la batería acabada. Aplicó una capa de Plomo rojo (llamado comúnmente minio, Pb_3O_4) a la superficie de placas lisas de Plomo, enrollándolas juntas con una capa de franela entre ellas como separador. Este tipo de

celda tenía una marcada superioridad en capacidad y facilidad de formación con respecto a la celda de Planté.

A finales de 1881, Volckmar patentó el uso de placas de Plomo con numerosos orificios (rejilla) que se llenaban de una pasta hecha de Plomo pulverizado mezclado con ácido sulfúrico. Estos soportes para el material activo eran mejores que las placas planas que usó Fauré.

Así, la constitución fundamental de los acumuladores no ha variado, prácticamente, hasta nuestros días. Debido a su contribución, los acumuladores de Plomo se suelen llamar también con el nombre de acumuladores Fauré.

Puede decirse que la industria de los acumuladores tuvo sus inicios con los experimentos de Planté, en 1859. Durante los siguientes 20 años, el acumulador fue poco más que un aparato de laboratorio. El proceso de Fauré para formar el material activo con óxidos de Plomo simplificó y abarató el proceso de manufactura en 1881. Aproximadamente en esa época aparecieron los motores dinamoeléctricos para cargar baterías.

A partir de 1990, la industria se caracterizó por la producción de baterías compactas y portátiles y por el gran aumento de baterías usadas. En esta época se inventó la batería alcalina de Tomas Alva Edison y Waldemar Jungner.

1.1.2. Tipos de celdas

Un acumulador eléctrico consiste en dos o más celdas conectadas que convierten la energía química en energía eléctrica. La celda es la unidad de la batería o acumulador, pero a veces se usa la palabra "batería" para designar a una sola celda. Las partes esenciales de una celda son dos electrodos diferentes sumergidos en un

electrólito que se halla en un recipiente adecuado. El electrólito es una solución acuosa de ciertos ácidos, alcalis o sales que se adaptan para este fin.

Las celdas pueden clasificarse en dos grupos generales:

- a) celdas primarias, y
- b) celdas secundarias

La distinción entre las celdas primarias y secundarias se basa en la naturaleza de las reacciones químicas que ocurren en ellas cuando están en operación.

La más conocida de las celdas primarias es la "pila seca". Las celdas primarias convierten la energía química en energía eléctrica, y al hacerlo se agotan. Las pilas secas, cuando ya no son útiles, se desechan.

A las celdas secundarias se les denomina acumuladores; éstos convierten la energía química en energía eléctrica por reacciones que son esencialmente reversibles; es decir, pueden ser cargados por una corriente eléctrica que pase por ellos en dirección opuesta a la de su descarga. Durante este proceso la energía eléctrica se transforma en energía química que puede usarse posteriormente como energía eléctrica otra vez.

En casi todas sus aplicaciones, los acumuladores se usan en grupos o baterías, cuyo número de celdas y su tamaño depende del servicio requerido. Son dos los factores que determinan la combinación de las celdas: uno de ellos es el requerimiento de voltaje, y el otro, la capacidad de corriente.

Ordinariamente la resistencia interna de una celda es reducida, y puede despreciarse si se le compara con la resistencia del circuito externo; además el voltaje de servicio de una celda es menor que su fuerza electromotriz debido a la resistencia interna de la misma.

1.1.3. Clasificación

Las baterías pueden clasificarse en dos grupos:

- a) baterías de Plomo, y
- b) baterías de ferro-níquel

En las baterías de ferro-níquel, también llamadas "alcalinas", el proceso de ~~almacenamiento~~ almacenamiento de la energía se efectúa de un modo similar a las baterías de Plomo, pero con la ventaja de estar exentas del fenómeno de la sulfatación, que es el mal que aqueja de una manera muy nociva a la vida de las baterías de Plomo. En este aspecto puede decirse que la vida de una batería de Plomo es extraordinariamente inferior a la de una batería de ferro-Níquel; sin embargo, la batería de Plomo tiene costos mucho más bajos que la de ferro-Níquel.

Las placas positivas, por ejemplo, de los acumuladores alcalinos Edison están llenas de hidróxido Niqueloso que se convierte en un óxido superior de Níquel por el proceso de formación. Como este material no es conductor, se hacen adiciones de Níquel o grafito escamoso para darle la conductividad necesaria.

El electrolito para todas las celdas alcalinas es una solución de hidróxido de Potasio en agua, a la que siempre se agrega una pequeña cantidad de hidróxido de Litio.

Las placas negativas, del tipo Edison, se llenan inicialmente con una mezcla fina y precisa de hierro metálico, óxido ferroso y óxido mercuríco.

Existen otros tipos de baterías alcalinas:

- La batería alcalina de Cadmio-Níquel, o de Jungner, que incluye en las placas negativas óxido de Cadmio, CdO , o hidróxido de Cadmio, $Cd(OH)_2$, cualquiera de los cuales se reduce a Cadmio metálico en forma esponjosa en la primera carga.

Casi todos los fabricantes de estos acumuladores agregan hierro (5 a 30 por ciento) al Cadmio a fin de obtener el grado requerido de finura.

- El acumulador alcalino que emplea Zinc y Óxido de Plata como electrodos en una solución de Hidróxido de Potasio saturada.

1.2. El Acumulador tipo Plomo Ácido

Como hemos establecido anteriormente, el acumulador está compuesto por una serie de placas entre las que se establece la diferencia de potencial eléctrico en la magnitud para la que se diseña. Por lo tanto existen placas positivas y placas negativas y entre ambas se establece un circuito eléctrico. El material activo de la placa positiva es el peróxido de Plomo (PbO_2), y la placa negativa se halla compuesta únicamente de Plomo esponjoso (Pb). Los otros cuerpos que hemos señalado, el ácido sulfúrico (SO_4H_2) y el agua (H_2O), se hallan en estado líquido alrededor de las placas y forman lo que se denomina el electrólito.

Una batería, entonces, se halla en estado de carga ("cargada"), cuando los diversos cuerpos químicos que la componen se hallan en el siguiente estado:

| | | |
|----------------------------------|--|------------------------|
| Placa Positiva | Electrólito | Placa Negativa |
| PbO_2 | $\text{SO}_4\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | Pb |
| Peróxido de Plomo | | Plomo esponjoso |

Para producirse el paso de la corriente eléctrica debe cumplirse lo que sigue: el ácido sulfúrico del electrólito se descompone y parte de su oxígeno y de su azufre se han unido al peróxido de Plomo de la placa positiva formando sulfato de Plomo (SO_4Pb_2). Por otro lado, otras partes de Oxígeno y Azufre se han combinado con el

Plomo puro de la placa negativa formando también sulfato de Plomo. Adicionalmente, se realiza otra transformación química, la del hidrógeno que ha quedado libre al producirse la combinación del ácido sulfúrico del electrolito. Este hidrógeno y parte del oxígeno se combinan formando agua (H₂O).

En conclusión, durante la descarga, las placas se convierten parcialmente ricas en sulfato de Plomo, mientras el electrolito queda más pobre en ácido y más rico en agua. De esta manera, una batería descargada, en cuanto a su proceso químico, se halla en las siguientes condiciones:

| Placa positiva | Electrolito | Placa negativa |
|-------------------------|--|-------------------------|
| SO₄Pb | SO₄H₂ + H₂ | SO₄Pb |

Se debe aclarar que este proceso se cumple desde el punto de vista químico, con bastante mayor complejidad que la descrita. La fórmula que establecieron Tribe y Gladstone en 1882, llamada de doble sulfatación es admitida pero no sin fuertes discusiones. Esta fórmula reversible es la siguiente:



En esta fórmula, cuando la corriente de carga es introducida en la batería, la reacción se cumple de izquierda a derecha y cuando es la batería la que cede la corriente la reacción se cumple de derecha a izquierda.

1.2.1. Materiales (Materias Primas)

1.2.1.1. Plomo

Es el material más utilizado en la construcción de acumuladores. Además cuando se desechan los acumuladores, el 80 por ciento del Plomo que contienen es recuperable en forma de metal secundario. El Plomo se obtiene principalmente de la galena, que es sulfuro de Plomo, PbS.

La propiedad eléctrica más importante en el diseño de los acumuladores de Plomo es la resistividad. En una barra fundida se obtiene $0,0000212 \Omega\text{-cm}$ a 20°C , o sea, unas doce veces la resistividad del Cobre.

Así mismo, las propiedades químicas del Plomo son de gran importancia en lo que se refiere al rendimiento del acumulador. Las impurezas en pequeñas cantidades ejercen una marcada influencia en las propiedades mecánicas y electrolíticas del Plomo.

Con Plomo y Antimonio se forma una aleación para fabricar las rejillas del acumulador. La cantidad de Antimonio va de 5 a 12 por ciento.

Las razones fundamentales para incluir Antimonio en la aleación son:

- a) el material fluye mejor en el molde,
- b) la aleación produce vaciados definidos, y
- c) la aleación es menos susceptible a la formación electroquímica y puede usarse como apoyo para el material activo sin perder su fuerza al ser "formado" cuando se usa en la batería.

1.2.1.2. Oxidos de Plomo

Los siguientes óxidos de Plomo constituyen materiales fundamentales en la fabricación de acumuladores:

El monóxido, llamado comúnmente Litargirio ú óxido plumboso, PbO. Este óxido se obtiene pasando aire por el plomo fundido en un horno de reverbero. Al enfriarse, el óxido tiene una coloración amarilla y es estable a temperaturas ordinarias. Estos óxidos de Plomo (conocidos también como Plomo en polvo) pueden usarse directamente para hacer las placas negativas y se acostumbra una mezcla con un 20 por ciento de Plomo rojo (Minio) para hacer las placas positivas. Entre las ventajas de usar estos óxidos de alto contenido metálico se cuentan la mayor resistencia de las placas, la resistencia al desprendimiento y el aumento de la vida en servicio.

Plomo rojo, llamado comúnmente Minio, Pb₃O₄. Se hace con una nueva oxidación del Litargirio a la temperatura de 400 a 500 °C. Sin embargo, la oxidación raras veces es completa, y las partículas más gruesas conservan un núcleo del óxido inferior. El llamado Plomo rojo para baterías contiene ordinariamente un 25 por ciento de Litargirio. El Plomo rojo tiene su mayor aplicación en la industria de los acumuladores para mezclarse con otros óxidos.

Ambos tipos de óxidos se utilizan en la elaboración de las placas y pastas de las placas positivas y negativas en los acumuladores, en las proporciones y características que se describen a continuación.

Óxido de Plomo para placas positivas

Este óxido es obtenido por un proceso de oxidación del Plomo caliente y agitado vigorosamente, contiene alto contenido de Plomo libre; el Plomo puro es producido por rodamientos de pequeñas piezas del Plomo en un molino rotatorio. La principal diferencia de estas diferentes manufacturas de materiales en uso actualmente es la finura de la partícula en el óxido. Ambos materiales tienen aproximadamente 30 % de Plomo libre (en polvo) y 70 % de óxido de Plomo. Tal óxido es algunas veces

llamado "Leady Oxide", algunas veces el Plomo rojo es agregado al óxido de Plomo en una cantidad aproximada de 10 a 20 % en peso, esto ayuda a la formación de las placas positivas.

Tabla N° 1

Máximo porcentaje de impurezas permitido en Acumuladores de Plomo

| Impureza | Porcentaje máximo permitido |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Fierro | 0,020 |
| Cobre | 0,010 |
| Antimonio, Arsénico y Estaño | 0,005 |
| Níquel y Cobalto | 0,002 |
| Zinc y Cadmio | 0,002 |
| Bismuto | 0,100 |
| Plata | 0,010 |
| Calcio | 0,040 |
| Sílice | 0,050 |
| Platino | Nada |
| Pb ₃ O ₄ | 0,250 |
| PbSO ₄ | 0,200 |

Óxido de Plomo para placa negativa

Este óxido puede ser aproximadamente el mismo que para placas positivas (sin plomo rojo), excepto que debe agregársele expansor (trataremos del expansor en el siguiente ítem).

Una de las propiedades de estos óxidos de plomo tiene relación con la cantidad de las impurezas presentes. Se requiere un elevado estado de pureza de los óxidos que se usan en la fabricación de acumuladores. Un buen grado de los óxidos destinados a usarse en los acumuladores tendría las cantidades de impurezas que se indican en la Tabla N° 1.

1.2.1.3. Expansores para las placas negativas

Los expansores son sustancias que se agregan en pequeñas cantidades a la pasta para hacer placas negativas a fin de impedir la contracción y solidificación del plomo esponjoso, con la consecuente pérdida de capacidad y vida de la batería terminada.

Es notable el hecho de que la adición de varios de los expansores en el agregado, que ascienda a sólo 1 ó 2 por ciento, pueda aumentar la capacidad de las placas negativas hasta varios centenares por ciento.

Una fórmula típica del expansor es la indicada a continuación.

Tabla N° 2

Composición porcentual típica del material expansor

| | CLIMA TEMPLADO | CLIMA TROPICAL |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| MATERIAL EXPANSOR | Porcentaje en peso de óxido usado | |
| Agente orgánico | 0,20% | 0,10% |
| BaSO ₄ (Bario) | 0,30% | 0,15% |
| Negro de Humo | 0,20% | 0,10% |

El agente orgánico puede ser la Lignina y el ácido lignin-sulfónico, que pueden obtenerse de la madera.

En la celda, la materia orgánica se agrega a la superficie esponjosa de plomo, contribuyendo a que permanezca activa y libre de una capa de sulfato de Plomo que, de otra manera, sería impermeable. De esta manera se reduce la polarización y aumenta la capacidad de la batería.

El sulfato de Bario fuertemente precipitado en los poros de las placas negativas aumenta la capacidad de las placas. La especificación aceptable es la que se muestra a continuación.

Tabla N° 3

Presencia del sulfato de Bario en los poros de las placas negativas

| Elemento | Porcentaje permitido máximo |
|------------------|--|
| Sulfato de Bario | 97,00 |
| Humedad | 0,25 |
| Fierro | 0,03 |
| Magnesio | 0,25 |
| Cloro | <u>Trazas</u> |

El negro de humo deberá estar libre de aceite o materias resinosas, determinadas por un decoloramiento con bencina, el negro de humo deberá no tener menos del 75 % de humectabilidad inicial en ácido sulfúrico de 1,400 gr/cc de densidad.

El negro de humo satisface el propósito útil de aclarar las placas negativas durante la formación. La cantidad usada es de 0,15 por ciento, y rara vez excede del 0,2 por ciento.

Algunos fabricantes encuentran adecuado mejorar la rigidez o durabilidad de placas empastadas sin formar adicionando un plástico llamado fibra Dynel, el cual es designado como tipo 150, sin rizar de 3 mm. y 3 denier. El material debe estar libre de fibras grandes como las que se producen si el material no es cortado perfectamente.

1.2.1.4. Acido Sulfúrico

Los acumuladores requieren de una gran pureza del ácido sulfúrico. Por esta razón es preferible el ácido hecho de Azufre puro al ácido hecho con piritas. No siempre se puede determinar cuál es la fuente del ácido, y por tanto, es importante contar con las especificaciones para asegurarse de que se obtiene un grado adecuado de pureza.

Tabla N° 4

Pureza de Ácido Sulfúrico y Soluciones para Acumuladores

(Las gravedades específicas son a 60°F)

| Impurezas | Límites máximos (%) |
|--------------------------------|---------------------|
| Fierro (Fe) | 0,015 |
| Arsénico (As) y Antimonio (Sb) | 0,0002 |
| Manganeso (Mn) | 0,00004 |
| Nitratos (NO ₃) | 0,0005 |
| Amonio (NH ₄) | 0,002 |
| Cloro (Cl) | 0,001 |
| Cobre (Cu) | 0,005 |
| Platino (Pt) | nada |
| Materia Orgánica | trazas |
| Residuo fijo | 0,05 |

Límites de las impureza en el ácido sulfúrico

Las especificaciones para el ácido sulfúrico, tanto en la forma concentrada como cuando está diluido para usarse en los acumuladores, difieren mucho en cuanto a la cantidad de impurezas que se considera tolerable. Lo que sí debe mencionarse es que éstas deben limitar las impurezas a cantidades tales que se encuentren dentro de los límites para un funcionamiento satisfactorio de los acumuladores.

La Tabla N° 4 nos proporciona los valores que pueden tolerarse para las baterías nuevas cuando están completamente cargadas. Algunas impurezas tienden a acumularse al aumentar la edad de la batería, pero no todas ellas permanecen en el electrólito.

1.2.1.5. Agua

Debe preferirse el agua destilada para los acumuladores.

En la Tabla N° 5 se señalan los límites máximos tolerables de impurezas que puede contener el agua natural para que pueda usarse sin riesgo en las baterías.

Tabla N° 5

Impurezas Máximas Permisibles Recomendadas en el Agua para Acumuladores

| Impureza | Calculado como | Partes por millón |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Color | ----- | Indicios claros y "blancos" |
| Materia Suspendida Sólidos totales | ----- | 100,0 |
| Oxidos de Calcio y Magnesio | CaO y MgO | 40,0 |
| Hierro | Fe | 5,0 |
| Amoniaco | NH ₄ | 8,0 |
| Materia Orgánica y volátil | ----- | 50,0 |
| Nitratos | NO ₃ | 10,0 |
| Nitritos | NO ₂ | 5,0 |
| Cloruro | Cl | 5,0 |

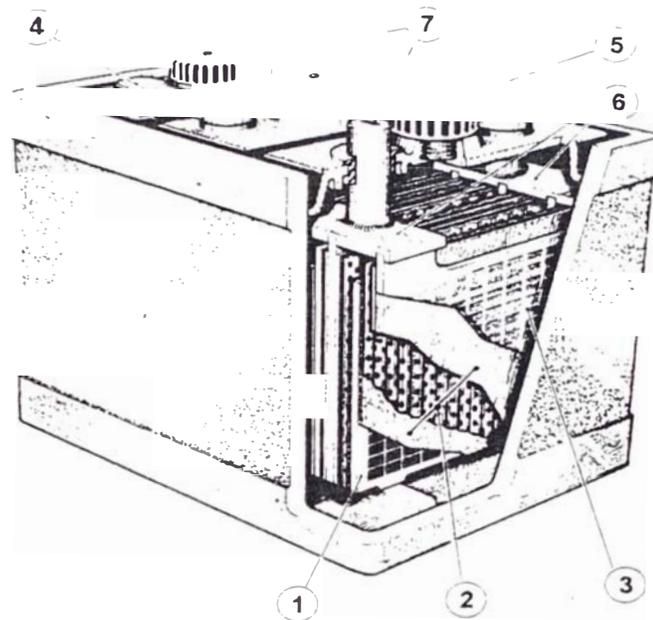
La presencia de Cloro, abundante en los suministros públicos, excluye a éstos de su utilización en los acumuladores. Adicionalmente debe verificarse que el contenido de Hierro en el agua sea mínimo.

1.2.2. Partes Constitutivas

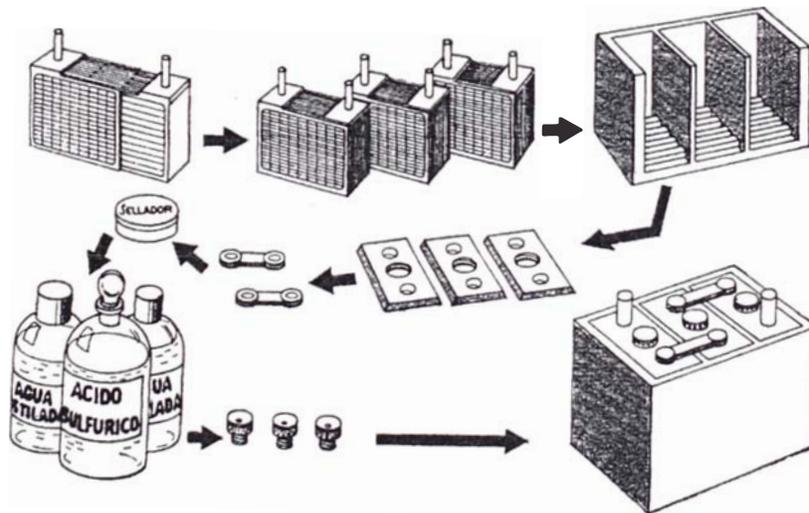
Los elementos de un acumulador de Plomo son los siguientes:

1. Placas
2. Separadores
3. Recipiente
4. Electrolito
5. Conexiones

Estos pueden observarse parcialmente en la Figura N° 1, donde se muestra además el despiece y el orden de montaje de la batería.



(a)



(b)

Figura ° 1.(a) Corte parcial de una batería de acumuladores de plomo: 1.- Placa positiva; 2.- Conjunto de los separadores; 3.- Placa negativa; 4.- Conector; 5.- Tapón de aireación; 6.- Puentes de unión; 7.- Bornes de la batería.

(b) Despiece de una batería y orden de montaje de ésta, siguiendo la indicación de las flechas.

1.2.2.1. Placa

Los electrodos (placas) son de Plomo y sales del mismo material, separados entre sí por materiales varios y sumergidos en una solución de ácido sulfúrico en agua.

Por lo que antecede, las placas de los acumuladores eléctricos de Plomo pueden ser:

- 1.- Placas construídas de acuerdo con el sistema de Fauré, empleando una rejilla o una placa de Plomo como núcleo.
- 2.- Placas compuestas totalmente de masa activa y que llevan a su alrededor un marco de Plomo duro para la entrada de la corriente.
- 3.- Placas de Plomo macizo construídas según el procedimiento de Planté (placas de gran superficie).

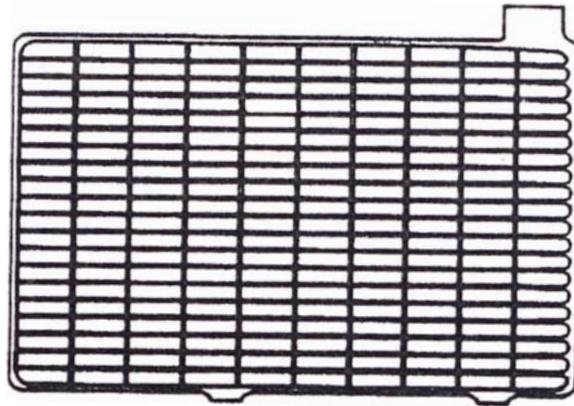
Estableceremos los procesos de fabricación de cada uno de los casos en el punto correspondiente. El masivo empleo de las rejillas será motivo de nuestro estudio.

Las Rejilla

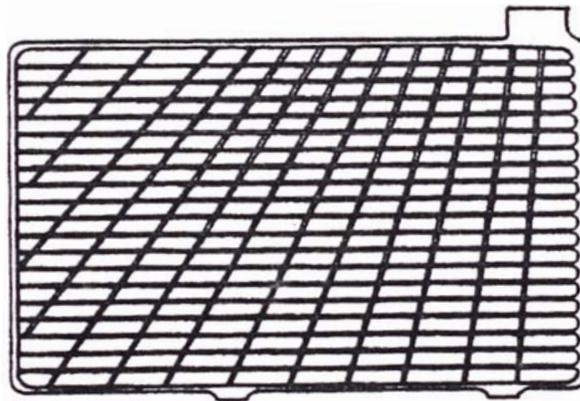
Las rejillas sirven como apoyo para el material activo (la pasta) de las placas y además para conducir la corriente eléctrica. Las rejillas desempeñan también la importante función de mantener una distribución uniforme de la corriente en la pasta de las placas. Si la distribución de la corriente no es uniforme, los cambios de volumen de las placas durante los procesos de carga y descarga tampoco serán uniformes, lo que originará que la pasta de las placas tienda a deformarse y desmoronarse.

Las rejillas de las placas positivas y negativas suelen tener el mismo diseño, composición y peso; pero es posible hacer más ligera la rejilla negativa, pues está menos propensa a la corrosión que la rejilla de la placa positiva.

En la Figura N° 2 se muestra el diseño de las rejillas de los acumuladores de Plomo.



(a) Diseño convencional.



(b) Diseño optimizado.

Figura ° 2. Se muestran en (a) y (b) la diferencia entre una rejilla convencional y una rejilla radial donde los conductores verticales son radiales favoreciendo la salida de corriente y aumentando la potencia de la batería.

En términos generales, se usan rejillas ligeras en las baterías diseñadas para descargas pesadas de corta duración, pero en las baterías de larga vida, en las que la descarga es intermitente o que se extiende por un largo período de tiempo, se emplean rejillas más pesadas.

En su mayoría, las rejillas se fabrican con una aleación de Plomo y Antimonio, y frecuentemente usan diseños que tienen por objeto fijar el material activo o pasta en su lugar y en los que se puede identificar al fabricante.

1.2.2.2. Separadores

Si la separación entre las placas se dejara exclusivamente al arbitrio de los PUENTES DE UNION, las placas, tarde o temprano, llegarían a juntarse, ya que con el tiempo éstas tienden a ondularse, produciéndose el lógico cortocircuito y por lo tanto las placas que se hallaran en contacto dejarían de cumplir su función de almacenamiento de la corriente eléctrica. Ello como es lógico debilitaría el poder de carga de la batería y traería consigo nocivos inconvenientes.

Para impedir el contacto entre placas de polaridad opuesta se insertan láminas separadoras con la porosidad suficiente que permite el flujo iónico.

De este modo se consigue aproximar hasta el máximo las placas de diferente signo, lo que permite reducir las dimensiones de la batería y evitar el peligro de los cortocircuitos que fácilmente se producirían de otro modo.

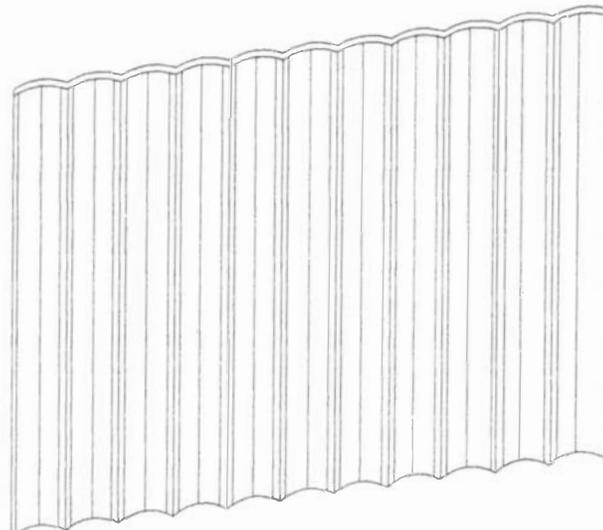


Figura ° 3. Separador de placas.

En la Figura N° 3 se observa un separador. El lado ranurado del separador se coloca siempre junto a la **placa positiva**. Esto se hace por que: se reduce al mínimo el contacto del separador con el material muy oxidante de la placa positiva, y se obtiene un mayor volumen de ácido para que lo use la placa positiva durante la descarga. En descargas muy intensas, la capacidad máxima de la placa positiva sólo se alcanza para concentraciones **moderadamente** altas del ácido. Es necesario, por lo tanto, que la placa positiva tenga una amplia provisión de ácido.

Actualmente la mayoría de acumuladores usan separadores de PVC no plastificados y otros materiales similares.

1.2.2.3. Recipiente

El recipiente no es más que el receptáculo encargado de sostener en su interior el conjunto de placas y demás accesorios de las mismas y el electrolito.

El recipiente debe ser tal que una, a sus condiciones de resistencia mecánica para soportar el peso considerable de las placas de plomo, la cualidad básica de que no pueda ser atacado por el ácido. Se comprende además, que el recipiente debe poseer **inmejorables** condiciones como aislante para evitar cortocircuitos que inutilizarían rápidamente la batería.

Los materiales más idóneos para cumplir todos estos exigentes requisitos, son la bakelita y el PVC porque, además, tienen la virtud de su poco peso.

Para baterías estacionarias, se usa con mucha frecuencia el PVC transparente y el vidrio. Estos tienen la ventaja de su menor costo además de que a través de él pueden verse las placas y el electrolito, lo que facilita un mejor control.

En la parte baja del recipiente es necesario que existan una serie de resaltes longitudinales o canales sobre los que puedan apoyarse las placas y que al mismo

tiempo, el espacio que queda entre dichos canales sirva para que se vayan depositando allí las impurezas que con el tiempo las baterías de Plomo van desprendiendo.

En la Figura ° 4 se muestran los detalles de un recipiente.

1.2.2.4. Electrólito

El electrólito de los acumuladores de Plomo es una solución acuosa de ácido sulfúrico; es de suma importancia que el ácido empleado sea puro, ya que, pequeños indicios de otros metales pueden originar efectos perjudiciales tales como: corroer las placas, acelerar la formación de sulfato de Plomo o depositarse en los poros de las placas.

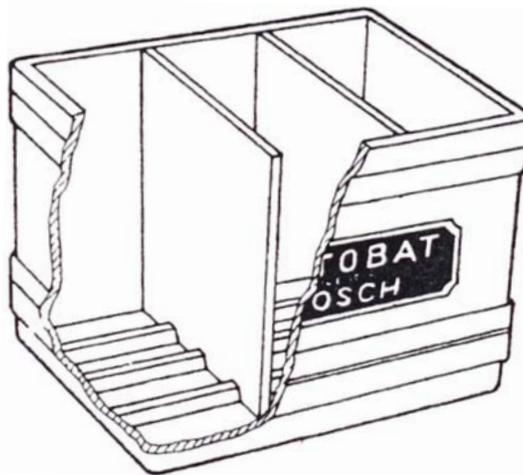


Figura 4. Corte parcial de un recipiente para batería de Acumuladores de plomo.

La mezcla de estos dos productos (agua y ácido sulfúrico) es forzoso que reúna unas condiciones determinadas para que el electrólito posea las cualidades requeridas que permitan su transformación en materia activa a través de la reacción química antes explicada.

Medición de las soluciones de ácido sulfúrico

La operación cuidadosa de los acumuladores requiere que el electrolito contenga la cantidad adecuada de ácido sulfúrico y agua. El método generalmente usado es el de medir la gravedad específica, o la densidad de la solución, a una temperatura determinada. La concentración puede expresarse también como porcentaje, por peso o volumen, del ácido sulfúrico en la solución, lo que es conveniente para preparar soluciones de una fuerza determinada.

En el trabajo de los acumuladores es preferible usar las gravedades específicas en lugar de cualquiera otra escala arbitraria.

Propiedades de las soluciones de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico concentrado es un líquido claro, incoloro e inodoro que tiene la consistencia de aceite ligero. Su gravedad específica es de 1,84 a 15 °C, y contiene un 95 por ciento de ácido.

Es miscible en todas las proporciones con el agua, formando una serie de hidratos, varios de los cuales son de interés en las investigaciones sobre acumuladores. Cuando el ácido se mezcla con agua se desprende una gran cantidad de calor. El ácido sulfúrico es un agente deshidratador que tiene una afinidad tan fuerte por el agua que puede eliminar hasta el agua combinada químicamente en sustancias tales como los separadores de las baterías.

Las propiedades más importantes de las soluciones del ácido sulfúrico son:

a) Resistividad

La resistencia eléctrica en el electrolito varía con la concentración y la temperatura. Los electrolitos usados en los acumuladores se encuentran dentro del intervalo de las menores resistividades de las soluciones de ácido sulfúrico. Las

soluciones de un 30 por ciento (1,223 de gravedad específica a 15 °C) de ácido sulfúrico tienen resistividad mínima, y son las recomendables a esa temperatura de trabajo; sin embargo hace algunos años se ha descubierto que hay que variar ligeramente las proporciones de ácido y agua para obtener la resistividad mínima a otras temperaturas. Así, a +30 °C, la solución de menor resistencia contiene 31,5 por ciento de ácido, pero a 25 °C, la solución deberá contener 26,5 por ciento.

La resistividad de las soluciones de ácido sulfúrico aumenta rápidamente al reducir la temperatura, particularmente cuando es inferior a 0 °C.

En la Tabla 6 se muestran algunas determinaciones de la resistividad de soluciones de ácido sulfúrico.

b) Punto de congelación

El punto de congelación del electrolito varía con su concentración. En consecuencia varía con el estado de carga de la batería.

Tabla N° 6

Resistividad de soluciones de ácido sulfúrico

| Temperatura | | Resistividad en Ω -Cm | | | | Para resistividad mínima | |
|-------------|-----|------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------|--------------|
| °C | °F | 15% | 25% | 35% | 45% | % | Ω -Cm |
| 30 | 86 | 1,596 | 1,180 | 1,140 | 1,312 | 31,5 | 1,129 |
| 25 | 77 | 1,689 | 1,261 | 1,231 | 1,422 | 31,1 | 1,213 |
| 20 | 68 | 1,800 | 1,357 | 1,334 | 1,549 | 30,6 | 1,310 |
| 10 | 50 | 2,090 | 1,606 | 1,602 | 1,885 | 29,8 | 1,562 |
| 0 | 32 | 2,51 | 1,961 | 1,998 | 2,371 | 28,8 | 1,928 |
| -10 | 14 | --- | 2,50 | 2,60 | 3,10 | 27,9 | 2,48 |
| -20 | - 4 | --- | 3,35 | 3,57 | 4,31 | 26,9 | 3,34 |
| -30 | -22 | --- | --- | 5,29 | 6,35 | --- | --- |
| -40 | -40 | --- | --- | 8,39 | 9,89 | --- | --- |

La Tabla N° 7 muestra los puntos de congelación de soluciones de ácido sulfúrico.

Los puntos de congelación de las soluciones de ácido sulfúrico puro no son exactamente los mismos que los puntos de congelación del electrolito de la misma gravedad específica tomado de un acumulador. La diferencia es pequeña. En la Figura N° 5 se pueden observar las curvas para la determinación del punto de congelación del electrolito y soluciones de ácido sulfúrico (a 25°C).

Tabla N° 7

Puntos de Congelación de Soluciones de Acido Sulfúrico Puro

| Gravedad Específica a 15°C | Puntos de Congelación | | Gravedad Específica a 15°C | Puntos de Congelación | |
|----------------------------|-----------------------|-----|----------------------------|-----------------------|-----|
| | °C | °F | | °C | °F |
| 1,000 | 0 | +32 | 1,450 | -29 | -20 |
| 1,050 | - 3,3 | +26 | 1,500 | -29 | -20 |
| 1,100 | - 7,7 | +18 | 1,550 | -38 | -36 |
| 1,150 | -15 | + 5 | 1,600 | * | * |
| 1,200 | -27 | -17 | 1,650 | * | * |
| 1,250 | -52 | -61 | 1,700 | -14 | + 6 |
| 1,300 | -70 | -95 | 1,750 | + 5 | +40 |
| 1,350 | -49 | -56 | 1,800 | + 6 | +42 |
| 1,400 | -36 | -33 | 1,835 | -34 | -29 |

* Puntos de congelación indeterminados.

El que el ácido se congele no impide que el acumulador suministre corriente; esto ocasiona una pequeña reducción en la capacidad.

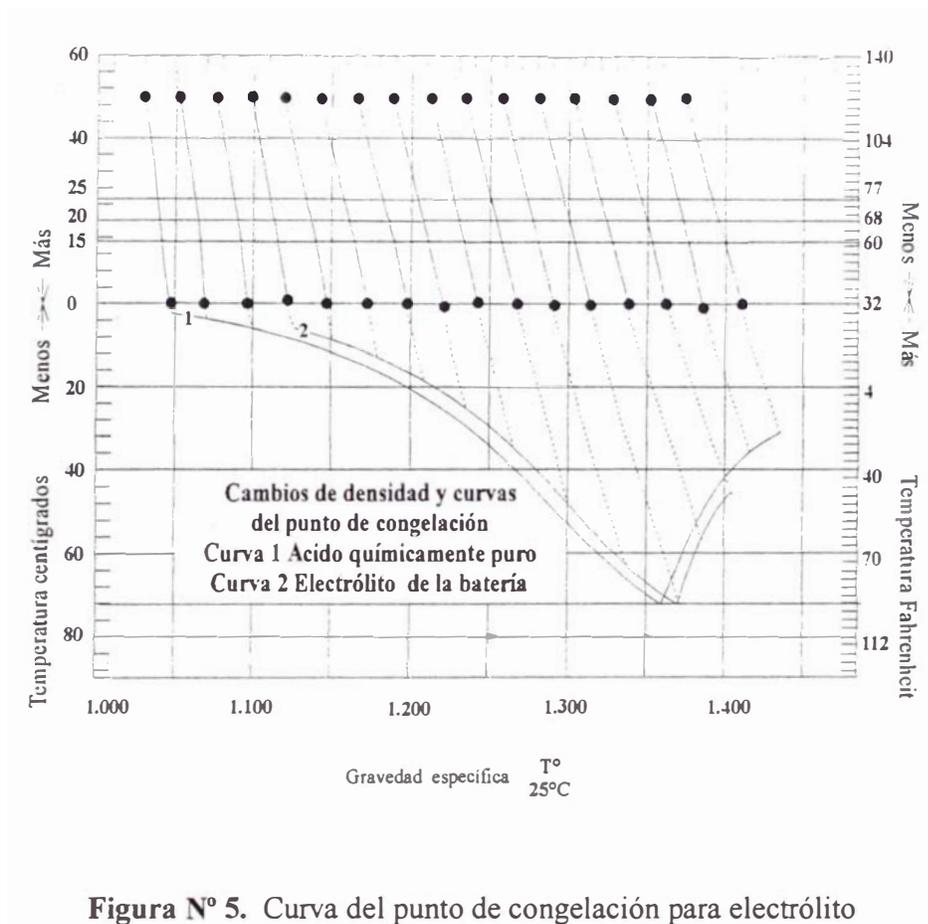


Figura N° 5. Curva del punto de congelación para electrolito y soluciones de ácido sulfúrico.

c) Viscosidad

Tiene gran importancia conocer la viscosidad de las soluciones de ácido sulfúrico, porque de ella depende la difusión del ácido por los poros de la placa.

En la Tabla N° 8 se dan las viscosidades absolutas, expresadas en Centipoises, para porcentajes convenientes de ácido sulfúrico.

El intervalo usual de los electrolitos para acumuladores se encuentra entre 20 y 40 por ciento. La viscosidad se duplica entre 25 °C y 0 °C. Bajo cero, la viscosidad aumenta más rápidamente, lo que explica que la capacidad de los acumuladores descienda con tanta rapidez en tales casos.

Tabla N° 8

Viscosidad de Soluciones de Acido Sulfúrico

| Temperatura | | Viscosidad (centipoises) | | | | |
|-------------|-----|-----------------------------|-------|--------|-------|-------|
| °C | °F | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| 30 | 86 | 0,976 | 1,225 | 1,596 | 2,163 | 3,07 |
| 25 | 77 | 1,091 | 1,371 | 1,784 | 2,409 | 3,40 |
| 20 | 68 | 1,228 | 1,545 | 2,006 | 2,70 | 3,79 |
| 10 | 50 | 1,595 | 2,010 | 2,600 | 3,48 | 4,86 |
| 0 | 32 | 2,160 | 2,710 | 3,520 | 4,70 | 6,52 |
| -10 | 14 | --- | 3,820 | 4,950 | 6,60 | 9,15 |
| -20 | - 4 | --- | --- | 7,490 | 9,89 | 13,60 |
| -30 | -22 | --- | --- | 12,200 | 16,00 | 21,70 |
| -40 | -40 | --- | --- | --- | 28,80 | --- |
| -50 | -58 | --- | --- | --- | 59,50 | --- |

1.2.2.5. Conexiones

Para concluir la descripción de las partes de una batería solamente faltan algunos detalles, que se indican a continuación.

a) Puente de unión

El paquete de placas negativas forman un conjunto unido entre sí que es independiente del conjunto de las placas positivas, ya que ambas no deben, en ningún momento, estar en contacto durante el funcionamiento de la batería. Para que esto ocurra así, todas las placas de un mismo signo se agrupan por medio de una pieza que recibe el nombre de Puente de Unión.

Esta pieza, ver Figura N° 6, es una placa en cuya parte superior se halla el borne A, que saldrá al exterior de la caja de la batería y por medio del cual circulará la corriente de las placas. Por la parte inferior del Puente de Unión, tal como se muestra en la figura, existen una ranuras donde se encajan las placas del acumulador, debidamente soldadas; el Puente de Unión debe ser un buen conductor eléctrico.

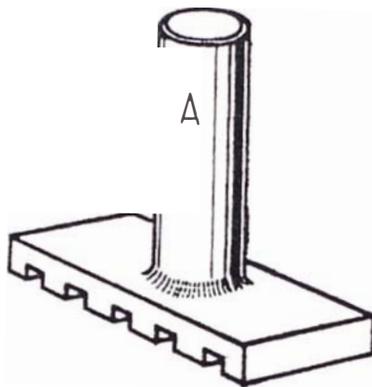


Figura ° 6. Puente de unión entre placas.

b) Tapa del acumulador

Es la pieza que servirá para proteger las placas del exterior. Debe reunir las mismas condiciones de impermeabilidad, robustez, resistencia eléctrica y resistencia al ataque del ácido que tiene el material del recipiente. Se le fabrica de este mismo material.

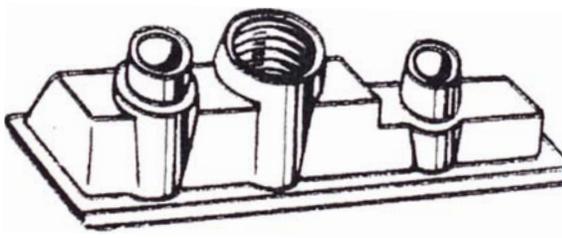
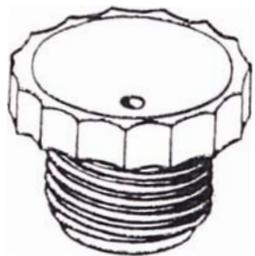


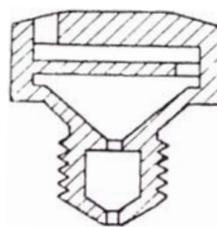
Figura ° 7. Tapa del acumulador.

Consta fundamentalmente, según se observa en la Figura N° 7, de tres agujeros efectuados en la parte central. Cada uno de estos agujeros tiene una misión diferente. Los agujeros extremos sirven para dejar paso al exterior de la batería a los bornes de

las placas; el agujero central, que debe hallarse roscado para alojar el tapón de aireación y verificación del electrólito (Figura N° 8), debe ser el de mayor diámetro.



(a)



(b)

Figura N° 8. (a) Tapón de aireación.
(b) Sección del tapón de aireación.

En cada uno de los bornes, que sobresalen por los agujeros extremos, deberá colocarse por debajo una arandela de goma y otra por encima o bien una arandela roscada (Figura N° 9) con lo que se logra sujetar fuertemente el conjunto de las placas a la tapa que estamos describiendo.

El agujero central debe taparse con un tapón de diseño especial, que permita que escapen los gases y el vapor de agua producidos por las reacciones químicas en el interior de la batería y, asimismo, impida la salida del electrólito.

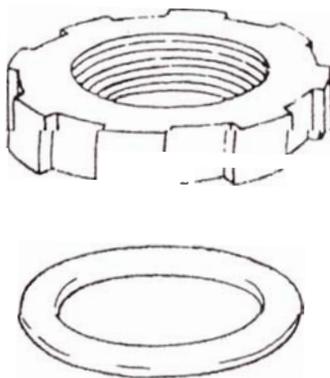


Figura N° 9. Arandela y tuerca de sujeción de los bornes a la tapa.

c) Conectores

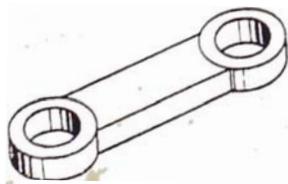
La tensión de un acumulador no puede ser muy superior de 2 Voltios (V), por lo que para mayores tensiones se acude a unir en serie los bornes de varios acumuladores y para hacerlo se necesitan unas piezas llamadas conectores.

Los conectores son las piezas encargadas de transportar la electricidad de uno a otro elemento de la batería, y tienen la forma mostrada en la Figura N° 10. Deben ajustarse perfectamente al borne del acumulador de tal forma que el contacto sea lo más exacto posible.

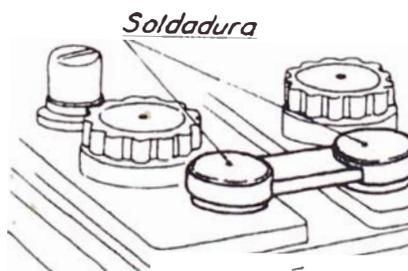
Los conectores entre las celdas individuales pueden ser de varias clases. Se usan conectores de Plomo puro cuando se requiere elevada conductividad sin condiciones mecánicas serias. El tipo más común de conector está hecho de una aleación de Plomo y Antimonio.

A veces se usan conectores de Cobre con un grueso recubrimiento de Plomo en los acumuladores de vehículos y locomotoras, pues combinan la alta conductividad con la flexibilidad, propiedad esta que les permite absorber los esfuerzos que, de otra manera, podrían agrietar los recipientes del acumulador.

La resistencia de los conectores es cuestión de considerable importancia, por el desperdicio de energía que podría ocurrir por falsos contactos.



(a)



(b)

Figura N° 10. (a) Conector. (b) Conector sujeto por soldadura.

1.2.3. Características Técnica

En la práctica, las características técnicas más importantes de una batería de acumuladores, y que definen sus propiedades son:

1.2.3.1. Capacidad

Se llama capacidad de un acumulador, a la carga eléctrica que puede almacenar. Ya sabemos que la carga eléctrica se mide en Coulombios; pero esta unidad es muy pequeña y resulta poco práctica para la medida de la capacidad de los acumuladores por lo que, generalmente, se utiliza otra unidad, denominada Amperio-hora y que podemos definir como la cantidad de carga que circula en una hora por un conductor que lleva una corriente de 1 Amperio (A) de intensidad.

En los acumuladores, la capacidad, expresada en Amperio-hora, es igual al producto de la intensidad de descarga, en Amperios, y el tiempo de duración de dicha descarga, expresado en horas.

La capacidad de los acumuladores de plomo suele ser de 5 a 15 Amperios-hora por Kilogramo de placas.

La capacidad de un elemento no es constante, y varía según el régimen de descarga a que se le someta, siendo mayor cuanto menor es la intensidad de la descarga, y viceversa, pero siempre dentro de ciertos límites.

La capacidad en Amperios-hora es una medida de las reacciones electroquímicas que ocurren dentro de la celda de acuerdo con la Ley de Faraday.

Es posible expresar la capacidad de un acumulador en Vatios-hora que es, en cambio, una medida de la energía del mismo. La capacidad en Amperios-hora de los acumuladores suele darse con mayor frecuencia que la capacidad en Vatios-hora, esto

es debido a que es más fácil de medir y a que el requerimiento de corriente es un importante factor de control.

Al dar la capacidad de cualquier batería, es necesario especificar el régimen a que se descarga la batería, la temperatura y el voltaje final o de corte.

No puede obtenerse la capacidad teórica de una batería por varias razones. El electrólito no se difunde en los poros de las placas con suficiente rapidez cuando los poros están obstruidos parcialmente por el sulfato de Plomo; la resistencia del material activo y del electrólito aumentan al progresar la descarga, y, finalmente, no es práctico descargar la batería hasta el voltaje cero.

Al elegir una batería, se ha de prever que su capacidad sea superior en un 20 por ciento a la necesaria, de tal forma que, durante el servicio normal, no descargue más del 80 por ciento de su capacidad nominal, al régimen de descarga previsto en la instalación.

Los factores principales que afectan la capacidad de las celdas son los siguientes: cantidad de material dentro de la celda, espesor de las placas, régimen de la descarga, temperatura, cantidad y concentración del electrólito, porosidad de las placas, diseño de las placas e historia anterior de las placas.

1.2.3.2. Intensidades de Corriente de Carga y Descarga

La corriente de descarga está íntimamente ligada al tiempo de la descarga y a la capacidad de la batería. Los valores para cada tipo de batería, son proporcionadas por los fabricantes.

Se consideran descargas lentas, las que están comprendidas entre 3 y 10 horas y descargas rápidas, las comprendidas entre 1 y 2 horas. Los elementos contruidos por el fabricante para descarga lenta, pueden utilizarse, excepcionalmente, para

regímenes de descarga rápida. Por otro lado, los elementos previstos para descarga rápida, pueden emplearse sin ningún inconveniente, para regímenes de descarga lenta.

Todos los elementos fabricados para descarga rápida, pueden suministrar picos de corriente de corta duración (del orden de algunos segundos), siempre que la corriente pico no sea mayor que el doble de la capacidad del elemento en una hora.

En lo que se refiere al régimen de carga, los fabricantes consideran generalmente como intensidades normales para carga, las correspondientes al régimen de descarga en 5 horas, para los elementos de descarga lenta, y al régimen de descarga en 3 horas, para los elementos de descarga rápida.

De todas formas, tanto para los elementos de descarga lenta, como para los de descarga rápida, la intensidad de carga debe reducirse a la mitad cuando comience el desprendimiento de gases en la batería.

1.2.3.3. Tension: de Carga y Descarga

La tensión de un acumulador es variable tanto durante la carga como durante la descarga.

El voltaje de un acumulador se eleva durante el período de carga, alcanzando un valor máximo cuando la carga está completa. La magnitud de este valor, depende de:

- 1) la corriente de carga,
- 2) la temperatura,
- 3) la resistencia interna de la celda,
- 4) la presencia o ausencia de ciertas impurezas en el electrolito,
- 5) la composición de la aleación de la rejilla, y
- 6) la presencia de difusores orgánicos en las placas negativas.

Cuando comienza a descargarse un acumulador del tipo de Plomo, hay una caída inicial de voltaje, que puede atribuirse en parte a la resistencia óhmica de la batería y en parte a la súbita reducción en la concentración del ácido en los poros de las placas, lo que reduce el potencial de las placas.

Además, aún permaneciendo casi constantes las tensiones inicial y final, las variaciones de esta tensión son distintas según la duración de la carga (o la descarga). Como ejemplo veáanse las Figuras N° 11 y N° 12.

La tensión de reposo es siempre la misma, para una temperatura dada, a 15 °C resulta ser de 2,08 V por elemento. La tensión máxima de carga puede alcanzar 2,73 V por elemento.

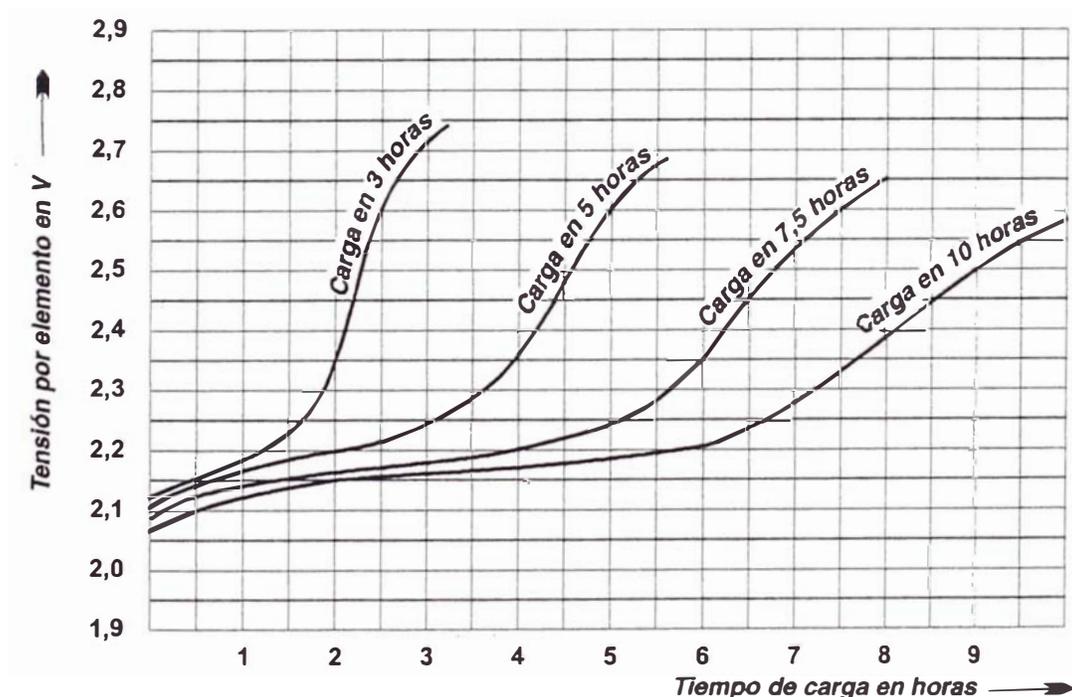


Figura N° 11. Valores de la tensión en bornes de un acumulador de plomo tipo Tudor, para diferentes regímenes de carga.

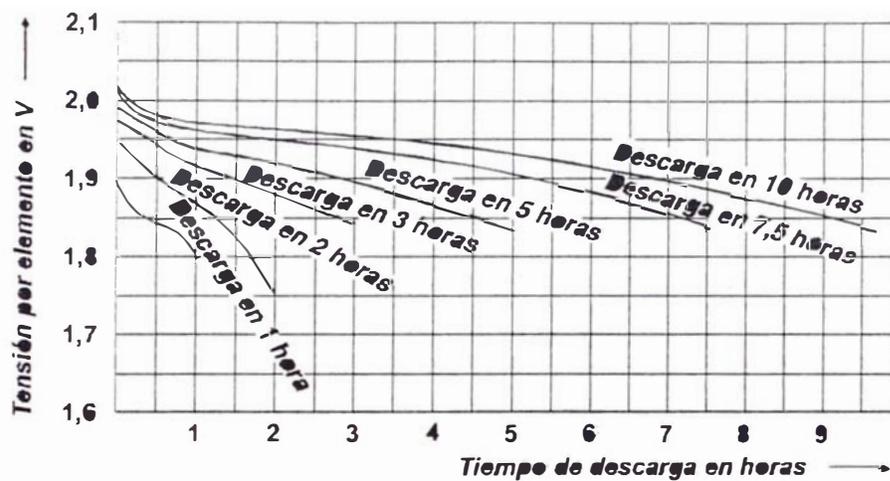


Figura N° 12. Valores de la tensión en bornes de un acumulador de plomo tipo Tudor, para diferentes regímenes de descarga.

Según puede observarse en las Figuras N° 13 y N° 14, las tensiones medias de carga y descarga son distintas para los diferentes regímenes de carga y descarga. Esto quiere decir que los rendimientos en energía también serán variables, y dependerán de los regímenes de carga y descarga.

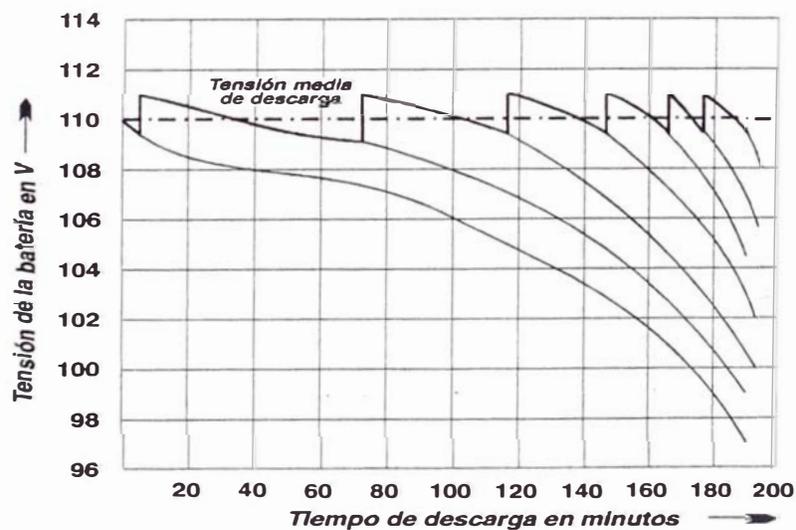


Figura N° 13. Representación gráfica del proceso de carga de una batería de acumuladores de plomo de 110 V.

El rendimiento en Vatio-horas es un factor importante para determinar el costo de operación. Un buen promedio para el rendimiento en Vatio-horas de la batería de Plomo en condiciones normales de operación es un 75 por ciento.

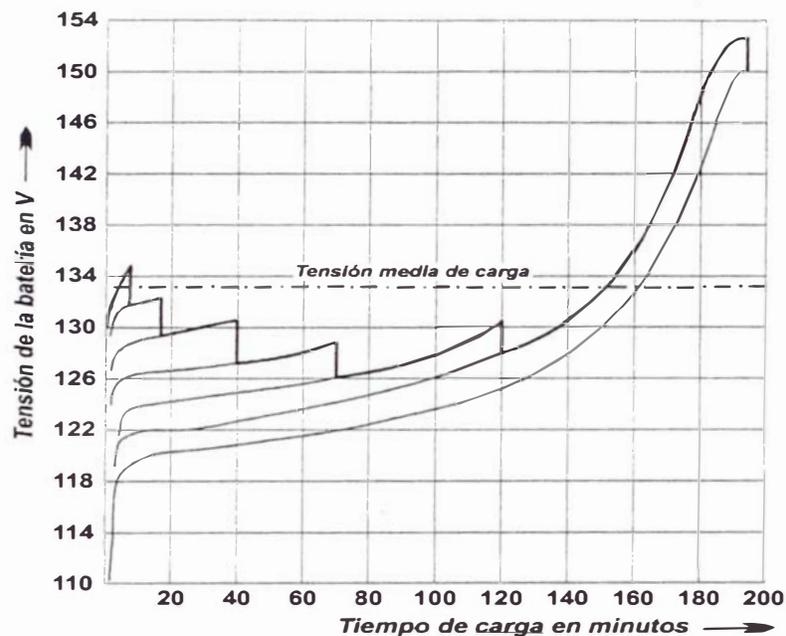


Figura ° 14. Representación gráfica del proceso de descarga de una batería de acumuladores de plomo de 110 V.

1.2.3.4. Resistencia

La resistencia interna de una celda es muy pequeña y, para muchos fines, puede despreciarse por completo.

En general, cuanto mayor sea el tamaño, menor es la resistencia. Así, una pequeña batería tiene una resistencia de $0,1 \Omega$ por celda, aproximadamente; las baterías de fuerza motriz de locomotoras tienen una resistencia de $0,0001 \Omega$ por celda. En este intervalo pueden encontrarse las resistencias de los otros tipos de baterías que conocemos

En la batería, la primera fuente de resistencia, y quizá la más evidente, es el electrolito; la presencia de los separadores aumenta ligeramente la resistencia interna de las celdas, particularmente si se emplean, también separadores de caucho perforados o ranurados.

Un tercer factor que contribuye a aumentar la resistencia de la celda es la del material activo y de las rejillas.

Otro factor que afecta a la resistencia de un acumulador es el estado de la carga. El sulfato de Plomo, que se forma en las placas durante la descarga, es un no conductor, y su presencia aumenta la resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Como la resistencia puede variar con la corriente que fluye por la batería, cualquier medición de la resistencia, para que tenga verdadera significación, debe hacerse en condiciones de servicio.

CAPÍTULO II PROCESO DE FABRICACIÓN

En el proceso de fabricación, que se describe gráficamente en la Figura N° 15, en cuanto a la mano de obra directa, la primera actividad está referida a la introducción de las barras de plomo antimoniado hacia el crisol de fundición, luego que el Plomo antimoniado está en fusión será vertido hacia los moldes de hacer parrillas (parrilleras) y hacia los moldes de hacer partes (postes, puentes, etc.). En esta actividad, para ambos casos, el Plomo antimoniado en fusión es trasladado desde el crisol hacia las mencionadas máquinas, las parrillas que salen de la máquina parrillera son almacenadas por un tiempo de diez días, considerándose a éste como tiempo de curado, según lo especifican los requerimientos técnicos; de igual manera se almacenarán las partes.

A continuación el depósito del electrolito es llenado con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y agua destilada, una vez que dichos componentes forman el electrolito, éste es trasladado hacia la mezcladora. El electrolito al mezclarse con los óxidos de Plomo forman la pasta que es dirigida junto con las parrillas curadas hacia la empastadora. En la empastadora, el enrejado de las parrillas es llenado con la pasta y éste se dirige hacia el horno túnel de secado donde se produce el proceso de Hydroset (secado a través del calor). Estas placas son almacenadas por un mínimo de diez días (curado de placas).

La distribución del equipo dentro de la planta típica de fabricación de baterías de plomo-ácido se muestra en el Plano AR-1, que se muestra en el Apéndice Q.

2.1. Etapas del Proceso de Fabricación

Las principales etapas del proceso de fabricación de acumuladores eléctricos Plomo Acido, son:

- 1.- Abastecimiento de productos y materias primas
- 2.- Control de calidad de los productos y materias primas
- 3.- Fundición
- 4.- Empaste
- 5.- Curado de placas
- 6.- Tratamiento de placas
- 7.- Armado de acumuladores
- 8.- Cierre de acumuladores
- 9.- Carga de acumuladores
- 10.- Acabado, control de calidad y almacenaje de acumuladores.

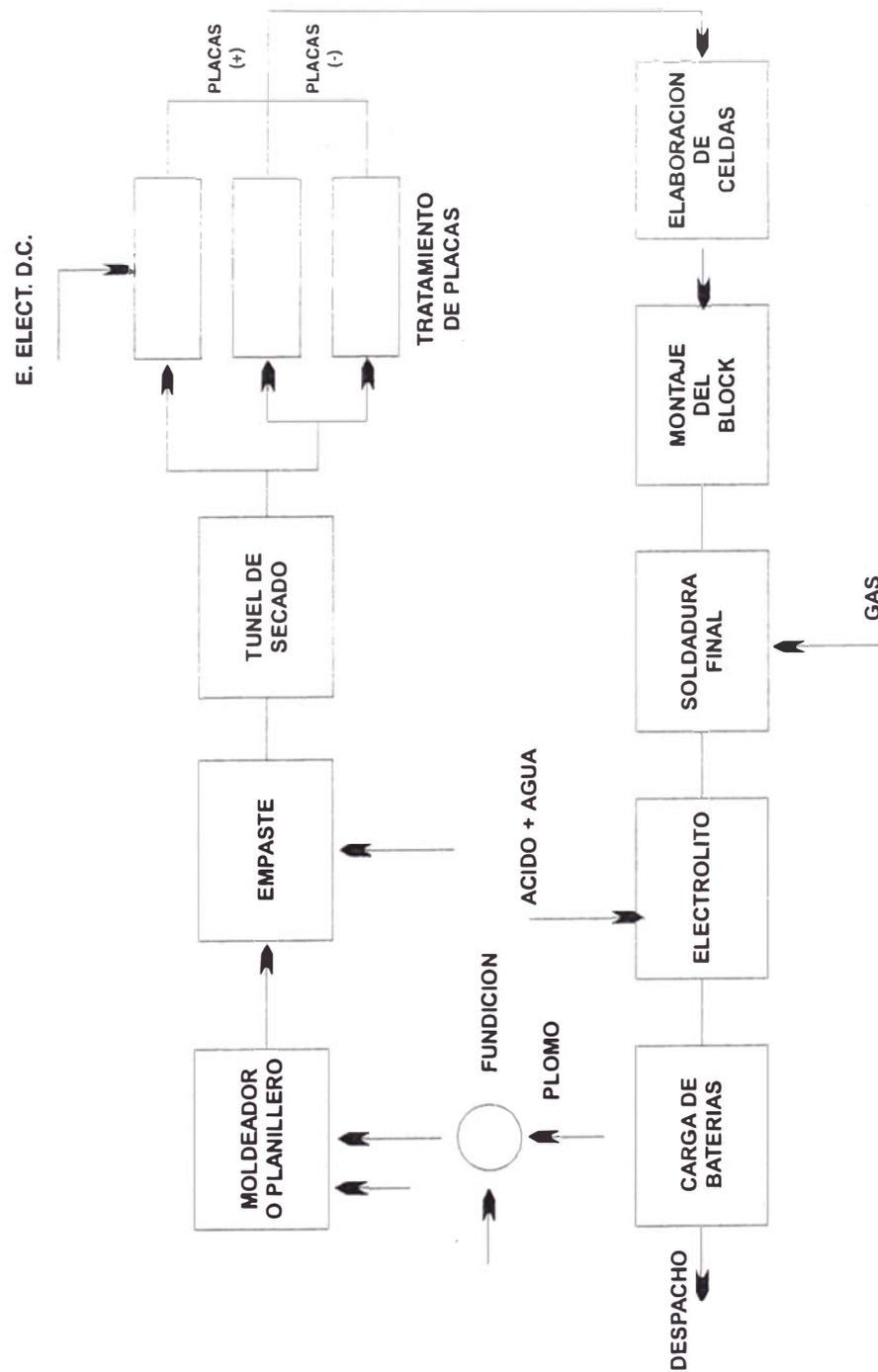


FIGURA N° 15: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE FABRICACION DE ACUMULADORES DE PLOMO-ACIDO

2.1.1. Etapa de Abastecimiento de Productos y Materias Primas

Dentro de los productos y materias primas que son utilizados en la fabricación de un acumulador, estos serán tanto nacionales como importados; dentro de los productos nacionales tenemos el plomo antimoniado, óxido de plomo, ácido sulfúrico, baritina, negro de humo y asfalto industrial tipo 180, y cubierta de acumulador. Dentro de los productos importados tenemos los separadores.

2.1.2. Etapa de Control de Calidad de los Productos y Materias Primas

En esta etapa se controla la calidad de las materias primas de tal manera que la producción se ajuste a las normas de calidad establecidas para acumuladores.

2.1.3. Fundición de Plomo

El aspecto más saltante de esta Sección corresponde a la llamada etapa de fundición, ésta a su vez comprende dos partes:

- a) fundición de parrillas
- b) fundición de partes

2.1.3.1. Fundición de Plomo y Fabricación de Parrilla

Consiste en vaciar los lingotes de Plomo antimoniado al crisol ú olla de fundición a una temperatura de operación de 330 °C.

Las cantidades de Antimonio varían según el tipo de aleación ó el fabricante desde 4 % a un 7 %. También cabe mencionar que los otros elementos pueden ser considerados impurezas, ya que se demuestra que es imposible hacer satisfactoriamente un vaciado únicamente con Plomo y Antimonio puro.

El Plomo antimoniado al estar fundido será impulsado por una bomba de pistón o centrífuga que proporcionará el Plomo de la olla hacia la cuchara de la máquina

parrillera, mediante un tubo galvanizado que en su trayecto será calentado por un quemador a gas para que no se solidifique.

Una vez depositado el Plomo antimoniado en la cuchara, éste caerá al molde de la parrilla el cual tendrá dos conexiones por intermedio de mangueras, la primera lleva agua hacia el molde para que solidifique el Plomo formándose así la parrilla; la segunda conducirá aire para que se abran las dos tapas y se deje caer la parrilla. El agua utilizada es el agua de servicio cuya presión es de 2,2 a 2,8 Kg/cm². El aire será entregado por un compresor cuya presión oscile entre 6 y 7 Kg/cm² (85 y 100 PSI).

También se contará con un soplete que contiene el llamado "Spray" que se utiliza para evitar que el Plomo se pegue en los moldes y además cumple el papel de aislante de calor de tal manera que la aleación de Plomo al estar líquida permanezca fundida suficiente tiempo para llenar las cavidades del molde. La composición del Spray incluye polvo de corcho, silicato de Sodio y agua como principales ingredientes, los porcentajes de los mismos son proporcionados por los fabricantes.

2.1.3.2. Fundición de Plomo y Fabricación de Parte

Se refiere a todas las pequeñas partes de Plomo requeridas en el proceso de manufactura y ensamble final de la batería, ésta incluye barras para soldar, postes, conectores y algunas terminales especiales de Plomo.

Al igual que en el proceso de fabricación de rejillas, las barras de Plomo depositadas en el crisol se funden a la misma temperatura y en las mismas condiciones.

La bomba de pistón o centrífuga proporcionará el Plomo de la olla hacia el inyector de la máquina de hacer partes.

Una vez depositado el Plomo en el inyector éste será enviado a los moldes de

partes y puentes, en el cual tendrán dos conexiones por intermedio de magueras, la primera lleva agua para que se solidifique el Plomo formándose así las partes y la segunda conducirá aire para que impulse las partes hacia los depósitos de cada modelo.

2.1.4. Sección de Empastado

Las principales materias primas requeridas para el empastado son: agua, ácido sulfúrico, óxido de Plomo para placas positivas, óxido de Plomo para placas negativas.

El proceso de empastado consiste en la transformación de la PARRILLA en PLACA. Esto significa que una vez obtenida la parrilla de Plomo ésta será empastada con óxidos formándose así las placas.

La etapa del proceso de empaste tiene dos partes y son:

2.1.4.1 Preparación de la pasta

2.1.4.2 Empaste de parrillas

2.1.4.1. Preparación de la Pasta

Consiste en dosificar los insumos requeridos (óxidos) para luego ser introducidos en las máquinas mezcladoras. En la preparación de la pasta se tendrá un proceso de batido para luego ser controlado mediante un PENETROMETRO que sirve para comprobar si la mezcla está en buenas condiciones para que se empasten las parrillas.

Mezclado de pasta

Es recomendable que la temperatura del ácido sulfúrico sea inferior a 52 °C y la fuerza del mismo deberá seguir las recomendaciones del proveedor de óxido. Si esto no está disponible se puede establecer un valor entre 1,375 a 1,400 gr/cc de densidad

Con las cantidades en seco de los ingredientes en la mezcladora, la cantidad inicial de agua deberá introducirse tan rápido como sea posible. La masa debe haberse humedecido y homogenizado de tal manera que no se pegue.

La adición de ácido deberá hacerse lentamente; esta operación toma entre 10 y 15 minutos. Esto deberá también hacerse de tal manera que el ácido sea dispersado sobre toda el área de la mezcladora. Al final de este proceso la temperatura será inferior a 40 °C, en este momento la pasta estará apta para usarse en la máquina empastadora.

La pasta deberá tener un peso, densidad y también una consistencia adecuadas. Si la pasta es dejada al aire tendrá lugar una reacción secundaria en la pasta y ésta se volverá dura.

La consistencia característica de la pasta es importante, ya que producirá una menor carga de operación en el motor de la máquina empastadora. Por el contrario si la pasta inicial está húmeda y se pega antes de la adición del ácido, la pasta final será muy pegajosa y la consistencia no será buena y además se pegará fácilmente en la banda de la máquina empastadora.

Una muestra de fórmula para las pastas positivas y negativas y sus correspondientes procedimientos de mezclado, usando óxido que tiene Plomo libre se dá en las Tablas N° 9, 10, 11 y 12. Esto dá una simple guía y no puede ser aplicable a un óxido o a una mezcladora en particular.

simismo, en la Tabla N° 13 se muestran los pesos de pasta para las placas positivas y negativas.

Tabla N° 9

Fórmula en la pasta positiva

| | |
|-------|---|
| OXIDO | 270 Kilogramos de óxido con Plomo libre. |
| FIBRA | (si se usa) 70 gramos de Dynel, agitados y esparcidos en agua; ó se puede humedecer con agua y agregarse justamente antes de la adición de ácido. |

Tabla N° 10

Procedimiento de mezclado - Pasta positiva

| Procedimiento | Tiempo (minutos) | Cantidad (líquidos) |
|---|-------------------------|---|
| Encender la máquina con los materiales (si se necesita agréguese agua). | 0 | 24 litros, agregue rápidamente. |
| Agregar ácido y poner a funcionar el sistema de enfriado. | 5 | 25 litros, en un período de 15 minutos. |
| Se chequea la temperatura, las consistencias, el peso del cubo. Agregar agua al final, si es requerida. | 25 | Anotar la cantidad de agua agregada. |
| Temperatura final. Consistencia final. Peso final del cubo. | 30 | Menor de 40°C. 67 gr/16,4 cc. |

Tabla N° 11

Fórmula en la pasta negativa

| | |
|----------|---|
| OXIDO | 270 Kilogramos de óxido con Plomo libre. |
| FIBRA | (si se usa) 70 gramos de Dynel agitados y esparcidos en agua; ó se puede humedecer con agua y agregarse justamente antes de la adición de ácido. |
| EXPANSOR | (si este no está incluido en el óxido). 550 gr de Agente orgánico, agregar 820 gr de Sulfato de Bario a lo anterior. 550 gr de Negro de humo, agregar al óxido al empezar el proceso. (Para climas tropicales usar 50 % menos de estos tres materiales). |

Tabla N° 12

Procedimiento de mezclado - Pasta negativa

| Procedimiento | Tiempo (minutos) | Cantidad (líquidos) |
|---|------------------|--|
| Encender la máquina con los materiales (si se necesita agregue agua). | 0 | 27 litros, agregar rápidamente. |
| Agregar ácido. | 5 | 21 litros, en un período de 10 a 15 minutos. |
| Chequear la temperatura, las consistencias, el peso del cubo. Agregar agua al final, si es requerida. | 25 | Anotar la cantidad de agua agregada. |
| Temperatura final. Consistencia final. Peso final del cubo. | 30 | Menor a 40°C. 70 gr/16,4 cc |

Tabla N° 13

Peso de las pastas de placas

| | Clima templado (gr/pulg ³) | Clima tropical (gr/pulg ³) |
|----------------|--|--|
| Pasta positiva | 66 a 68 | 70 a 72 |
| Pasta negativa | 69 a 71 | 74 a 76 |

La pasta positiva nunca deberá estar contaminada por pasta negativa, por lo tanto las máquinas deben operarse con la mayor limpieza posible. Será mejor para el programa de producción, el empastar primero las placas positivas y luego las negativas cuando se requiera empastar ambos tipos de placas en el mismo día.

La precaución anterior, en cuanto se refiere a la contaminación de pasta positiva por pasta negativa, es porque es necesario evitar el sulfato de Bario de la pasta negativa. El expansor actúa como un elemento dañino en las placas positivas.

La calidad de la pasta llamada consistencia (está demasiado suave o dura) es determinada por varios procedimientos en la industria. Algunos de los métodos son descritos abajo.

- 1.- Un penetrómetro estándar Humboldt; equipado con una pequeña punta cónica. Adecuadamente calibrado permite que la punta penetre dentro de la muestra de pasta en el recipiente utilizado para medir la densidad.
- 2.- Un penetrómetro Globo, con un aditamento de 2 piezas de aproximadamente 38 cm. de largo, es colocado de tal manera que la punta quede tocando exactamente la pasta y se le deja caer libremente. El punto más bajo del penetrómetro tiene forma cónica y tiene graduaciones en su superficie que permite determinar la densidad.

El uso de cualquiera de estos métodos requiere de mucho cuidado y experiencia.

2.1.4.2. Empaste de las parrillas

En esta etapa del proceso se acondicionan las parrillas en la plataforma ubicada en la parte extrema de la empastadora, para luego ser introducidas en forma automática por un lanzadero hacia la tolva, en la cual la parrilla queda totalmente cubierta por la pasta. Simultáneamente la tolva será alimentada con pasta en su parte superior.

Después que la parrilla esté cubierta de pasta se satinará con dos rodillos para que la pasta esté adecuadamente adherida a la parrilla; luego se les envía hacia el horno de secado.

Instrucciones para el horno de secado de placas:

El propósito de un horno de secado de placas empastadas es remover suficiente humedad del material activo, tal que las placas puedan fácilmente manejarse sin que se peguen unas con otras. Si la humedad de las placas desciende, al final del horno, será menor la tendencia de producir “cracks” en el material activo y será mejor la reacción de Hydroset en el siguiente proceso.

El horno deberá estar perfectamente alineado al final de la máquina empastadora, la cual le transferirá las placas en cadenas para que no haya pérdidas de placas.

La mayoría de los hornos que se usan actualmente tienen las siguientes características:

Al transportarse las placas recién empastadas viajan horizontalmente. Las cadenas se mueven 3 o 4 veces más rápido que en aquellos hornos donde las placas viajan colgadas de las patas. Se debe aplicar una gran cantidad de calor para producir placas libres de humedad de tal manera que no se peguen unas con otras cuando salgan. Tal intensidad de calor es proporcionada por quemadores de gas. Los quemadores están distribuidos sobre la longitud completa del horno. Ya que la placa está en forma horizontal sobre las cadenas, los espesores de rejilla pueden ser manejados sin dificultad, cosa que no sucede en algunos otros tipos de horno.

2.1.5. Curado de Placas

2.1.5.1. Curado y Refrescado de Placas

Curado de Placas Empastadas Frescas (Hydroset)

El método de curado de placas, actualmente en boga, se conoce como "Hydroset" y esencialmente consiste en tomar las placas del empastado frescas al final del horno y controlar el secado por un período de 2 a 3 días, después de este tiempo el material activo de las placas deberá contener como mínimo 95 % de óxido de Plomo y menos de 1 % de humedad, las placas estarán entonces "set up" y suficientemente rígidas, así que puedan ser manejadas o procesadas por alguna máquina con pérdidas mínimas usando las precauciones normales.

Los valores estándar de humedad durante el proceso son mostrados en la tabla que se adjunta.

Tabla N° 14

Valores de humedad durante el proceso de fabricación de acumuladores

| Progreso del proceso | Contenido de Plomo libre | Contenido de humedad |
|---|---------------------------------|-----------------------------|
| Oxido de Plomo | 30% | 0 |
| Pasta en mezcladora y máquina empastadora | Decreciendo | 10 a 12% |
| Al final del horno de secado de placa | Decreciendo | 8 a 9% |
| 16 a 24 horas después | 5 a 10 % | 5% |
| 48 a 71 horas después | Menos de 5% | Menos de 1% |

El método es aplicado para las placas positivas y negativas.

Tan pronto como las placas están empastadas, deben inmediatamente cubrirse con lonas pesadas, preferentemente a prueba de agua, para prevenir la evaporación en las placas lo cual causaría indeseables roturas en la superficie de las placas.

Los racks completos y cubiertos son puestos en un lugar en donde estén protegidos de corrientes de aire y en el cual la temperatura ambiente sea preferentemente no menor de 16 °C y no mayor de 50 °C.

Al final de este período, las lonas son quitadas de las placas y estas permanecerán al aire libre por un tiempo mínimo de 24 horas para completar la oxidación del Plomo. La reacción de oxidación generará calor en las placas. Por lo tanto un tiempo mínimo de cura (incluyendo el tiempo de enfriado) de 48 horas será necesario para completar el proceso. Con una temperatura ambiente de 27 a 28 °C, por un total de 48 horas es generalmente suficiente para completar la cura, a más bajas temperaturas como 16 a 27 °C podría ser necesario aumentar el tiempo total de curado de 58 a 72 horas.

Las placas positivas completamente curadas por oxidación y listas para usarse son de un color rojo naranja. Estas placas no tienen uniformidad en el color, pero aquellas que tienen un color verdoso, indicarán insuficiente oxidación. Estas últimas deben recibir curado adicional hasta que el color esté completamente parejo y sea rojo naranja.

Si las placas están demasiado secas ellas no pueden tener suficiente humedad para curarse completamente. En estas condiciones las placas deberán ser completamente humedecidas y además almacenadas durante otras 48 horas. Esta operación de rehumectación permitirá a las placas que no estaban bien curadas proseguir la reacción de curado hasta que esta sea satisfactoria y completa.

Mediante análisis químicos el contenido de Plomo libre en las placas curadas no debe exceder el 5 %, teniendo como base el peso de la pasta seca, para tener una

reducción máxima en placas desperdiciadas. Un contenido de humedad de aproximadamente 0,5 % es recomendado.

Debido al color normal de la pasta negativa es imposible juzgar si el curado ha sido completado viendo solamente el color del material activo de las placas negativas. Estas placas deberán estar sumamente adheridas a la rejilla y frías cuando se toquen al tacto. Esto usualmente indicará que la reacción es completa.

2.1.6. Tratamiento o Formación de Placas

La formación de las placas empastadas es un proceso esencialmente electroquímico y significa la oxidación y/o reducción de los materiales que se hayan aplicado a las rejillas.

2.1.6.1. Formación de las Placa Húmeda

Para este proceso se requieren los llamados Tanques de formación de placas, formados por guías en los lados de tal manera que las placas se mantengan en su respectivo lugar. Las placas se colocan en forma alternada, positivas y negativas. Estos tanques son llenados con una solución de ácido sulfúrico de 1,100 gr/cc de densidad, luego las placas positivas son conectadas con una barra de Plomo en la parte superior y las negativas de la misma forma que las anteriores.

La formación se realiza con un rectificador de corriente. Es posible la conexión de varios tanques en serie para esta etapa. El tiempo de formación puede ser de 16 a 18 horas aproximadamente.

2.1.6.2. Formación de Placas Cargadas en Seco

El proceso es idéntico al de la formación de placas húmedas.

Desecado de Placa Cargada en seco

Las placas que van a ser usadas para la fabricación en seco de las baterías deben ser especialmente preparadas.

El procedimiento para el secado de estas placas es:

- 1.- Lavado para desalojar el ácido.
- 2.- Tratamiento con agentes humectantes, para luego ser secadas con un equipo especial.

Las placas que van a ser usadas en baterías cargadas en seco, luego del tratamiento de secado deben tener una mínima exposición al aire.

2.1.6.3. Lavado de placas

Las placas positivas formadas pueden ser lavadas mediante varios métodos. Uno de ellos consiste en ponerlas en recipientes dentro de los tanques de lavado, colgadas de sus patas y razonablemente bien espaciadas de tal manera que el agua bañe a cada placa. En el caso de las baterías en seco este proceso debe continuar hasta que el agua se pruebe con un papel de pH que muestre un valor no menor de 5 pH.

El procedimiento para lavar las placas negativas es similar al descrito líneas arriba. Se recomienda que los tanques de lavado se agiten unos minutos con aire en cada ciclo de lavado. Finalmente el agua de lavado no debe tener un pH menor de 5.

Es muy importante proporcionar en esta operación un agente humectante a las placas al final del lavado, el cual será absorbido por los separadores. Este material hace posible que los separadores se humedezcan rápidamente ó que absorban el ácido de la batería. Si se usan separadores de hule, no es necesario el agente humectante.

2.1.6.4. Secado de placas

Secado de placas positivas

Estas luego de ser lavadas pueden ser secadas en aire caliente en hornos con cadenas de movimiento ó en hornos estacionarios, el tiempo de secado en el primer caso varía entre 30 minutos y algunas horas, en el segundo caso puede requerirse de 5 a 16 horas. El secado estará completo cuando las placas contengan menos de 0,5 % de humedad.

Secado de placas negativas

Las placas negativas deben ser secadas tal que no se calienten o se oxiden; se usan una serie de métodos recomendados por las industrias especializadas en la fabricación de baterías, y algunos de ellos son los siguientes:

a) Uso de vapor sobrecalentado.-

El uso de vapor Sobrecalentado a la presión de 1 atmósfera nos dá una atmósfera inerte, este método es el más recomendado para el secado de las placas negativas. La transferencia de las placas luego que estas han sido sacadas del agua, debe ser violento, cualquier demora en el manejo de las mismas puede ocasionar una oxidación con el aire y poner en peligro la fabricación de las baterías en seco.

Es recomendable no exponer las placas negativas al aire por mucho tiempo.

El agua que está presente en las placas negativas cambia por acción de la temperatura a vapor, este vapor desaloja el aire presente de tal manera que crea una atmósfera inerte, la temperatura requerida es mayor a los 100 °C pudiendo llegar hasta 175 °C. Las placas secadas luego son ensambladas, teniendo cuidado de protegerlas de la humedad. Para producciones grandes de baterías este método no es recomendable debido a la necesidad de mucha mano de obra.

b) Uso de gas producto de la combustión.-

Este método es uno de los más populares y el más usado para secar completamente los elementos húmedos de las placas. El elemento secador es un generador de gas, el cual produce una atmósfera libre de Oxígeno, éste luego es calentado y obligado a pasar a través de un ventilador sobre los elementos que se encuentran dispuestos verticalmente.

La temperatura de este gas es de 100 °C, luego el gas con la humedad que ha tomado de los elementos húmedos pasa a través de un condensador, el cual enfría el agua, los gases secos del condensador nuevamente llegan al generador completándose así el circuito. El tiempo de secado, dependerá del tamaño del secador y de las características de los elementos, tales como el espacio entre las placas, el tipo de separadores, etc.; hay unidades de secado que pueden manejar miles de baterías por día y otras más pequeñas que pueden manejar sólo unos cientos.

c) Uso de vapor calentado en un secador al vacío.-

Las placas negativas formadas y húmedas son puestas en el secador al vacío, el cual es calentado con vapor; un alto vacío se produce con una bomba de vacío hasta una presión de 73 cm de Mercurio. La humedad es removida por un condensador o una bomba de condensador al vacío.

d) Uso de hidrocarburos de petróleo.-

Como el caso del kerosene calentado por vapor que es usado para remover el agua de las placas negativas producto de los humos calientes del kerosene, es recomendable que el equipo esté en un cuarto a prueba de fuego. Las placas negativas formadas y lavadas son rápidamente puestas en unos recipientes los cuales pueden ser fácilmente colocados en el tanque que contiene el kerosene para ser completamente

cubiertas; posteriormente el tanque de kerosene es calentado a 150 °C aproximadamente durante 2 horas, durante este tiempo el agua es removida de las placas y sacada del sistema por un condensador. Este método es el más recomendable para secar las placas negativas formadas.

e) Uso del inhibidor a la oxidación de la pasta negativa.-

El inhibidor es el llamado AON, este es un polvo blanco orgánico; el 1 % de este material en peso se usa en el preparado de la pasta para placas negativas. Este polvo tiene la tendencia a bajar el peso del volumen de la pasta final, de tal manera que se requiere menos ácido sulfúrico para obtener el peso estándar en la pasta.

Para el secado es necesario poner las placas bien espaciadas y colgando de las patas en un horno con cadenas móviles; el horno debe calentarse aproximadamente a 100 °C, el tiempo de secado es alrededor de 50 minutos; el horno debe tener aire caliente en circulación.

Este método es recomendable si se quiere producir pequeñas cantidades de baterías cargadas en seco, pero la presencia del aditivo químico hace que se incrementen los costos debido al elevado precio de éste.

La decisión de elegir cualquiera de los métodos mencionados está en función de la cantidad de baterías cargadas en seco que se desea producir, la disponibilidad de los materiales y equipos con respecto a las restricciones de importación, etc.

2.1.7. Armado de Acumuladores

Los materiales requeridos son: placas positivas curadas, placas negativas curadas, separadores, pastas y barras de Plomo para soldar.

Este proceso consiste en colocar las placas curadas en un equipo llamado peine, juntos por medio de la pata de las placas y un poste para luego ser soldados y así formar los grupos. Así hay grupos con placas positivas (grupo positivo) y con placas negativas (grupo negativo). Los grupos positivos siempre tendrán una placa positiva menos que los negativos. Luego son colocados los separadores puestos dentro de todas las placas con los cestillos del separador siempre hacia las placas positivas.

Una vez terminados los grupos negativos y positivos con sus respectivos separadores, son acondicionados en la caja del acumulador, para luego pasar a la etapa de cierre. A continuación se unen los bornes mediante un puente de conexiones haciendo uso de un soldador de plomo; este proceso será idéntico y simultáneo para todo el grupo de baterías que deseen armarse y de esta manera dar tiempo al enfriamiento de las tapas; posteriormente todo el acumulador se sellará con brea a dos capas; la primera cubrirá los canales de la tapa o tapas y la segunda capa se hará dos minutos después, tiempo necesario para que se asiente la primera capa; sin embargo para baterías estacionarias y de pocos Amperios-hora, la tapa y el recipiente son de PVC no siendo necesaria la brea. Todo lo descrito corresponde al armado de baterías de placas húmedas.

En el caso de las baterías cargadas en seco, los equipos requeridos son los mismos que en el caso anterior, con la particularidad que los separadores a ser usados no deben tener más del 3 % de humedad; en el caso de los separadores de hule que normalmente son húmedos deben ser secados a una temperatura no mayor de 65 °C.

En este tipo de baterías luego de colocarse las celdas en el recipiente, justo antes de poner la tapa, cada elemento debe ser probado con un Ohmímetro, esto se realiza para chequear el grado de humedad de los separadores y placas. 50 KOhmios o más indicará una batería satisfactoria, para valores menores a 50 KOhmios los elementos deberán ser secados otra vez, estas pueden ser rechequeadas dos días después de estar paradas a temperatura ambiente; las baterías que no pasen esta prueba aún después de los dos días de estar paradas no se considerarán satisfactorias como baterías cargadas en seco y podrán ser manejadas como baterías húmedas haciendo uso de un electrólito de 1,250 gr/cc de densidad.

2.1.8. Cierre del acumulador

En esta etapa, el acumulador armado es tapado totalmente para luego ser sellado y quedar hermético.

Se utilizarán mesas de rodillos en las cuales se colocarán las cubiertas para luego unir dos postes centrales mediante un puente, siendo posteriormente sellados con Plomo.

Este mismo proceso se seguirá con las demás baterías que estarán en hileras, para así dar tiempo a que se enfríe la soldadura y así se evite que las cubiertas se derritan.

2.1.9. Carga de acumuladores

Una vez terminada la etapa de cierre de acumuladores, estos quedan dispuestos para su respectiva carga, y en este estado estos acumuladores son llamados "acumuladores en seco".

En esta etapa los acumuladores en seco serán llenados uniformemente con el electrolito, que está compuesto por H_2SO_4 (30 %) y agua destilada (70 %). Para ello se deberá precaver que la superficie no esté con ácido. Se deberá hacer un chequeo para asegurarse que no existan celdas sin electrolito y no hayan celdas que tengan un bajo nivel de electrolito.

Se empleará en el electrolito los porcentajes mencionados que equivalen a su densidad entre 1,250 gr/cc a 1,300 gr/cc, siendo como condición técnica el primero para clima templado y el segundo para clima frío-seco respectivamente. Además ambas densidades se caracterizan por no exceder los 52 °C de temperatura, puesto que en caso contrario las partes de las placas se desprenderían de las parrillas y esto por cierto es indeseable.

Después del llenado del electrolito los acumuladores serán trasladados hacia los bancos (mesas de madera de 0,30 m por 6,4 m aproximadamente) donde tendrán un reposo de 8 horas hasta que se refresquen a causa de la temperatura del electrolito. A continuación los acumuladores serán conectados en serie para su respectiva carga; esto quiere decir que un cargador se abastece a varios acumuladores, los cuales finalmente serán trasladados a lo que es pertinente de la siguiente etapa, el Acabado.

2.1.10. Acabado, Control de Calidad, y Imacenaje de Acumuladores

En la etapa del acabado se procederá a la limpieza de los acumuladores para luego pintar los bornes (verde en el polo negativo y rojo en el polo positivo), también se colocarán las asas sólo a baterías de 19 y 27 placas. A continuación se pondrán los respectivos tapones colocándose finalmente las etiquetas, para luego pasar al Control de Calidad.

En la etapa de Control de Calidad se determinará el estado óptimo del acumulador para su respectiva venta, en esta etapa se mide la densidad del electrolito que es de 1,250 gr/cc para clima templado y 1,300 gr/cc para climas fríos y secos, también se controla que los postes estén bien soldados y que la brea esté bien adherida a la superficie del acumulador. Finalmente, se comprueba la capacidad de energía eléctrica en Amperios-hora, que depende de cada tipo de acumulador.

En la etapa de almacenaje de acumuladores, éstos serán almacenados en un área apropiada en donde no estén expuestos a condiciones de clima y especialmente protegidos de la luz directa del sol. El acomodo de los acumuladores se realizará en andamios de madera con un espesor adecuado por cada tablilla para que puedan resistir el peso de los acumuladores. Una de las condiciones técnicas que debe reunir el almacén es de no exceder la temperatura de 27 °C para la cual en el verano requeriremos de un acondicionador de aire. Esta medida se toma para prevenir la pérdida de densidad del electrolito, es decir cuando baja la densidad de 1,250 gr/cc en clima templado y 1,300 gr/cc en clima frío-seco.

El acomodo de los acumuladores en almacén deberá ser arreglado de tal manera que ellos puedan ser retirados con respecto a la fecha de manufactura. Esto asegurará que las baterías frescas la recibirán los consumidores y también ayudará a prevenir que baterías que han pasado mucho tiempo en stock sean vendidas.

Es recomendable que los acumuladores que tengan un tiempo de 10 días o más de manufactura pasen un previo chequeo de la densidad del electrolito, para después estar dispuestos para la venta.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

PARA LA FABRICACIÓN DE 10 000 BATERÍAS MENSUALES

Para determinar la demanda de potencia eléctrica determinaremos en primer lugar el número de máquinas requeridas por el proceso de fabricación y luego la demanda requerida por cada etapa del proceso de fabricación.

3.1. Determinación del número de máquinas requeridas en la fabricación y especificación de cada una

3.1.1. Placas requeridas para una demanda de 10 000 baterías mensuales (600 diarias) y según el tipo de acumuladores requerido

La Tabla N° 15 presenta los requerimientos de placas para una producción mensual de 10 000 baterías, según el tipo de acumulador a fabricar.

3.1.2. Cantidad de piezas necesarias y minutos de trabajo por máquina al día

La selección de las capacidades de producción de las máquinas (Tabla N° 15), se ha realizado en función de la disponibilidad de las mismas en el mercado.

Las 4 empresas proveedoras de equipos son de Estados Unidos. De todas ellas ninguna recomienda el uso de los mismos las 8 horas por día (480 minutos), sino que garantizan el funcionamiento de 450 minutos diarios, por tanto la selección la hacemos tomando en cuenta estas recomendaciones.

Así, la Tabla N° 16 presenta la cantidad de partes a producir diariamente, según el tipo de acumulador.

Tabla N° 15

Producción Mensual de Placas

| TIPOS DE ACUMULADORES | CANTIDAD DE PLACAS POR CELDA | CANTIDAD DE CELDAS POR ACUMULADOR | CANTIDAD DE PLACAS POR ACUMULADOR | CANTIDAD DE ACUMULADORES A PRODUCIR | CANTIDAD DE PLACAS NECESARIAS AL DÍA |
|---|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| DC-09 | 9 | 6 | 54 | 270 | 14 580 |
| DF-F9 | 9 | 6 | 54 | 120 | 6 480 |
| DW-09 | 9 | 6 | 54 | 90 | 4 860 |
| DF-11 | 11 | 6 | 66 | 60 | 3 960 |
| DS-1219 | 19 | 6 | 114 | 30 | 3 420 |
| DS-1227 | 21 | 6 | 126 | 30 | 3 780 |
| 600 al día | | | | | 37 080 |
| 10% de deterioro | | | | | 3 708 |
| TOTAL DE PLACAS AL DÍA | | | | | 40 788 |
| TOTAL DE PLACAS AL MES (40 788 x 25) | | | | | 1 019 700 |

Tabla N° 16

Cantidad de Partes al Día

| TIPOS DE ACUMULADORES | EN UN ACUMULADOR | | | CANTIDAD DE ACUMULADORES A PRODUCIR EN UN DÍA | CANTIDAD DE PARTES NECESARIAS AL DÍA |
|-------------------------------------|------------------|--------|-----------------|---|--------------------------------------|
| | PUENTES | POSTES | TOTAL DE PARTES | | |
| DC-09 | 5 | 12 | 17 | 270 | 4 590 |
| DF-F9 | 5 | 12 | 17 | 120 | 2 040 |
| DW-09 | 5 | 12 | 17 | 90 | 1 530 |
| DF-11 | 5 | 12 | 17 | 60 | 1 020 |
| DS-1219 | 5 | 12 | 17 | 30 | 510 |
| DS-1227 | 5 | 12 | 17 | 30 | 510 |
| 600 al día | | | | | 10 200 |
| 5% de deterioro | | | | | 510 |
| PRODUCCION DIARIA | | | | | 10 710 |
| PRODUCCION MENSUAL (25 DIAS) | | | | | 267 750 |

3.1.3. Selección de Máquina

3.1.3.1. Máquina Parrillera

Es utilizada para la fabricación de las parrillas que van a ser usadas posteriormente en la fabricación de los acumuladores.

3.1.3.2. Máquina mezcladora

Es utilizada para la preparación de la pasta de óxido de plomo.

3.1.3.3. Máquina empastadora

Aplica la pasta a las parrillas dobles.

3.1.3.4. Horno de Secado

Recibe las placas recién empastadas de la máquina empastadora, las placas son llevadas sobre una cadena horizontal, las cuales viajan a través del secador.

3.1.3.5. Máquina de hacer partes

Es usada para la fabricación de las partes, tales como puentes y postes.

En todos los casos cabe mencionar que las máquinas más versátiles y de comprobada calidad son las de marca WINKEL; cuyos detalles aparecen en el Apéndice A.

3.1.4. Determinación del número de Máquinas Requeridas en el Proceso

a) Máquina parrillera:

Producción : 14 parrillas/minuto

$$14 \times 450 = 6\,300 \text{ parr/día}$$

Para las 40 788 parrillas de producción diaria

Total de máquinas: 7

Elegimos 10,3 para reserva.

b) Máquina de fundición:

- Preparación de parrillas

Peso promedio de parrilla : 100 gr

Producción diaria de parrillas 40 788

Total en Kgs. de plomo : 4 078,8

- Preparación de partes

Por acumulador : 1 000 gr.

Producción diaria de partes : 600 unidades

Total en Kgs. de plomo : 600

Total de plomo en Kgs por día : $(4\ 078,8 + 600) = 4\ 678,8$

Capacidad de la máquina de fundición 1 000 Kg.

Total de máquinas : 5 (combustión a petróleo)

Elegimos 7, 2 de reserva.

c) Máquina mezcladora

Capacidad de la mezcladora : 270 Kg/hr

En un día : 2 025 Kg

Para los 4 678,8 Kg/día, necesitaremos:

Total de máquinas : 3

Elegimos 4,1 de reserva.

d) Máquina empastadora

Producción : 70 parrillas/minuto a 140 parrillas/minuto

Producción diaria 40 788 parrillas

Total de máquinas 2

e) elección del horno túnel

Capacidad del horno : 35 a 225 parrillas/minuto

Calculando para 50 parrillas/minuto:

Capacidad diaria : 22 500 parrillas (50 x 450)

Para una producción de 40 788 parrillas:

Total de máquinas : 2

f) Máquinas de hacer partes :

f.1) Máquina automática de partes

Rendimiento promedio : 7 partes/minuto

Rendimiento diario : 3 150 partes (7 x 450)

Partes requeridas diarias : 10 710

Total de máquinas : 3 automáticas

f.2) Para completar las partes necesarias.

Máquina manual de hacer partes:

Rendimiento promedio : 4 partes/minuto

Rendimiento diario : 1 800 partes

Total de máquinas : 1

Resumen de máquinas:

- Máquina parrillera : 10 (7 + 3 de reserva)

- Máquina de fundición : 7 (5 + 2 de reserva)

- Máquina mezcladora : 4 (3 + 1 de reserva)

- Máquina empastadora : 2

- Túnel de secado : 2

- Máquina de hacer partes 1 manual
- 3 automáticas

3.1.5. Descripción de las Máquinas del Proce o Productivo

3.1.5.1. Horno de Fundición de Plomo a Petróleo

Este horno incluye un sistema quemador tipo pistola, controles de seguridad, relay de protección, filtro; y es controlado por un control de temperatura que es un sistema totalmente automático y calienta hasta 2 100 libras (953 Kgs) de aleación de plomo a temperaturas de hasta 900°F (482°C).

La bomba de plomo se completa con un motor de 1/2 HP totalmente incorporado para la transferencia del plomo fundido desde el horno a la(s) máquina(s) lanzadora(s). Esta bomba se incluye con toda las máquinas WINKEL lanzadoras automáticas no diseñadas para alimentación principal por gravedad.

El motor arrancador para la bomba puede adaptarse también con un controlador para prevenir el encendido de la bomba hasta que el plomo exceda una temperatura prefijada.

Requerimientos:

- Electricidad: 1 \emptyset , voltaje y frecuencia, de acuerdo a especificaciones del cliente.
- Petróleo combustible: Grado - Diesel # 2.
- Consumo (aproximado): 1,8 galones (6,8 litros)/hora.

3.1.5.2. Horno de Secado Automático Rápido

A gas o electricidad. Control automático de calor, transferencia directa de rejillas desde la máquina de empaste hacia el horno. Motor del transportador del horno a velocidad variable. Ajuste de ancho del transportador punto por punto.

Este horno de producción provee un continuo y rápido secado de placas empastadas a medida que vienen de la máquina de empastar. El motor de velocidad variable permite que la velocidad del transportador de cadena del horno sea sincronizada con la máquina de empaste para un espaciado apropiado de las placas. El transportador es fácilmente ajustable para varias anchuras de panel o longitud de placas o alturas de rejillas.

3.1.5.3. Llenador de Batería

Conveniente para líneas de producción de grandes capacidades que llenan a velocidad de hasta doce baterías por minuto.

El llenador de batería modelo ° 20 está equipado con dos llenadores de mano con ajustes FFC. Asimismo equipado con cableado a prueba de explosión, estándar.

El llenador de baterías NEW WAY modelo N° 20 ofrece un aspecto avanzado. Capacidad aumentada - sujeción inferior de desborde, que puede ser fácilmente removido para limpieza y servicio. Partes del contacto que soportan la acción corrosiva del ácido sulfúrico. Juntas de trampa de humo de seguridad para proteger la bomba de vacío. Nuevo diseño compacto que usa menos espacio de piso, aún con un llenador más poderoso las pruebas para celdas fracturadas, no llenarán cuando esta condición esté presente.

Esta máquina está diseñada para proveer lo esencial en el llenado de baterías, tiene todos estos aspectos deseables. Quita el aire de la celda antes de introducir el ácido, evitando de este modo el burbujeo. La contracción posterior es evitada debido a que las bolsas de aire son eliminadas durante el llenado. Llena a la altura exacta, no llenará ni por exceso ni por defecto; se ajusta simplemente para proveer la cantidad

apropiada de ácido requerido por la capacidad de celda. No hay goteo. Puede usar 2 llenadores de mano a 6 ramas simultáneamente.

Las baterías son alimentan bajo la línea del transportador y son llenadas a medida que pasan por el llenador de baterías. Mangueras largas son proveídas de manera tal que el operador pueda seguir junto haciendo innecesaria la parada de la línea para el llenado. A medida que las baterías alcanzan la estación de llenado el operador inserta tubos de llenado en la abertura de la celda y empuja suavemente hacia abajo para sellar en vacío (hacer un sello de vacío). El ácido fluye inmediatamente hacia el interior de la celda y luego retorna automáticamente para desbordarse cuando el ácido ha alcanzado la altura apropiada. El líquido desbordado a su vez es retornado automáticamente para alimentar a la fuente a un nivel más bajo.

3.1.5.4. Fundidor de Pequeñas Partes Automático

Funde conectores y postes para 4 000 baterías de 6 V en ocho horas. El molde puede ser cambiado en segundos, sin necesidad de ninguna herramienta. Fabrica 14 tamaños y tipos de conectores y postes. Automáticamente expulsa las partes de cada molde hacia su correspondiente caja de carga. Sólo requiere de un operador de tiempo parcial. Es operado por un motor de 1/2 HP. Con embrague de deslizamiento para seguridad mecánica en el controlador del reductor de engranaje.

3.1.5.5. Unidad de Fundición de Partes Manual

Está disponible en modelos de banca o piso (manual).

Produce una fundición por minuto. Bloques de moldes intercambiables. Fácilmente adaptable a tipos diversos de postes y conectores a un costo muy razonable. Es una unidad de fundición de partes económica y altamente eficiente, la cual es el resultado de muchos años de experiencia práctica de la Cía. L

MACHINE. Tiene bloques de moldes intercambiables que permiten la producción de varios tipos de partes sólidas para cubiertas de boquillas de plomo ó boquillas de goma.

Cuando se requiere la producción de nuevos postes y conectores sólo es necesario comprar nuevos bloques de moldes, haciendo muy razonable el costo del cambio. La unidad de fundición de partes WINKEL está disponible en montaje de banca ó montaje de piso. Cuando se solicita bloques de moldes se debe especificar los tipos de recipientes a ser usados para las dimensiones de partes y conectores o proporcionar un esbozo ó muestras de las partes.

3.1.5.6. Mezcladora

De 600 libras (270 kilos) de capacidad. Paletas mezcladoras de acero inoxidable. Fácil de limpiar. Lubricación de punto. De construcción rugosa. Ventilador de enfriamiento y descarga separados. Tubería de PVC. Cubierta de cubeta KOROSEAL.

3.1.5.7. Máquina de Empaste de Rejilla

Existentes para una producción de 35, 75, 125 ó 155 paneles por minuto - con placas de 5 5/8". Tolva controlada por motor. Línea de conducción oculta. Rodillo de compresión controlada por presión neumática. Longitud de lecho completamente de placa inoxidable. Alimentación de rejilla positiva mediante tolva. Rodillo esférico soportado sobre los ejes principales. Compresión positiva regulable, disponible con alimentador de tipo vacío, mecánico ó de rueda. Herramienta limpiadora de tolva de PVC

3.1.5.8. Máquina Parrillera

Opera mecánicamente abriendo y cerrando el molde. La rejilla se transfiere por medio de rodillos. Mecanismo ajustable de cuchara mecánica. Sólo con calentamiento de gas.

3.1.5.9. Equipo de Prueba de Baterías por Vibración

Diseñado según las especificaciones del Ejército de EE.UU.; este probador es usado por casi todos los grandes fabricantes de baterías de almacenamiento de reemplazo de automotores en EE.UU.

Con ruedas de cojinete de bolas robustas, esta unidad de vibración mide 31 pulgadas de alto x 20 pulgadas de ancho x 24 pulgadas de longitud. La amplitud de la vibración es ajustable para una amplitud máxima de aproximadamente 0,125 pulgadas, y la frecuencia de la vibración es de aproximadamente 2 000 vibraciones por minuto.

3.1.5.10. Separadores de Batería

El separador de baterías con la familiar aleta de PVC verde reforzada, está también disponible con estera de vidrio de 0,010", 0,020", 0,030", o sin el revestimiento de aletas.

Los separadores STELCO se han probado y aprobado en millones de baterías en los Estados Unidos y otros países. Se usa fibra de celulosa de la más fina calidad y las aletas reforzadas de PVC (PERMARIB) dan un servicio adicional. En todas las pruebas, tanto de campo como de laboratorio, las baterías aisladas con separadores Stelco reúnen y exceden las especificaciones S.A.E.

Los separadores STELCO están diseñados para el uso en producción de carga seca o mojada.

Son especialistas en el desarrollo y fabricación de una variedad de productos de aislamiento de baterías para todos los tipos de servicio, incluyendo separadores PERMALIFE, estera retenedora de fibra de vidrio y equipo de prueba.

3.1.6. Determinación del Tiempo de Carga de los Acumuladores

Por lo general, a las baterías o acumuladores se les mide en su capacidad por sus Amperio-horas, que viene a ser la cantidad de Amperios que podemos obtener de ellas en un tiempo determinado; digamos por ejemplo: 100 Amperios-hora, significará que por 100 horas entregará la batería 1 A.

Este punto se va a referir a la cantidad de horas en que es sometido el acumulador para su respectiva carga.

Para efectuar el proceso se requiere aplicar un voltaje superior a la tensión en bornes tal que se logre la corriente requerida; en un acumulador de 12 V y 4 A usualmente se requiere aplicar 2,5 V más que la de bornes, por lo tanto podremos usar rectificadores de 220 V que nos permitan procesar $(220/14,5) \sim 15$ baterías a la vez.

A continuación calcularemos el tiempo de carga necesario para los diversos tipos de acumuladores.

Caso del Acumulador DC-09:

- a) Capacidad de carga : 54 A-hora
- b) Intensidad de carga : 4 A
- c) Tensión en bornes : 14,5 V
- d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 54}{1000} \times 1,5 = 1,174 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{220 \times 4}{1000} = 0,880 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{0,880}{15} = 0,060 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,060 \times t = 1,174$$

$$t = 19,575 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Caso del Acumulador DF-19:

a) Capacidad de carga : 48 A-hora

b) Intensidad de carga : 4 A

c) Tensión en bornes : 14,5 V

d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 48}{1000} \times 1,5 = 1,044 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{220 \times 4}{1000} = 0,880 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{0,880}{15} = 0,059 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,059 \times t = 1,044$$

$$t = 17,694 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Caso del Acumulador DW-09:

a) Capacidad de carga : 45 A-hora

b) Intensidad de carga : 4 A

c) Tensión en bornes : 14,5 V

d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 45}{1000} \times 1,5 = 0,978 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{20 \times 4}{1000} = 0,880 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{0,880}{15} = 0,060 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,060 \times t = 0,978$$

$$t = 16,300 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Caso del Acumulador DF-11:

- a) Capacidad de carga : 70 A-hora
- b) Intensidad de carga : 5 A
- c) Tensión en bornes : 14,5 V
- d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 70}{1000} \times 1,5 = 1,522 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{220 \times 5}{1000} = 1,100 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{1,100}{15} = 0,070 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,070 \times t = 1,522$$

$$t = 21,742 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Caso del Acumulador DS-1219:

- a) Capacidad de carga : 100 A-hora
 b) Intensidad de carga : 8 A
 c) Tensión en bornes : 14,5 V
 d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 100}{1000} \times 1,5 = 2,175 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{220 \times 8}{1000} = 1,760 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{1,760}{15} = 0,117 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,117 \times t = 2,175$$

$$t = 18,589 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Caso del Acumulador DS-1227:

- a) Capacidad de carga : 200 A-hora
 b) Intensidad de carga : 13 A
 c) Tensión en bornes : 14,5 V
 d) Rectificador utilizado : 220 V

$$\frac{14,5 \times 200}{1000} \times 1,5 = 4,350 \text{ kW-hr/acumulador}$$

$$\frac{220 \times 13}{1000} = 2,860 \text{ kiloWatt}$$

$$\frac{2,860}{15} = 0,190 \text{ kiloWatt/acumulador}$$

$$0,190 \times t = 4,350$$

$$t = 22,894 \text{ horas de carga por acumulador}$$

Las Tablas N° 17 y 18 muestran la cantidad de acumuladores a cargar según la capacidad de los bancos y la cantidad de acumuladores a cargar por período de carga.

Así, para un Año industrial de 50 semanas, se obtiene finalmente:

2 400 x 50 : 120 000 acumuladores al año; 10 000 acumuladores mensuales.

Asimismo, en el Apéndice B se muestra el Diagrama de Tiempos de Carga para cada uno de los tipos de Acumuladores.

Tabla N° 17

Cantidad de Acumuladores a Cargar según Capacidad de los Bancos

| Tipos de Acumuladores | Capacidad de Acumuladores por Banco | Cantidad de Bancos | Cantidad Necesaria de Acumuladores |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| DC-09 | 15 (4 A) | 18 | 270 |
| DF-19 | 15 (4 A) | 8 | 120 |
| DW-09 | 15 (4 A) | 6 | 90 |
| DF-11 | 15 (5 A) | 4 | 60 |
| DS-1219 | 15 (8 A) | 2 | 30 |
| DS-1227 | 15 (13 A) | 2 | 30 |
| TOTAL : | | 40 | 600 |

Tabla N° 18

Cantidad de Acumuladores a Cargar por Período de Carga

| Tipos de acumuladores | Periodos de carga a la semana | Cantidad necesaria de acumuladores a cargar por período | Cantidad de acumuladores por semana |
|-----------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| DC-09 | 4 | 270 | 1 080 |
| DF-19 | 4 | 120 | 480 |
| DW-09 | 4 | 90 | 360 |
| DF-11 | 4 | 60 | 240 |
| DS-1219 | 4 | 30 | 120 |
| DS-1227 | 4 | 30 | 120 |
| TOTAL : | | 600 | 2 400 |

3.2. Determinación de la Demanda Eléctrica del Sistema Fabril y del Sistema de Iluminación

3.2.1.- Zona de Rectificadores para Carga de Baterías

Para los acumuladores tipo DC-09, DF-F9, DW-09, DF-11, el cargador requerido es de 5 A a una tensión de 220 VDC.

Para los acumuladores tipo DS-1219, se requerirá un cargador de 10 A, para los de tipo DS-1227 se requerirá un cargador de 15 A; en todos los casos la tensión será de 220 VDC.

Potencia :

- Para los de tipo DC-09, DF-F9, DW-09, DF-11

$$I \quad - \quad 5 \text{ A}$$

$$V \quad = \quad 220 \text{ VDC}$$

$$W \quad = \quad 1,1 \text{ KW}$$

$$S \quad - \quad 1,1 \text{ KVA}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de cargadores} = 36$$

$$\implies \text{Potencia total} = 1,1 \times 36 = 39,6 \text{ KW}$$

- Para los de tipo DS-1219

$$I \quad = \quad 10 \text{ A}$$

$$V \quad = \quad 220 \text{ VDC}$$

$$W \quad = \quad 2,2 \text{ KW}$$

$$S \quad = \quad 2,2 \text{ KVA}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de cargadores} = 2$$

$$\implies \text{Potencia total} = 2,2 \times 2 = 4,4 \text{ KW}$$

-Para los de tipo DS-1227

$$I = 15 \text{ A}$$

$$V = 220 \text{ VDC}$$

$$W = 3,3 \text{ KW}$$

$$S = 3,3 \text{ KVA}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de cargadores} = 2$$

$$\implies \text{Potencia total} = 3,3 \times 2 = 6,6 \text{ KW}$$

Como todos los cargadores son de 2 KVA, para este tipo de baterías usaremos 4 cargadores conteniendo cada uno de los bancos 8 baterías.

Así:

$$\text{POTENCIA TOTAL} : 50,6 \text{ KVA}$$

Tomando un factor de seguridad igual al 50%:

$$\text{POTENCIA TOTAL} : 50,6 \text{ KVA} \times 1,5 = 75,9 \text{ KVA} = 76 \text{ KVA}$$

Para que todos los cargadores sean de la misma potencia elegimos 42 cargadores de 2 KVA cada uno.

$$\text{Luego: POTENCIA TOTAL} = 84 \text{ KVA}$$

3.2.2. Zona de Rectificadores para Tratamiento de Placas

Las placas necesarias para la producción son 40 788. Para su tratamiento contaremos con 30 cargadores conteniendo cada uno de ellos 10 unidades y cada unidad 146 placas, la corriente por cargador será de 5 A y la tensión de 220 V.

Esquemáticamente podemos representarlo:

$$V - 220 \text{ VAC}$$

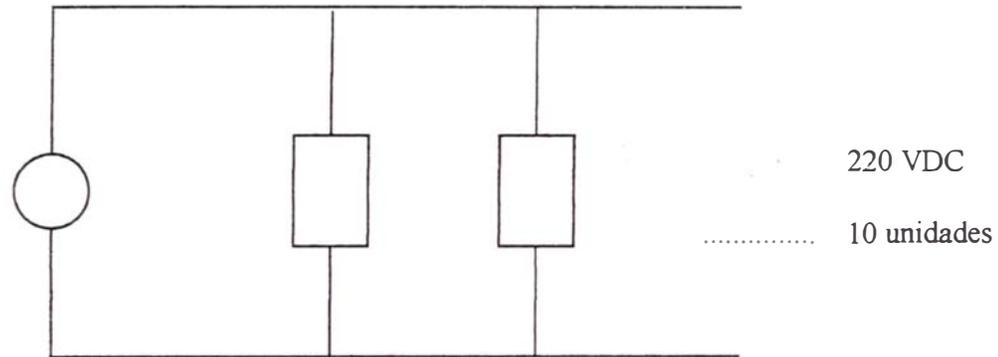
$$I - 5 \text{ A}$$

$$W = 1,1 \text{ KW/cargador}$$

W - 1,1 KW X 10

W - 11 KVA/banco

Tomamos 12,5 KVA/banco:



10 unidades

Figura ° 18. Distribución esquemática de los bancos para tratamiento de placas.

Nº de unidades : 10

Nº de placas por unidad : 146

Total de placas a cargarse : 1 460 por banco

Un banco está formado por 10 cargadores, por lo tanto para las placas requeridas necesitaremos un total de 28 bancos. Tomamos 30 bancos.

Potencia de cada banco 12,5 KW = 12,5 KVA, para los 30 bancos.

POTENCIA TOTAL : 375 KVA

3.2.3. Zona de Empastadoras y Batidoras

Según los requerimientos de la producción mensual de baterías concluimos que son necesarias dos máquinas empastadoras y tres batidoras. En el primer caso, la

potencia es de 20 KVA por máquina y, en el segundo, de 10 KVA. Elegimos 2 empastadoras y cuatro batidoras; cada dos batidoras alimentan una empastadora.

3.2.4. Zona de Parrillera

En esta zona la cantidad de máquinas parrilleras y máquinas de hacer partes, son determinadas por la demanda mensual de baterías. Así se consideran 7 máquinas parrilleras de 2 KVA cada una, 4 máquinas de hacer partes de 2 KVA cada una (3 automáticas y 1 manual). Elegimos 10 parrilleras y 4 máquinas de hacer partes.

3.2.5. Zona de Iluminación

La potencia requerida en esta zona es:

- Alumbrado interno : 27,26 KVA

3.2.6. Zona de Emergencia

- Potencia Total : 22,33 KVA

3.3. Tabla de Carga y Demanda Eléctrica

Las características eléctricas de cada zona son las que a continuación se detallan:

a) Zona de rectificadores para carga de baterías

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Número de cargadores a servir ----- | 42 unidades |
| Potencia unitaria ----- | 2 KVA - 1 ϕ |
| Potencia para otras cargas ----- | 1,32 KVA |
| Potencia total ----- | 85,32 KVA |
| Tensión de servicio - ----- | 220-230 V - 3 ϕ |

b) Zona de rectificadores para tratamiento de placas

| | |
|---|---------------------|
| Número de rectificadores a servir ----- | 30 unidades |
| Potencia unitaria ----- | 12,5 KVA |
| Tensión de servicio ----- | 20-230 V - 3 ϕ |

| | |
|-----------------------|---------|
| Potencia total ----- | 375 KVA |
| Otras cargas ----- | 3 KVA |
| Potencia Global ----- | 378 KVA |

c) **Zona de empastadoras y batidoras**

| | |
|--|----------------|
| Número de empastadoras a servir -- - ----- | 2 unidades |
| Potencia unitaria de empastadora ----- | 20 KVA |
| Número de batidoras a servir ----- | 4 unidades |
| Potencia unitaria de batidora ----- | 10 KVA |
| Potencia total (empastadora y batidoras) ----- | 80 KVA |
| Otras cargas ----- | 9,50 KVA |
| Potencia global ----- | 89,50 KVA |
| Tensión de servicio ----- | 220-230 V - 3φ |

d) **Zona de parrilleras**

| | |
|---|----------------|
| Número de parrilleras a servir ----- | 10 unidades |
| Potencia unitaria de parrillera ----- | 2 KVA |
| Número de <u>máquinas</u> de hacer partes ----- | 4 unidades |
| Potencia unitaria de máq. de hacer partes ----- | 2 KVA |
| Potencia para otras cargas ----- | 6 KVA |
| Potencia total ----- | 34 KVA |
| Tensión de servicio ----- | 220-230 V - 3φ |

e) **Zona de iluminación (Naves)**

Para esta zona se han considerado las siguientes cargas:

| | |
|------------------------------|----------------|
| Alumbrado interno ----- | 27,26 KVA |
| Otras cargas y reserva ----- | 13,60 KVA |
| Potencia total ----- | 40,86 KVA |
| Tensión de servicio ----- | 220-230 V - 3φ |

f) **Zona de Emergencia**

| | |
|--|----------------|
| Alumbrado y tomacorrientes en oficinas ----- | 6,61 KVA |
| Ventiladores ----- | 12,00 KVA |
| Otras cargas ----- | 3,72 KVA |
| Potencia total ----- | 22,33 KVA |
| Tensión de servicio ----- | 220-230 V - 3φ |

En los tableros de la zona de empastadoras y batidoras y de la zona de parrilleras, las potencias asignadas a otras cargas corresponden a la potencia de los compresores.

La justificación de las potencias del compresor y de los ventiladores se muestran en el Apéndice C.

De acuerdo a las características de funcionamiento de una fábrica de baterías plomo-ácido, todas las máquinas y equipos se encontrarán operando a plena carga.

CAPÍTULO IV DISEÑO DE LAS REDES EN BAJA TENSIÓN Y TABLEROS ELECTRICOS

4.1. Di eño de las redes en 230 V - 3ø

Para determinar el conductor apropiado utilizaré las relaciones siguientes:

$$I = \frac{N \text{ f.s.}}{\sqrt{3} V}$$

$$\Delta V\% = \frac{N \text{ f.s. } I \cos \phi \times 10^5}{\gamma S V^2}$$

donde:

f.s. = factor de simultaneidad

$\gamma_{(20^\circ\text{C})}$ = conductividad del cobre = 58 m/Ω-mm²

$\gamma_{(60^\circ\text{C})}$ = conductividad del cobre = 50,8 m/Ω-mm²

S = sección del conductor en mm²

La caída de tensión no debe exceder del 4%.

Los resultados de aplicar dichas relaciones permitirán la elección tal como se indica en la Tabla adjunta. Donde:

V = 230 Voltios

O - T₁ : Cargador de baterías

O - T₂ : Tratamiento de placas

O - T₃ : Batidoras y empastadoras

O - T₄ : Parrilleras

O - T₅ : T.A.N.

O - T₆ : Tablero de emergencia

Tabla N° 19
Caida de Tensión en los Tableros

| RA-MAL | N° KVA | f.s. | I (A) | CABLES THW | SECCIÓN (mm ²) | l (m) | cos ϕ | ΔV % (60°C) |
|--------------------|---------|------|---------|---------------------------|----------------------------|-------|------------|---------------------|
| 0-T ₁ | 85,320 | 1,00 | 214,170 | 3#150mm ² | 150,00 | 35 | 1,00 | 0,7464 |
| 0-T ₂ * | 378,000 | 0,80 | 759,000 | 2(3#400 mm ²) | 400,00 | 50 | 0,85 | 0,6026 |
| 0-T ₃ | 89,500 | 0,80 | 179,730 | 3#95 mm ² | 95,00 | 155 | 0,85 | 3,7214 |
| 0-T ₄ | 34,000 | 0,80 | 68,280 | 3#50 mm ² | 50,00 | 210 | 0,85 | 3,6134 |
| 0-T ₅ | 40,860 | 1,00 | 102,560 | 3#35 mm ² | 35,00 | 65 | 1,00 | 2,8440 |
| 0-T ₆ | 22,330 | 1,00 | 56,050 | 3#16 mm ² | 16,00 | 20 | 1,00 | 1,0465 |

4.2. Especificaciones técnicas para la obtención de los tableros eléctricos de distribución

4.2.1. Tablero General

Este tablero será del tipo autosoportado y estará construido en plancha metálica.

Estará equipado con:

- a) Un conmutador voltimétrico.
- b) Un conmutador amperimétrico.
- c) Dos transformadores de corriente de 2000/5 A.*
- d) Un Amperímetro de cuadro a escala 0-2000 A.
- e) Un voltímetro de cuadro a escala 0-300 V.
- f) Tres fusibles DZ25/4 A para protección.
- g) Un interruptor termomagnético de 3 x 2000 A, 240 V, 125 KA de poder de ruptura.
- h) Un interruptor termomagnético de 3 x 300 A, 240 V, 42 KA de poder de ruptura.
- i) Un interruptor termomagnético de 3 x 1 000 A, 240 V, 85 KA de poder de ruptura.
- j) Un interruptor termomagnético de 3 x 225 A, 240 V, 25 KA de poder de ruptura.
- k) Un interruptor termomagnético de 3 x 100 A, 240 V, 30 KA de poder de ruptura.

- l) Un interruptor termomagnético de 3 x 125 A, 240 V, 25 KA de poder de ruptura.
- m) Un interruptor termomagnético de 3 x 75 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.

4.2.2. Tablero para Carga de Baterías (TACB)

Este tablero como su nombre lo indica sirve para alimentar bancos de cargadores para baterías, es del tipo adosado a la pared. Se ha considerado 1,32 KVA para servicios adicionales que se requieran; estará equipado con:

- a) Tres bases portafusibles de 630 A, 660 V, con fusibles de 400 A.
- b) Un interruptor termomagnético de 3 x 300 A, 240 V, 42 KA de poder de ruptura.
- c) Tres interruptores termomagnéticos de 2 x 150 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- d) Un interruptor termomagnético de 2 x 70 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- e) Un interruptor termomagnético de 2 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- f) Una lámpara señalizadora con fusible tipo DZ25/2 A de protección.

4.2.3. Tablero para Tratamiento de Placas (TATP)

Este tablero tiene por objeto servir a los cargadores que alimentan a los "Rackets" para el tratamiento de placas. Básicamente está formado por dos circuitos principales en las cuales se ha considerado 3 KVA para servicios adicionales. Estarán equipados cada uno con:

- a) Tres bases portafusibles de 630 A, 660 V, con fusibles de 630 A.
- b) Un interruptor termomagnético de 3 x 500 A, 240 V, 85 KA de poder de ruptura.
- c) Quince interruptores termomagnéticos de 2 x 70 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- d) Un interruptor termomagnético de 3 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- e) Un interruptor termomagnético de 2 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.

- f) Una lámpara señalizadora con fusible tipo DZ25/2 A para protección.

4.2.4. Tablero para Batidoras y Empastadoras (TABE)

Este tablero ha sido diseñado para servir a cuatro batidoras y dos empastadoras; adicionalmente se consideró 9,5 KVA para los servicios que se requiera. Estará equipado con:

- a) Tres bases portafusibles de 630 A, 660 V, con fusibles de 315 A.
- b) Un interruptor termomagnético de 3 x 225 A, 240 V, 25 KA de poder de ruptura.
- c) Dos interruptores termomagnéticos de 3 x 70 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- d) Cuatro interruptores termomagnéticos de 3 x 40 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- e) Dos interruptores termomagnéticos de 3 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- f) Un interruptor termomagnético de 2 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- g) Una lámpara señalizadora con fusible tipo DZ25/2 A para protección.

Este tablero será del tipo adosado a la pared pudiéndose modificar en caso de variar el equipamiento.

4.2.5. Tablero de Alimentación de Parrilleras (TAPR)

Este tablero está destinado a servir a diez unidades parrilleras, cuatro máquinas de hacer partes; se han considerado además 6 KVA para servicios adicionales. Estará equipado con:

- a) Tres bases portafusibles de 400 A, 660 V, con fusibles de 125 A.
- b) Un interruptor termomagnético de 3 x 100 A, 240 V, 30 KA de poder de ruptura.

- a) Dos transformadores de corriente de 30/5 A
- b) Un conmutador amperimétrico.
- c) Un conmutador voltimétrico.
- d) Un voltímetro de cuadro de 0-300 V.
- e) Un amperímetro de cuadro a escala de 0-30 A.
- f) Tres fusibles tipo DZ25/2 A.
- g) Un interruptor de transferencia de 3 x 75 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- h) Un interruptor termomagnético de 3 x 75 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- i) Un interruptor termomagnético de 3 x 50 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- j) Un interruptor termomagnético de 3 x 20 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- k) Tres interruptores termomagnéticos de 2 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.
- l) Un interruptor termomagnético de 3 x 15 A, 240 V, 22 KA de poder de ruptura.

4.2.8. Sistema de Transferencia

Este sistema estará constituido por dos contactores principales que estarán bloqueados mecánica y eléctricamente, para asegurar la entrada sólo de una de las posiciones: NORMAL o EMERGENCIA.

Luces indicadoras:

- Dos lámparas verdes indicando fuente de EMERGENCIA y NORMAL disponibles.,
- Una lámpara roja que indica sistema conectado a fuente de EMERGENCIA.
- Una lámpara blanca que indique sistema conectado a fuente NORMAL.

Cada lámpara llevará como protección un fusible tipo DZ25/2 A.

Características:

- Cantidad : 1
- Corriente nominal : 75 A
- Tensión máxima nominal : 230 V
- Tensión de aislamiento : 600 V

4.2.8.1. Grupo Electrónico

El proyecto comprende el suministro e instalación de un grupo eléctrico, estacionario de 25 kW para trabajar a 100 m. sobre el nivel del mar.

El grupo eléctrico solicitado se utilizará para servicio de trabajo de emergencia, debiendo estar garantizado para soportar una sobrecarga del 10% durante una hora continua dentro de un período de 12 horas de funcionamiento y una sobrecarga mínima instantánea no menor de 15%.

El diseño contempla una unidad cuya velocidad de régimen no sea mayor de 3 600 RPM.

Deberá estar diseñado para poder funcionar en emergencia al fallar el fluido de electricidad suministrado por el concesionario. El suministro comprende:

- Grupo eléctrico
- Tablero de control
- Accesorios y piezas de repuestos
- Ducto de escape de humos (chimenea)
- Tanques de petróleo

Motor Diesel

Motor Diesel estacionario, refrigerado por aire (con radiador), lubricado a presión con velocidad de régimen 3 600 RPM con el siguiente equipo instalado:

- Equipo de Admisión de aire con filtro de aire seco, con elementos reemplazables e indicador de servicio.
- Equipo de escape compuesto de: silenciador, conexión flexible y tubo de escape.
- Equipo de lubricación a presión con filtros dobles reemplazables, bomba de circulación y enfriador del aceite.
- Equipo de enfriamiento compuesto de: radiador, ventilador tipo mariposa, bomba de circulación de agua y caja de termostato.
- Equipo de arranque compuesto de: baterías, motor eléctrico de arranque, alternador de carga, cables y bornes de conexión.

Alternador

Alternador trifásico de baja tensión, para ser accionado por el motor diesel descrito en el rubro anterior de las siguientes características:

- Potencia Activa : 25 kW
- Tensión : 230 V
- Frecuencia : 60 Hz
- Factor de potencia : 0,8
- Velocidad de régimen : 3 600 RPM
- Aislamiento : tipo H
- Acoplamiento : directo, flexible
- Excitación : autoexcitado y autoregulado
- Marco de funcionamiento : común con el motor.

4.2.8.2. Tablero de Control y Equipamiento

Tablero montado sobre el alternador y equipado con:

Equipo de Control y Medición:

Voltímetro, amperímetro, frecuencímetro y conmutador ó selector de fases, switch de arranque, botón de parada, tacómetro y control de velocidad del GENERADOR.

Lámparas indicadoras para presión de aceite, temperatura del agua y carga de baterías, sistema de apagado automático por falta de presión de aceite ó sobretemperatura del MOTOR.

La distribución de los tableros en planta, así como del Tablero General y de Emergencia se muestra en las Figuras N° 16 y 17, respectivamente. Igualmente en el Apéndice D se muestran los Diagramas Unifilar del Tablero General y demás tableros.

4.3. Cálculo de la iluminación

El material utilizado para la fabricación de artefactos de iluminación y demás accesorios así como los cálculos realizados están de acuerdo con las normas y códigos aplicables de las organizaciones que se señalan en el Apéndice E.

4.3.1. Cálculo de la iluminación: ave de fábrica de baterías

Iluminación media de diseño de servicio: $E = 100$ a 150 lux.

Dimensiones del local

| | | | |
|----------------------------------|----------|---|----------|
| Largo : | L | = | 111,52 m |
| Ancho | W | = | 60,00 m |
| Altura | H | = | 10,00 m |
| Altura de la cavidad del techo | h_{CC} | = | 1,00 m |
| Altura de la cavidad del local : | h_{RC} | = | 8,00 m |
| Altura de la cavidad del piso : | h_{FC} | = | 1,00 m |

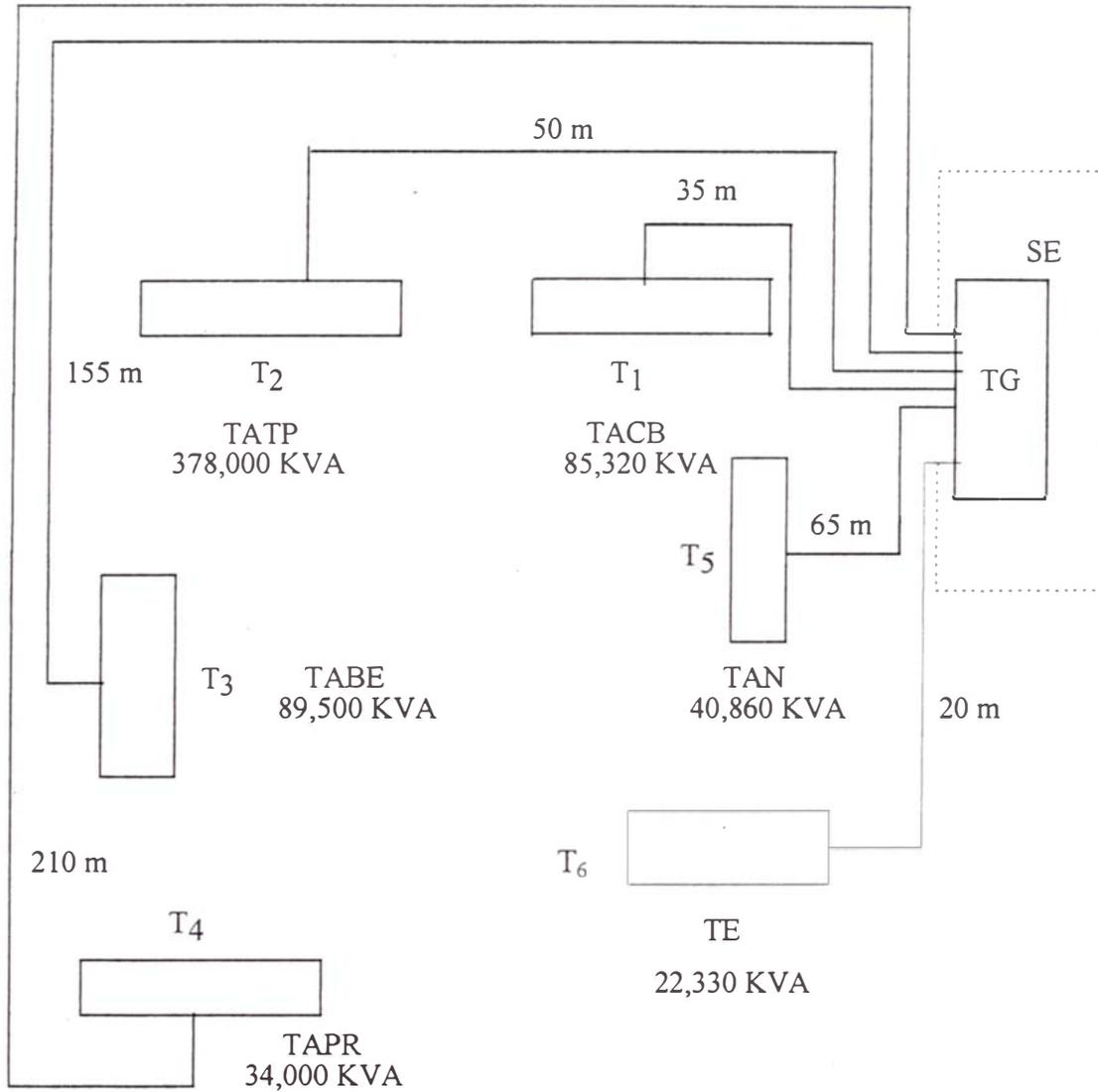


Figura N° 16. Diagrama general de distribución de tableros.

Relacion de la cavidad del techo:

$$CCR = \frac{5 h_{CC} (L + W)}{L \times W}$$

$$CCR = \frac{5 \times 1,00 (111,52 + 60)}{111,52 \times 60} = 0,128$$

Relación de la cavidad del local:

$$RCR = \frac{5 h_{RC} (L + W)}{L \times W}$$

$$RCR = \frac{5 \times 8,00 (111,52 + 60)}{111,52 \times 60} = 1,025$$

Relación de la cavidad del piso

$$FCR = \frac{5 h_{FC} (L + W)}{L \times W}$$

$$FCR = \frac{5 \times 1,00 (111,52 + 60)}{111,52 \times 60} = 0,128$$

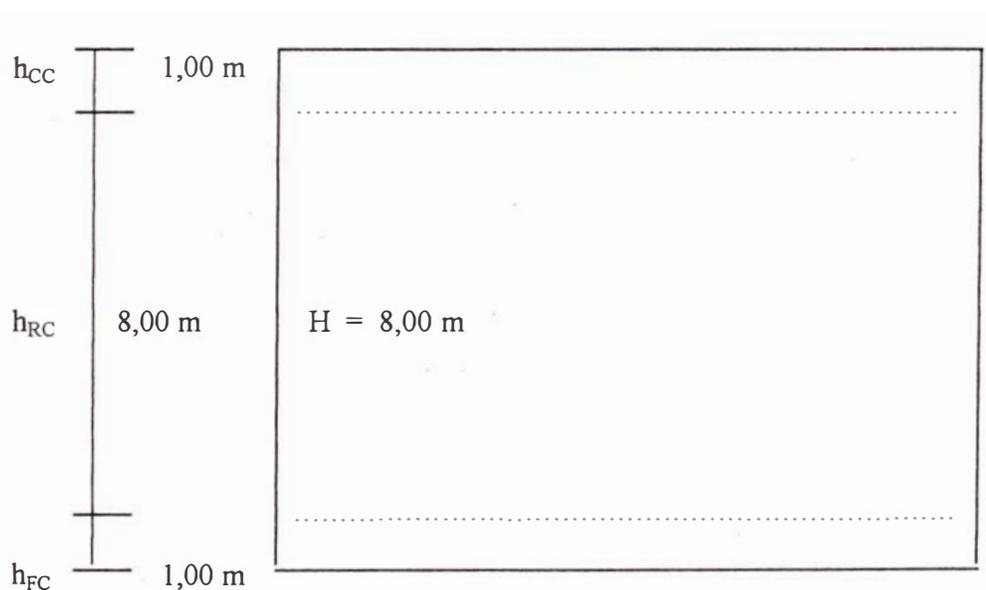


Figura ° 18. Alturas requeridas para el cálculo de iluminación en la planta.

Reflectancia del techo : $\rho_C = 20\%$

Reflectancia de las paredes : $\rho_W = 50\%$

Reflectancia del piso : $\rho_F = 20\%$

Reflectancia efectiva de la cavidad del techo (ρ_{CC})

Para $\rho_C = 20\%$, $\rho_W = 50\%$ y $CCR = 0,128$, del Apéndice F, se obtiene:

| CCR | $\rho_{CC} \%$ |
|-------|--------------------|
| 0,128 | 20 |
| 0,2 | 20 |
| 0,4 | 20 |
| | $\rho_{CC} = 20\%$ |

Reflectancia efectiva de la cavidad del piso (ρ_{FC})

Para $\rho_F = 20\%$, $\rho_W = 50\%$ y $FCR = 0,11$, del Apéndice F.

| FCR | $\rho_{FC} \%$ |
|------|--------------------|
| 0,11 | 20 |
| 0,2 | 20 |
| 0,4 | 20 |
| | $\rho_{FC} = 20\%$ |

Evaluación del ambiente del área de operación

Factores para utilizarse con la tabla:

1 = lo más limpio posible, 2 = limpio, pero no lo más limpio, 3 = promedio

4 = sucio, pero no lo máximo, 5 = las condiciones más sucias imaginables

Tabla N° 20

Evaluación del Ambiente de Operación

| Tipo de Suciedad | Area adyacente al área de trabajo | | | | | | Factor de filtro (por ciento de suciedad que pasa) | Area alrededor del trabajo | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|-----------|---|-------|---|---|----------------------------|--------------|---|-----------|---|-----------|---|----|
| | Intermitente | | Constante | | Total | | | De la adyacente | Intermitente | | Constante | | Sub-Total | | |
| Suciedad adhesiva | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |
| Suciedad atraída | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |
| Suciedad inerte | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |

Total de factores por suciedad = 42

0 - 12 = Muy limpio 13 - 24 = Limpio

25 - 36 = Mediano 37 - 48 = Sucio

49 - 60 = Muy Sucio

Se considera un ambiente sucio.

4.3.1.1. Alternativa N° 1 : Usando lámparas fluorescentes

- Datos de la lámpara:

Fluorescente, semejante a las lámparas L36W/11 LUMILUX, luz día, de OSRAM, ó similar.

Potencia:

36 (Vatios)

Flujo luminoso inicial por lámpara:

3 250 (lúmenes)

Longitud:

1 200 (mm)

Diámetro:

26 (mm)

Vida útil promedio:

7 500 (horas)

Temperatura de color:

6 500 (Kelvin)

Tono de luz:

blanco

Casquillo:

G13 según DIN 49653

Tipo de reactancia:

40 (Vatios)

Color de luz:

86

Eficiencia luminosa

90 (lm/W)

Indice de rendimiento de color ó reproducción cromática:

85 según DIN 5035

Apariencia de color ó tono de luz:

Luz blanca

Densidad luminosa (luminancia):

0,86 (Cd/cm²)

Forma:

Tubular rectilínea

Intensidad de corriente nominal:

0,43 (A)

Potencia con reactancia:

46 (W)

- **Luminaria:**

Será del tipo colgado de techo, artefactos rectangulares de las siguientes características:

Chasis: Metálico de acero aporcelanado en blanco al horno, pantalla plegada, sin difusor, constituido como reflector y soporte del equipo eléctrico de 1 265 mm de longitud aproximadamente.

Modelo: Será de distribución directa tipo ISP 2/40 e ISP 3/40 de JOSFEL o similar.

Equipo Accesorio:

Artefacto Tipo 1 :

2 lámparas fluorescentes de 36 W c/u

2 reactancias de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal

4 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W

2 condensadores de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u

2 arrancadores de 220 V, 60 Hz

Artefacto Tipo 1A :

3 lámparas fluorescentes de 36 W c/u

3 reactancias de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal

6 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W

3 condensadores de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u

3 arrancadores de 220 V, 60 Hz

Reactancias: Con acabado exterior totalmente hermético, blindado o cubierto por resina a prueba de humedad o contaminación ambiental, se emplearán para limitar la corriente de la lámpara; operarán a una tensión nominal de 220 V, 60 Hz y con un consumo de 10 W por reactancias.

Condensadores: Se instalarán para mejorar el factor de potencia del conjunto lámpara-reactancia y operarán a una tensión nominal de 220 V y serán de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz.

Arrancadores: Para operación a una tensión nominal de 220 V, 60 Hz. Se instalarán para facilitar el encendido de las lámparas fluorescentes de 36 W.

Información proporcionada:

Curva de distribución fotométrica (Apéndice G).

- Coefficiente de Utilización: (C_u)

Según datos lumínicos del Manual de Iluminación de JOSFEL (Apéndice K), para una luminaria industrial, tipo ISP 2/40 ó similar, con pantalla aporcelanada:

Para $\rho_{CC} = 20\%$; $\rho_W = 50\%$; $R_{CR} = 1,025$ y $\rho_{FC} = 20\%$ tenemos que interpolar:

| RCR | ρ_{CC} | | |
|-------|-------------|--------|------|
| | 30 | 20 | 10 |
| 1 | 0,68 | 0,65 | 0,62 |
| 1,025 | | 0,6481 | |
| 2 | 0,60 | 0,575 | 0,55 |

Luego:

$$C_u = 0,6481$$

- **Categoría de mantenimiento:**

La categoría será II, según luminaria ISP 2/40 de JOSFEL ó similar. Se recomienda limpieza de la luminaria cada 6 meses.

- **Factores no recuperables de pérdida luminosa**

- a) TEMPERATURA AMBIENTE DE LA LUMINARIA. Según el área física de la planta, tiene buena ventilación por lo que la lámpara no se verá afectada en su eficiencia, tomándose como factor igual a 1,0.
- b) VOLTAJE EN LA LUMINARIA. No se reduce en más del 2%, considerando el factor igual a 1,0.
- c) FACTOR DE REACTOR. Utilizando reactor Alfa de buena calidad, consideramos un factor igual a 1,0.
- d) DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE LA LUMINARIA. Por estar ubicadas en alturas, las luminarias se conservarán en buen estado, tomándose luego un factor por depreciación de capacidad reflectiva igual a 1,0.

- **Factores recuperables de pérdidas luminosas**

- a) DETERIORO DE LAS LUMINARIAS POR SUCIEDAD. Para la categoría de mantenimiento II se tiene que para 6 meses, el factor correspondiente a la curva para un ambiente sucio es igual a 0,91 (Apéndice H).
- b) DEPRECIACIÓN DE LA EMISIÓN LUMINOSA DE LA LÁMPARA. Después de 7 500 horas de operación es igual a 0,77, según datos proporcionados por el fabricante.
- c) LÁMPARAS FUERA DE SERVICIO. Es igual a 0,80 (20% de lámparas están fuera de servicio).

- d) DETERIORO POR SUCIEDAD EN LAS SUPERFICIES DEL LOCAL. Para una limpieza de las luminarias cada 6 meses intersectamos en la curva para un ambiente sucio, con lo cual nos resulta un porcentaje esperado de deterioro por suciedad de 18% (Apéndice I). Luego vamos a la tabla del mismo para un tipo de distribución luminosa directa y una relación de la cavidad del local de 1,025. Tenemos que interpolar:

| RCR | % | | |
|-------|------|-------|------|
| | 10 | 18 | 20 |
| 1 | 0,98 | | 0,96 |
| 1,025 | 0,98 | 0,964 | 0,96 |
| 2 | 0,98 | | 0,96 |

Se considera un factor igual a 0,964.

- **Factor Total de Pérdidas (F_{TP})**

$$F_{TP} = (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,91)(0,77)(0,80)(0,964)$$

$$F_{TP} = 0,5404$$

Número de Luminarias (N)

Considerando dos lámparas por luminaria, se tiene que cada luminaria emana un flujo de 6 500 lúmenes. El nivel luminoso es a 100 lux.

$$\text{Número de luminarias (N)} = \frac{\text{Iluminación media x Area del piso}}{\text{lúmenes totales x Cu x F}_{TP} \text{ por luminaria}} \quad (1)$$

$$N = \frac{100 (111,52 \times 60)}{6\,500 \times 0,6481 \times 0,5404} = 293,9$$

Se toma $N = 288$ luminarias a 96 luminarias por nave, para una distribución simétrica.

$$\text{Iluminación (E) Media} = \frac{\text{Número de luminarias} \times \text{lúmenes totales por luminaria} \times C_u \times F_{TP}}{\text{Area del piso}} \quad (2)$$

$$E = \frac{288 \times 6 \times 500 \times 0,6481 \times 0,5404}{111,52 \times 60}$$

$$E = 98,0 \text{ lux}$$

- Distribución de las luminarias:

a) Determinación del número de filas:

Según la luminaria escogida, la máxima separación entre luminarias no debe exceder de 1,3 veces la altura de la cavidad del local y la separación de pared a luminaria debe ser la tercera parte de la separación de luminaria a luminaria.

Escogiendo tres filas por nave, la distancia entre luminarias resulta ser de 6,9529 m y la distancia de pared a luminaria de 2,3176 m.

La máxima separación entre luminarias debe ser menor que 1,3 h_{RC}:

$$6,9529 < 1,3 \text{ h}_{RC}$$

$$6,9529 < 10,79 \text{ m} \quad \text{OK}$$

b) Determinación del número de unidades por fila:

Según el manual de iluminación de PHILIPS, la separación máxima entre los centros de las luminarias en dirección de las hileras no debe exceder de 2/3 veces la altura de la cavidad del local.

Los extremos de las hileras deben quedar separados de la pared entre 15 cm y 60 cm.

$$96 \text{ luminarias/nave} \div 3 \text{ filas/nave} = 32 \text{ luminarias/fila}$$

Escogiendo una separación entre los centros de las luminarias de 3,52 m, los extremos de las hileras quedan separados 60 cm de la pared. La máxima separación entre los centros de las luminarias debe ser menor que $2/3 h_{RC}$:

$$3,52 < 2/3 h_{RC}$$

$$3,52 < 5,33 \quad \text{OK}$$

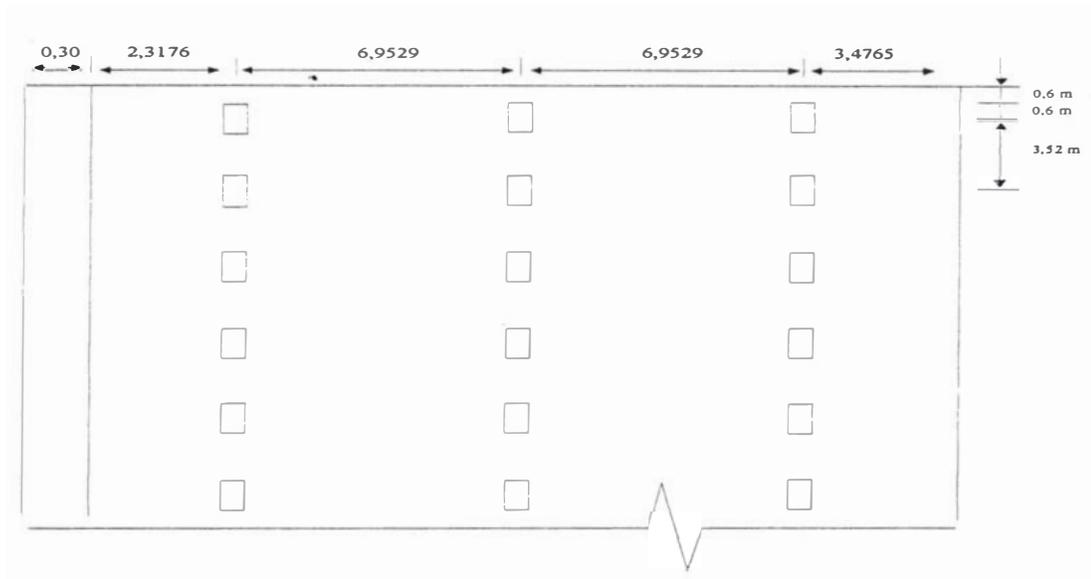


Figura ° 19. Distribución de luminarias en planta.

- Áreas de mayor iluminación

Área 1: L = 20 m W = 12,4 m

En este caso vamos a utilizar tres lámparas por luminaria. Para tres lámparas por luminaria se debe agregar un factor que es igual a 0,9.

Considerando que cada lámpara emana un flujo de 3 250 lúmenes y que el nivel luminoso es a 150 lux. Usando la expresión (1):

$$N_1 = \frac{150 (20 \times 12,4)}{9\,750 \times 0,6481 \times 0,5404 \times 0,9} = 12,1$$

Se toma: $N_1 = 12$.

También, usando la expresión (2):

$$E_1 = \frac{12 \times 9 \times 750 \times 0,6481 \times 0,5404 \times 0,9}{20 \times 12,4} = 148,7 \text{ lux}$$

Distribución de luminarias en el Area 1:

a) Determinación del número de filas

Escogiendo 3 filas para el Area 1, la distancia entre luminarias resulta ser de 6,9529 m y la distancia de pared a luminaria de 2,3176 m.

Se obtiene:

$$6,9529 < 1,3 \text{ hRC}$$

$$6,9529 < 10,79 \quad \text{OK}$$

b) Determinación del número de unidades por fila

$$12 \text{ luminarias} / 3 \text{ filas} = 4 \text{ unidades/fila}$$

Escogiendo una separación entre los centros de las luminarias de 3,52 m, los extremos de la hilera quedan separados 0,32 m de los límites del Area 1.

$$3,52 < 2/3 \text{ hRC}$$

$$3,52 < 5,53 \text{ m} \quad \text{OK}$$

La separación entre los centros de las luminarias extremos de fila a los límites del Area 1 es de 0,92 m.

La separación entre los centros de las luminarias extremos de fila del área 1 a las luminarias de las áreas colaterales es de 3,52 m < 10,79 m OK.

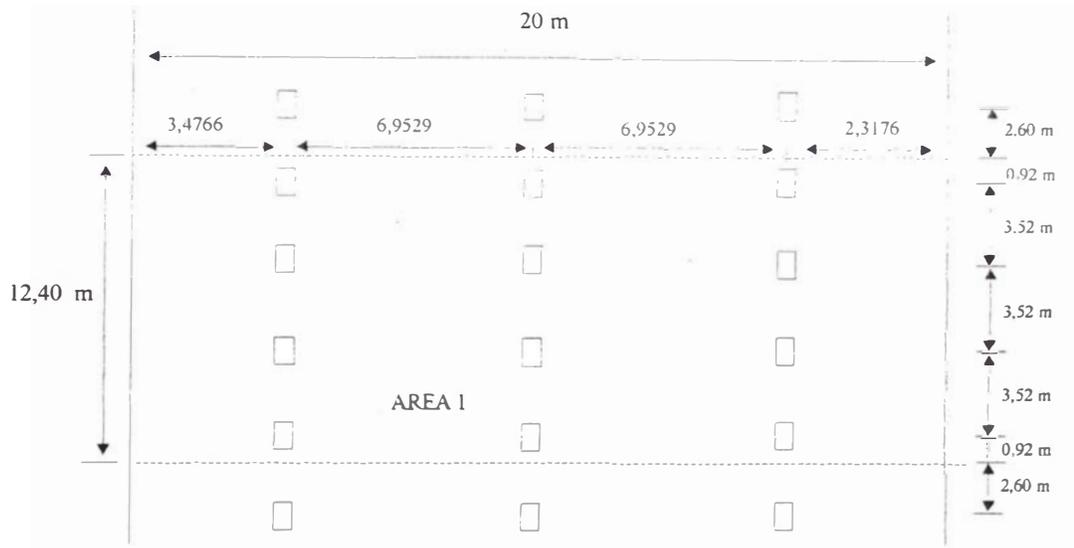


Figura ° 20. Distribución de luminarias en la zona de Control de Calidad.

Area 2: L = 20 m W = 15,2 m

Igual que para el área 1 se utilizará tres lámparas por luminaria.

El número de luminarias en esta área se calcula a partir de la expresión (1):

$$N_2 = \frac{150 (20 \times 15,2)}{9\,750 \times 0,6481 \times 0,5404 \times 0,9} = 14,8$$

Se toma $N_2 = 12$ luminarias para mantener la simetría, toda vez que en este caso

irán 3 fluorescentes por luminaria.

Igualmente, la iluminación mediana la determinamos a partir de la expresión (2):

$$E_2 = \frac{12 \times 9\,750 \times 0,6481 \times 0,5404 \times 0,9}{20 \times 15,2} = 134,8 \text{ lux}$$

Distribución de luminarias en el Area 2:

a) Determinación del número de filas

Escogiendo 3 filas para el Area 2, la distancia entre luminarias resulta ser de 6,9529 m y la distancia tomada desde los límites laterales de la nave a las luminarias más cercanas es de 3,0471 m.

b) Determinación del número de unidades por fila

12 luminarias / 3 filas = 4 unidades/fila

Escogiendo una separación entre luminarias de 3,52 m, los extremos de la hilera quedan separados 1,72 m de los límites del Area 2.

La separación entre los centros de las luminarias extremos de fila a los límites del Area 2 es de 2,32 m.

La separación entre los centros de las luminarias extremos de fila del área 2 a las luminarias de las áreas colaterales es de 3,52 m < 10,79 m OK.

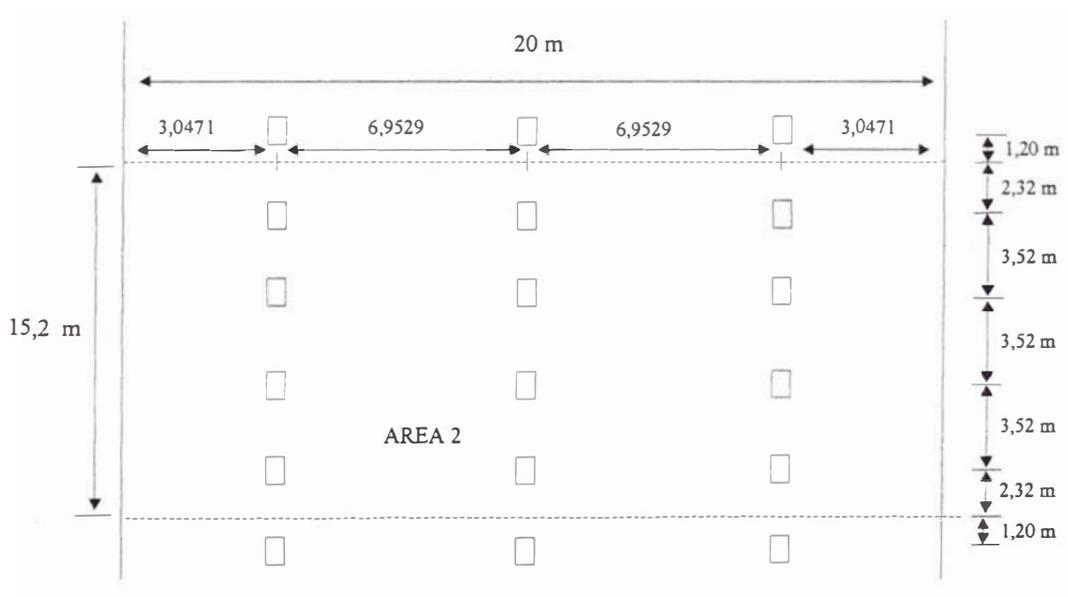


Figura N° 21. Distribución de luminarias en la zona de Armado de Baterías.

Cantidad de luminarias a instalar en planta:

Para iluminación de 100 lux : 264 luminarias

Para iluminación de 150 lux : 24 luminarias

TOTAL : 288 luminarias

Finalmente el número de lámparas es:

| | |
|---------|--------------|
| 264 x 2 | 528 |
| 24 x 3 | 72 |
| | ----- |
| | 600 lámparas |

4.3.1.2. Alternativa 2

Usando luminaria tipo MER 250 W, con lámparas PHILIPS HPLdl, 250 W E-40, ó similar, con reactancia BHL 250 L 30 y con flujo luminoso $\phi = 14,000$ lúmenes.

- Características técnicas de la luminaria

- Luminaria industrial con reflector de dispersión de haz ancho, de perfil parabólico para usarse con una lámpara de vapor de mercurio de 250 W. Servirá como soporte del equipo y reflector.
- Espejo reflector de aluminio repujado de alto grado de pureza, altamente pulido en la parte interna y totalmente anodizado.
- Socket porta lámpara de porcelana, reforzado para servicio pesado, resistente a las altas temperaturas, con dispositivo de seguridad contra vibraciones, con rosca E-40 de cobre duro niquelado de contacto central telescópico posibilitando regulación longitudinal y esferoideal para una perfecta focalización.
- Cable alimentador 2 x 2,5 mm² biplasto, resistente a altas temperaturas.
- Fijación mediante cadenas.
- **Accesorios:**
 - Alojamiento para los equipos auxiliares de la lámpara de fácil acople a la luminaria; de aluminio repujado y tapa de aluminio fundido; ambos con aberturas para facilitar la disipación térmica. Suspensión a través del sistema de cadenas.

- Cubierta protectora de vidrio templado, resistente a altas temperaturas con empaquetadura de silicona, todo el conjunto en un aro de aluminio fijado a la luminaria mediante dispositivos de cierre de acero inoxidable del tipo basculante móvil y mediante una bisagra de ajuste de acero inoxidable la cual al estar abierta permite que el lente de vidrio cuelge normalmente sin necesidad de retirarlo.

- Fabricante:

PHILIPS, JOSFEL ú otro

- Designación según fabricante:

HDK / SDK 472 con ZDK 473 ó MER 250

- Tipo o identificación:

Para lámparas de vapor de mercurio

- Dimensiones principales:

diámetro : 424 mm

altura : 449 mm

- Peso del artefacto sin equipo:

0,80 Kg

- **Características técnicas de la lámpara**

Lámpara fluorescente de descarga en gas de vapor de mercurio de alta presión, de forma ovoide recubierta interiormente con una capa de vanadato de itrio con tubo de descarga de cuarzo situado en el interior de la ampolla de vidrio duro.

- Fabricante:

PHILIPS ú otro

- Designación según fabricante:

HPLdl

- Tipo o identificación:

HPLdl 250 W

- Dimensiones principales:

Bulbo: 92 mm ϕ

- Peso neto:

170 (gr)

- Normas de fabricación:

VDE/IEC

- Tensión nominal de funcionamiento:

220 (V)

- Frecuencia de funcionamiento:

60 (Hz)

- Máxima temperatura de operación:

250 (°C) en la base

- Máxima temperatura de operación:

350 (°C) en el bulbo

- Tipo de casquillo:

E-40

- Mínima tensión de la red para funcionamiento estable:

198 (V)

- Corriente de arranque:

2,93 (A)

- Corriente nominal en operación continua:

2,13 - 2,15 (A) (PHILIPS-OSRAM)

- Tiempo de encendido:

4 (min) (Número de minutos después de los cuales la lámpara emite el 80% de su flujo luminoso).

- Emisión luminosa después de 100 horas de operación:

14 000 (lúmenes)

- Emisión luminosa al 75% de su vida útil:

9 800 (lúmenes)

- Vida útil:

16 000 (horas)

- Color de luz:

Blanca neutral

- Consumo de potencia nominal:

250 (W)

- Posición de trabajo:

Vertical

- Rendimiento luminoso:

56 (lm/W)

- Densidad luminosa (luminaria):

10 - 11,5 (Cd/cm²)

- Tensión Promedio de la lámpara:

135 (V)

El equipo accesorio para las lámparas de vapor de mercurio consistirá en:

- a) Reactancias.- Para limitar la corriente de las lámparas de vapor de mercurio de 250 W. Las reactancias son con aislamiento clase H, protegidos del medio

ambiente por encapsulamiento en resina sintética a prueba de humedad o contaminación ambiental, cubierto con blindaje exterior de acabado totalmente hermético, igual o similar al BHL 250 L 30 de PHILIPS, adecuadas para lograr un alto factor de potencia, baja pérdida, para operar a una tensión nominal de 220 V y bajo una variación de $\pm 10\%$ de la tensión nominal, 60 Hz, con un consumo de la reactancia de 18 W.

Las reactancias serán de las siguientes características:

- Fabricante:

PHILIPS, JOSFEL ú otro

- Tipo e identificación:

BHL 250L30

- Dimensiones principales:

125 x 79 x 65 (mm)

- Peso neto:

1 800 (gr)

- Tensión nominal de funcionamiento:

220 (V)

- Rango de tensión admisible:

198 - 242 (V)

- Pérdidas:

18 (W)

- Factor de potencia:

0,55

- Temperatura de operación:

130 (°C)

- Tiempo de vida promedio:

10 (años)

b) Condensadores: Se instalará para mejorar el factor de potencia del conjunto lámpara-reactancia operando a una tensión nominal de 220 V y serán de las siguientes características:

- Fabricante:

PHILIPS ú otro

- Tensión nominal de funcionamiento:

220 (V)

- Capacidad:

20 (μ F)

- Rango de tensión admisible:

0 - 250 (V)

- Corriente nominal en el arranque:

2,20 (A)

- Corriente de operación continua:

1,35 (A)

- Potencia reactiva:

255,4 (VAR)

- Información proporcionada:

Curvas de distribución fotométrica. (Ver Apéndice J).

- Cálculo del Coeficiente de Utilización:

Con luminaria tipo MER 250 de JOSFEL ó HDK 102/250 de PHILIPS, luz directa, el coeficiente será el que corresponda a la luminaria N° 18 del Apéndice K.

Para $\rho_{CC} = 20\%$; $\rho_W = 50\%$; $RCR = 1,025$ y $\rho_{FC} = 20\%$ tenemos que interpolar:

| RCR | PCC | | |
|-------|------|--------|------|
| | 30 | 20 | 10 |
| 1 | 0,72 | 0,6945 | 0,67 |
| 1,025 | | 0,6939 | |
| 2 | 0,67 | 0,65 | 0,63 |

Luego: $C_u = 0,6939$

- Categoría de mantenimiento:

La categoría será III (según Apéndice K), luminaria N° 18. Se recomienda limpieza de la luminaria cada 6 meses.

- Factores no recuperables de pérdida luminosa

- TEMPERATURA AMBIENTE DE LA LUMINARIA. El área física de la planta, tiene buena ventilación por lo que la lámpara no se verá afectada en su producción luminosa, tomándose como factor igual a 1,0.
- VOLTAJE EN LA LUMINARIA. No se reduce en más del 2%, considerando el factor igual a 1,0.
- FACTOR DE REACTOR. Utilizando reactor BHL 25DL30 de PHILIPS ó Alfa de JOSFEL de buena calidad, consideramos un factor igual a 1,0.

d) DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE LA LUMINARIA. Las luminarias se conservarán en buen estado por estar ubicadas en altura, tomándose luego un factor igual a 1,0 por depreciación de capacidad reflectiva.

- **Factores recuperable de pérdida lumino a**

- a) DETERIORO DE LAS LUMINARIAS POR SUCIEDAD. Para la categoría de mantenimiento III se tiene que para 6 meses, el factor correspondiente a la curva para un ambiente sucio es igual a 0,88 (según Apéndice H).
- b) DEPRECIACIÓN DE LA EMISIÓN LUMINOSA DE LA LÁMPARA. Después de 11 200 horas de operación es igual a 0,83. (Apéndice L).
- c) LÁMPARAS FUERA DE SERVICIO. Por no tener lámparas fundidas como consecuencia del buen mantenimiento, el factor es igual a 1,00.
- d) DETERIORO POR SUCIEDAD EN LAS SUPERFICIES DEL LOCAL. Para una limpieza de las luminarias cada 6 meses intersectamos en la curva para un ambiente sucio, con lo cual nos resulta un porcentaje esperado de deterioro por suciedad de 18% (Apéndice I). Luego vamos del mismo Apéndice, para un tipo de distribución luminosa directa y una relación de la cavidad del local de 1,025. Tenemos que interpolar:

| RCR | % | | |
|-------|------|-------|------|
| | 10 | 18 | 20 |
| 1 | 0,98 | | 0,96 |
| 1,025 | 0,98 | 0,964 | 0,96 |
| 2 | 0,98 | | 0,96 |

Se considera un factor igual a 0,964.

- **Factor Total de Pérdidas (F_{TP})**

$$F_{TP} = (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,83)(1,0)(0,964)$$

$$F_{TP} = 0,7041$$

- **Número de luminarias (N)**

Cada luminaria emana un flujo de 14 000 lúmenes. El nivel luminoso es a 100 lux.

A partir de la expresión (1):

$$N = \frac{100 (111,52 \times 60)}{14\,000 \times 0,6939 \times 0,7041} = 97,8$$

Se toma N = 96 luminarias a 32 luminarias por nave.

De la expresión (2):

$$E = \frac{96 \times 14\,000 \times 0,6939 \times 0,7041}{111,52 \times 60} = 98,1 \text{ lux}$$

- **Distribución de las luminarias:**

a) Determinación del número de filas:

Según la luminaria escogida (luminaria N° 18), la máxima separación entre luminarias no debe de exceder de 1,5 veces la altura de la cavidad del local y la separación de pared a luminaria debe ser la mitad de la separación de luminaria a luminaria.

Escogiendo dos filas por nave, la distancia entre luminarias resulta ser de 6,97 m y la distancia de pared a luminaria de 3,485 m.

La máxima separación entre luminarias debe ser menor que 1,5 h_{RC}:

$$6,97 < 1,5 h_{RC}$$

$$6,97 < 12,45 \text{ m} \quad \text{OK}$$

b) Determinación del número de unidades por fila:

32 luminarias/nave ó 2 filas/nave = 16 luminarias/fila

Separación entre los centros de las luminarias:

$$111,52 \div 16 = 6,97 \text{ m}$$

$$6,97 \text{ m} < 12,45 \text{ OK}$$

Separación de pared a luminaria = 3,485 m

Según croquis adjunto, la distribución es:

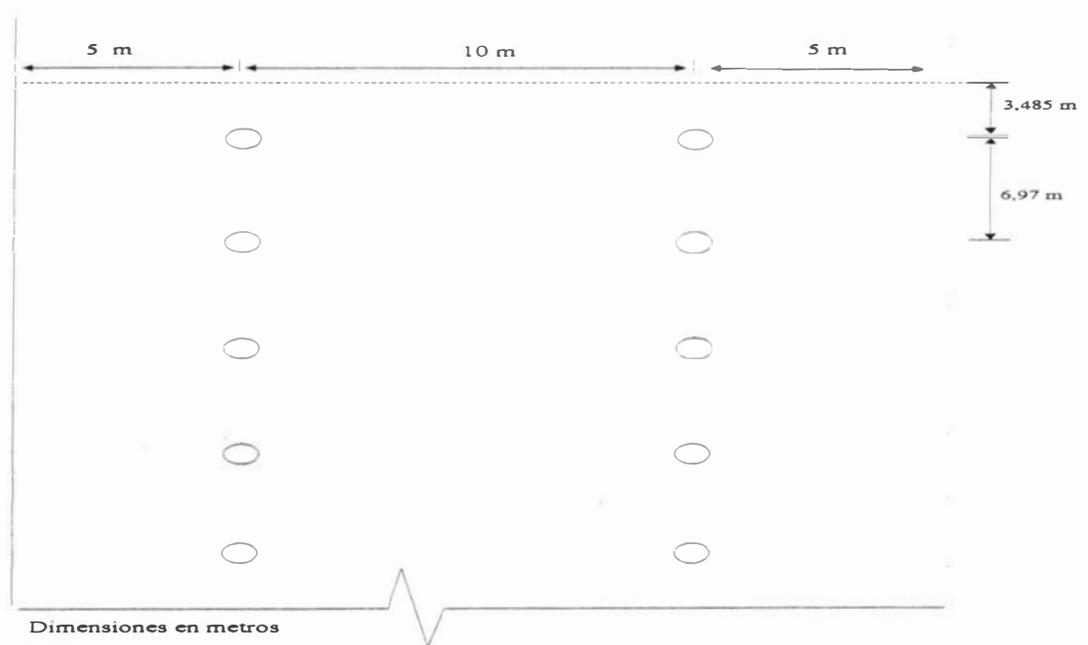


Figura ° 22. Distribución de luminarias en planta.

Áreas de mayor iluminación

- **Área 1:** L = 20 m W = 12,4 m

El nivel luminoso es a 150 lux. Usando la expresión (1):

$$N_1 = \frac{150 (20 \times 12,4)}{14\,000 \times 0,6939 \times 0,7041} = 5,4$$

Se toma $N_1 = 6$.

Según (2):

$$E_1 = \frac{6 \times 14\,000 \times 0,6939 \times 0,7041}{20 \times 12,4} = 165,5 \text{ lux}$$

-Distribución de luminarias en el Area 1:

a) Determinación del número de filas

Escogiendo 3 filas para el Area 1, la distancia entre luminarias resulta ser de 6,67 m y la distancia de pared a luminaria es de 3,33 m.

Luego:

$$6,67 < 1,5 \text{ hRC}$$

$$6,67 < 12,00 \text{ m OK}$$

b) Determinación del número de unidades por fila

$$6 \text{ luminarias} / 3 \text{ filas} = 2 \text{ luminarias/fila}$$

$$\text{Separación entre luminarias} = 12,4/2 = 6,20\text{m} < 12,45 \text{ OK}$$

Pero, para no perder la simetría, consideramos 6,97 m.

La separación de las luminarias a los límites del Area 1 es 2,715 m.

La separación entre las luminarias del área 1 a las luminarias de las áreas colaterales es 6,97 m < 12,45.

$$6,97 \text{ m} < 1,5 \text{ hRC OK.}$$

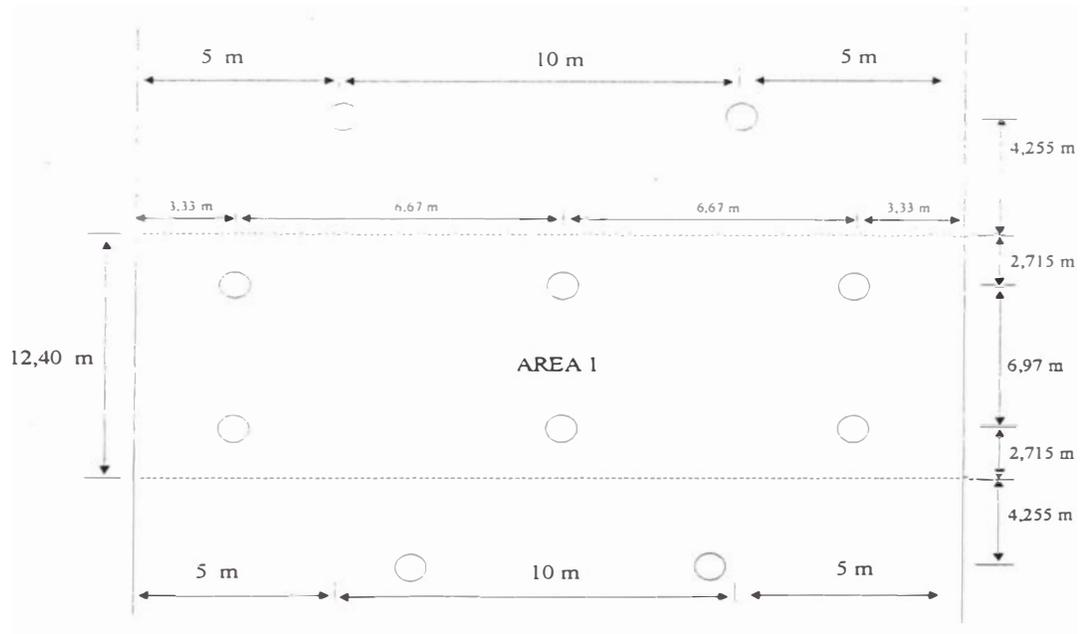


Figura ° 23. Distribución de luminarias en la zona de Control de Calidad.

- **Area 2:** L = 20 m W = 15,2 m

El nivel luminoso es a 150 lux.

Número de luminarias, según (1):

$$N_2 = \frac{150 (20 \times 15,2)}{14\,000 \times 0,6939 \times 0,7041} = 6,7$$

Se toma $N_2 = 8$ luminarias, para una distribución simétrica.

Iluminación Media, según (2):

$$E_2 = \frac{8 \times 14\,000 \times 0,6039 \times 0,7041}{20 \times 15,2} = 180,0 \text{ lux}$$

- **Distribución de luminarias en el Area 2:**

a) Determinación del número de filas

Escogiendo 4 filas para el Area 2, la distancia entre luminarias resulta ser de 5,00 m y la distancia de pared a luminaria de 2,50 m.

$$5,00 < 12,45 \text{ OK}$$

b) Determinación del número de unidades por fila

8 luminarias / 4 filas = 2 luminarias/fila

separación entre luminarias = $15,2/2 = 7,6 \text{ m} < 12,45 \text{ OK}$

Pero, para no perder la simetría, consideramos 6,97 m.

La separación de las luminarias a los límites del Area 2 es 4,12 m.

La separación entre las luminarias del área 2 y las luminarias de las áreas colaterales es 6,97 m $< 12,45 \text{ m OK}$.

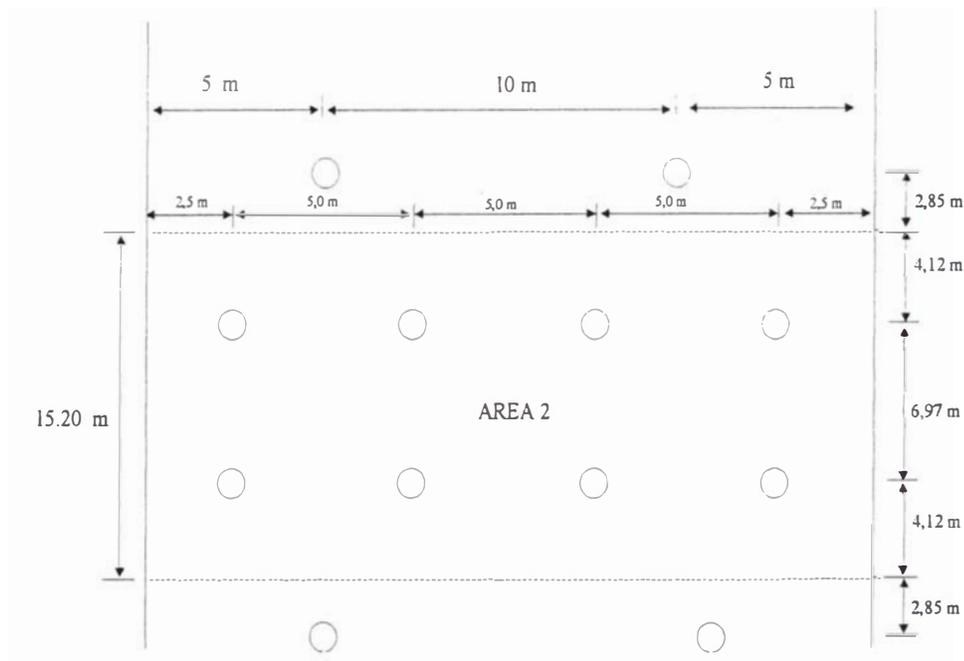


Figura N° 24. Distribución de luminarias en la zona de Armado de Baterías.

Finalmente, la cantidad de luminarias a instalar en planta es:

Para iluminación de 100 lux 88 luminarias

Para iluminación de 150 lux 14 luminarias

TOTAL : -----
102 luminarias

4.3.1.3. Elección

La elección de la Alternativa 2 como sistema de iluminación para la nave se encuentra sustentada en el cálculo de costos que se presenta en el Apéndice LL. Este Anexo presenta el Reporte del Programa Calculux Software Package de la Compañía Philips para las luminarias utilizadas en cada una de las Alternativas de la presente tesis.

4.3.2. Cálculo de la iluminación: oficinas administrativas y otros

4.3.2.1. Evaluación del ambiente de operación

Áreas: I, II, III, VIII, IX, X, XI, XII:

| Tipo de suciedad | Área adyacente al área de trabajo | | | | | Factor de Filtro (por ciento de suciedad que pasa) | Área alrededor del trabajo | | | | | Sub-total | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|-----------|---|-------|---|----------------------------|---|--------------|---|-----------|-----------|---------|----|---|
| | Intermitente | | Constante | | Total | | De la adyacente | | Intermitente | | Constante | | | | |
| Suciedad adhesiva | 2 | + | 2 | = | 4 | x | 1 | = | 4 | + | 2 | + | 2 | = | 8 |
| Suciedad atraída | 2 | + | 2 | = | 4 | x | 1 | = | 4 | + | 2 | + | 2 | = | 8 |
| Suciedad inerte | 2 | + | 2 | = | 4 | x | 1 | = | 4 | + | 2 | + | 2 | = | 8 |
| | | | | | | | | | | | | | Total : | 24 | |

Así, el total de factores por suciedad es 24. El ambiente se considera limpio.

Áreas: IV, V, VI, VII, XIII, XIV, XV, XVI:

| Tipo de suciedad | Área adyacente al área de trabajo | | | | | Factor de Filtro (por ciento de suciedad que pasa) | Área alrededor del trabajo | | | | | Sub-total | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|-----------|---|-------|---|----------------------------|---|--------------|---|-----------|-----------|---------|----|----|
| | Intermitente | | Constante | | Total | | De la adyacente | | Intermitente | | Constante | | | | |
| Suciedad adhesiva | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |
| Suciedad atraída | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |
| Suciedad inerte | 4 | + | 4 | = | 8 | x | 1 | = | 8 | + | 3 | + | 3 | = | 14 |
| | | | | | | | | | | | | | Total : | 42 | |

Así, el total de factores por suciedad es 42. El ambiente se considera sucio.

TABLA N° 20

CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN DE OFICINAS Y OTROS

| Local | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Nivel de Iluminación: E (lux) | 700 | 700 | 700 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 50 |
| Largo (m) | 5,20 | 8,00 | 7,30 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 4,00 | 5,00 | 8,00 | 2,00 | 3,20 | 6,00 | 6,00 | 2,00 | 1,50 |
| Ancho (m) | 3,60 | 5,40 | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 2,50 | 1,00 | 2,30 | 2,00 | 2,00 | 4,00 | 4,00 | 1,50 | 1,40 |
| Altura (m) | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 3,50 | 3,50 | 2,40 | 2,40 |
| Altura de la cavidad del techo: h_{cc} | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 1,00 | 1,00 | 0,15 | 0,15 |
| Altura de la cavidad del ambiente: h_{gc} | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 2,25 | 2,25 | 1,45 | 1,45 | 1,50 | 1,50 | 1,45 | 1,45 |
| Altura de la cavidad del piso: h_{fc} | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,80 |
| Relación de la cavidad del techo: CCR | 0,35 | 0,23 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,49 | 0,90 | 0,42 | 0,75 | 0,61 | 2,08 | 2,08 | 0,88 | 1,04 |
| Relación de la cavidad del local: RCR | 3,41 | 2,25 | 2,44 | 2,72 | 2,72 | 2,72 | 2,72 | 4,71 | 13,5 | 6,30 | 7,25 | 5,89 | 3,13 | 3,13 | 8,46 | 10,01 |
| Relación de la cavidad del piso: FCR | 1,88 | 1,24 | 1,35 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 2,60 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 3,25 | 2,08 | 2,08 | 4,67 | 5,52 |
| Reflectancia del techo: ρ_c (%) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Reflectancia de las paredes: ρ_w (%) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Reflectancia del piso: ρ_f (%) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Reflectancia efectiva de la cavidad del techo: ρ_{cc} | 74,75 | 76,55 | 76,25 | 75,80 | 75,80 | 75,80 | 75,80 | 72,65 | 68 | 73,70 | 69,50 | 70,90 | 55,2 | 55,2 | 68,2 | 66,4 |
| Reflectancia efectiva de la cavidad del piso: ρ_{fc} | 24,6 | 26,8 | 26,25 | 25,50 | 25,50 | 25,50 | 25,50 | 23 | 30 | 30 | 21 | 22 | 24 | 24 | 20 | 18,48 |

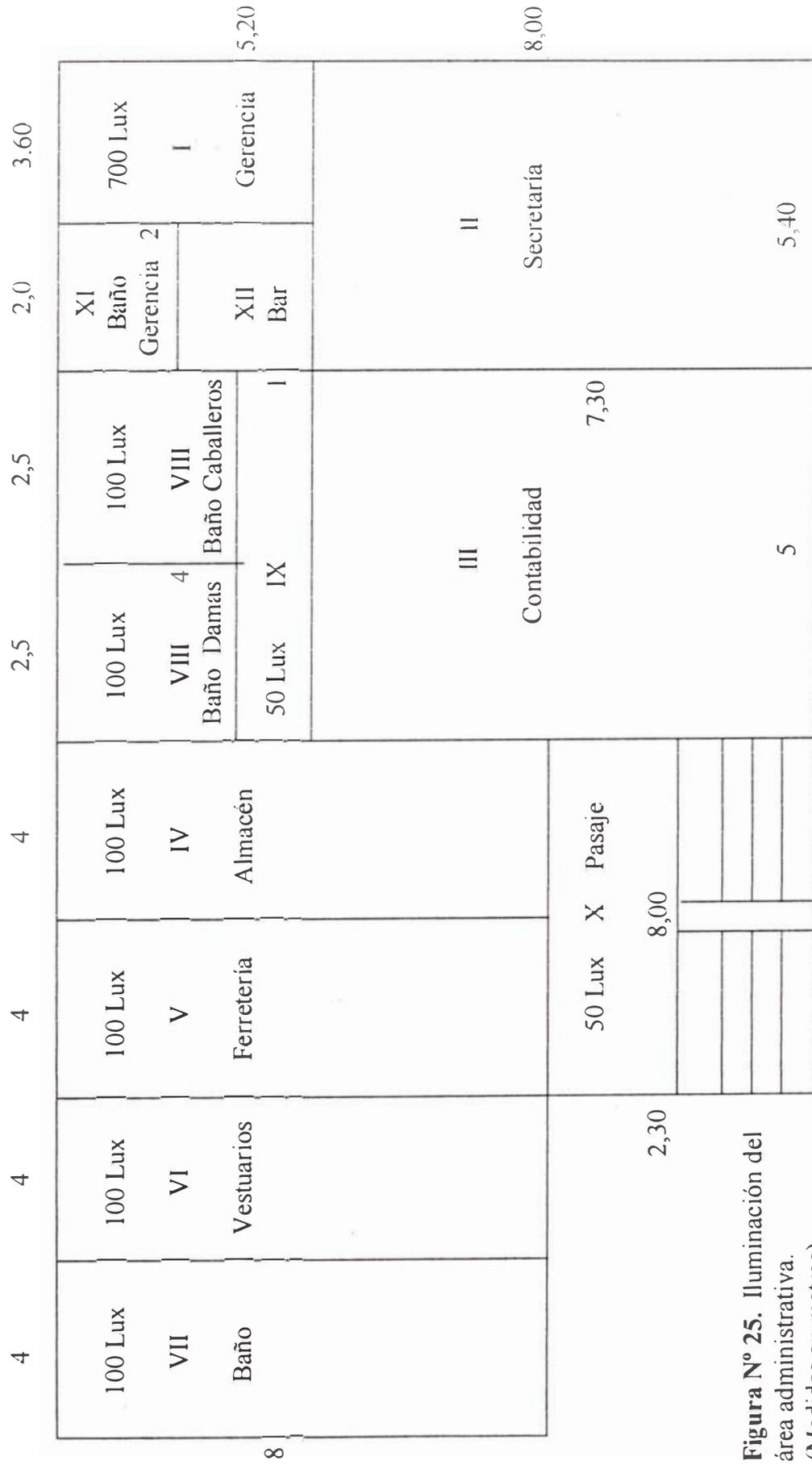


Figura N° 25. Iluminación del área administrativa. (Medidas en metros).

4.3.2.2. Usando lámparas fluorescentes

a) Datos de la lámpara: Iguales a las lámparas usadas para las naves.

- **Luminaria:** Será del tipo para adosar en techo. artefactos rectangulares de las siguientes características.

- **Chasis:** Superior de acero, fosfatizado y esmaltado en blanco al horno, construido como reflector y como soporte del equipo eléctrico.

- **Fijación:** Adosable al techo por medio de pernos y platina de anclaje.

- **Difusor:** (Areas I, II, III, VIII, IX, X, XI, XII) Integramente de plástico acrílico puro, transparente prismático indeformable, fijado a la parte metálica por medio de cierres de palanca en forma de cuña y hermetizado por empaquetadura sintética.

b) Areas I, II, III: Modelo PRI-440 ó similar

Equipo accesorio: 4 lámparas fluorescentes de 36 W c/u.

4 reactancias de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal.

8 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W.

4 condensadores de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u.

4 arrancadores de 220 V, 60 Hz.

c) Areas VIII, X: Modelo PRI-240 ó similar

Equipo accesorio: 2 lámparas fluorescentes de 36 W c/u.

2 reactancias de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal.

4 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W.

2 condensadores de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u.

2 arrancadores de 220 V, 60 Hz.

d) Areas IX, XI, XII: Modelo PRI-140 ó similar

Equipo accesorio: 1 lámpara fluorescente de 36 W.

1 reactancia de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal.

2 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W.

1 condensador de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u.

1 arrancador de 220 V, 60 Hz.

e) areas IV, V, VI, VII, XIII, XIV:

Modelo CM-2 ó similar

f) areas XV, XVI:

Modelo CM-1 ó similar

Equipo accesorio: 2 lámparas fluorescentes de 36 W c/u.

2 reactancias de 40 W, 220 V, 60 Hz y arranque normal.

4 sockets para lámparas fluorescentes de 36 W.

2 condensadores de 4,5 μ F, 300 V, 60 Hz c/u.

2 arrancadores de 220 V, 60 Hz.

g) Reactancia, Condensadores, Arrancadores: Las especificaciones técnicas corresponden a la Alternativa 1 del cálculo de iluminación de naves.

h) Coefficiente de Utilización: (Cu)

Del Apéndice K:

| Locales | Luminaria tipo |
|---------------------------|----------------|
| I, II, III | PRI-440 |
| VIII, X | PRI-240 |
| IX, XI, XII | PRI-140 |
| IV, V, VI, VII, XIII, XIV | CM-2 |
| XV, XVI | CM-1 |

Según los datos lumínicos del manual de iluminación de JOSFEL (luminarias tipo

PRI) y de la I.E.S. (luminaria N° 27 tipo CM):

Para los locales I, II, III, para 4 lámparas los valores se multiplican por 0,95.

| RCR | | Pcc | | | | |
|-------|------|----------|--------|--------|--------|---------|
| | | 80 | 74,75 | 76,55 | 76,25 | 70 |
| | 2 | 0,5985 | | | | 0,5605 |
| II : | 2,25 | 0,581875 | | 0,5696 | | 0,54625 |
| III : | 2,44 | 0,56924 | | | 0,5566 | 0,53542 |
| | 3 | 0,532 | | | | 0,5035 |
| I : | 3,41 | 0,50863 | 0,4957 | | | 0,5840 |
| | 4 | 0,475 | | | | 0,456 |

Para los locales IX, XI, XII:

| RCR | | Pcc | | | | | |
|-------|------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | 80 | 70,9 | 70 | 69,5 | 68 | 50 |
| | 5 | 0,45 | | 0,43 | | | |
| XII : | 5,89 | 0,4144 | 0,3962 | 0,3944 | | | |
| | 6 | 0,41 | | 0,39 | | | |
| | 7 | | | 0,35 | | | 0,32 |
| XI : | 7,25 | | | 0,3435 | 0,34175 | | 0,3125 |
| | 8 | | | 0,32 | | | 0,29 |
| IX : | 13,5 | | | 0,155 | | 0,1565 | 0,17 |

Para los locales VIII, X:

| RCR | | Pcc | | | |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| | | 80 | 73,7 | 72,65 | 70 |
| | 4 | 0,50 | | | 0,48 |
| VIII : | 4,71 | 0,4645 | | 0,4498 | 0,4445 |
| | 5 | 0,45 | | | 0,436 |
| | 6 | 0,41 | | | 0,39 |
| X : | 6,30 | 0,398 | 0,3854 | | 0,378 |
| | 7 | 0,37 | | | 0,35 |

Para los locales IV, V, VI, VII, XIII, XIV, XV, XVI:

| RCR | | Pcc | | | | | | |
|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 80 | 75,8 | 70 | 68,2 | 66,4 | 55,2 | 50 |
| | 2 | 0,74 | | 0,71 | | | | |
| IV, V, VI, VII | 2,72 | 0,668 | 0,6584 | 0,6452 | | | | |
| | 3 | 0,64 | | 0,62 | | | | 0,58 |
| XIII, XIV | 3,13 | | | 0,6109 | | | 0,5813 | 0,5709 |
| | 4 | | | 0,55 | | | | 0,51 |
| | 8 | | | 0,34 | | | | 0,32 |
| XV | 8,46 | | | 0,3262 | 0,3244 | | | 0,3062 |
| | 9 | | | 0,31 | | | | 0,29 |
| | 10 | | | 0,28 | | | | 0,26 |
| XVI | 10,01 | | | 0,2797 | | 0,2761 | | 0,2597 |

Para los locales II, III, IV, V, VI, VII, IX, X: tenemos que hallar un factor de corrección para el coeficiente de utilización (del Apéndice M).

| RCR | Pcc | | | | | | | |
|-------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| | 80 | 76,55 | 76,25 | 75,8 | 73,7 | 70 | 68 | 50 |
| | 2 | 1,066 | | | | | | |
| II | 2,25 | 1,063 | 1,0602 | | | | 1,057 | |
| III | 2,44 | 1,06072 | | 1,0578 | | | 1,05475 | |
| IV, V, VI, VII | 2,72 | 1,05736 | | | 1,0545 | | 1,05304 | |
| | 3 | 1,054 | | | | | 1,05052 | |
| | 6 | 1,033 | | | | | 1,048 | |
| X | 6,30 | 1,0318 | | | | 1,0299 | 1,030 | |
| | 7 | 1,029 | | | | | 1,0288 | |
| | 9 | | | | | | 1,026 | |
| | 10 | | | | | | 1,022 | 1,019 |
| | 13,5 | | | | | | 1,020 | 1,017 |
| IX | 13,5 | | | | | | 1,013 | 1,010 |

j) Coefficientes de utilización corregidos

| | | |
|----------------|---|---------------------------------|
| I | : | 0,4957 |
| II | : | $0,5696 \times 1,0602 = 0,6039$ |
| III | : | $0,5666 \times 1,0578 = 0,5888$ |
| IV, V, VI, VII | : | $0,6584 \times 1,0545 = 0,6943$ |
| VIII | : | 0,4498 |
| IX | : | $0,1565 \times 1,0127 = 0,1585$ |
| X | : | $0,3854 \times 1,0299 = 0,3969$ |
| XI | : | 0,34175 |
| XII | : | 0,3962 |

k) Categoría de mantenimiento:

La categoría de mantenimiento de las luminarias tipo PRI es V.

La luminaria N° 27 tipo CM tiene categoría de mantenimiento I.

Se recomienda limpieza de las luminarias cada 12 meses.

l) Factores no recuperables de pérdida luminosa:

- 1) TEMPERATURA AMBIENTE DE LA LUMINARIA. El área física de la planta, tiene buena ventilación por lo que la lámpara no se verá afectada en su producción luminosa, tomándose como factor igual a 1,0.
- 2) VOLTAJE EN LA LUMINARIA. No se reduce en más del 2%, considerando el factor igual a 1,0.
- 3) FACTOR DE REACTOR. Utilizando reactor BHL 25DL30 de PHILIPS ó Alfa de JOSFEL de buena calidad, consideramos un factor igual a 1,0.
- 4) DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE LA LUMINARIA. Las luminarias se conservarán en buen estado por estar ubicadas en altura, tomándose luego un factor igual a 1,0 por depreciación de capacidad reflectiva.

m) Factores recuperables de pérdida luminosa:

- a) DEPRECIACIÓN DE LA CAPACIDAD REFLECTIVA POR SUCIEDAD EN LA SUPERFICIE DE LUMINARIA. Para la categoría de mantenimiento V se tiene que, para 12 meses, el factor correspondiente a la curva para un ambiente limpio es igual a 0,88 (según Apéndice H).

Para la categoría de mantenimiento I se tiene que, para 12 meses, el factor correspondiente a la curva para un ambiente sucio es igual a 0,84.
- b) FACTOR POR DEPRECIACIÓN DE LA EMISIÓN LUMINOSA DE LA LÁMPARA. Después de 7 500 horas de operación es igual a 0,77, según datos proporcionados por el fabricante.
- c) FACTOR DE LÁMPARA FUERA DE SERVICIO. Es igual a 0,80.
- d) FACTOR DE DETERIORO POR SUCIEDAD EN LAS SUPERFICIES DEL LOCAL. Para una limpieza de las luminarias cada 12 meses intersectamos en la

curva para un ambiente limpio, con lo cual nos resulta un porcentaje esperado de deterioro por suciedad de 12% (Apéndice I). Luego vamos a la tabla del mismo Apéndice, para un tipo de distribución luminosa semi-directa y una relación de la cavidad del local.

Para los locales XIII, XIV, XV, XVI, el factor de deterioro por suciedad en la superficie de local por limpieza cada 12 meses, ambiente sucio, resulta un porcentaje de deterioro por suciedad de 23%.

Para ambos casos se muestra el siguiente cuadro:

| RCR | % | | | | |
|----------------|------|--------|--------|--------|--------|
| | 10 | 12 | 20 | 23 | 30 |
| | 2 | 0,96 | | 0,92 | 0,88 |
| II | 2,25 | 0,96 | 0,9515 | 0,9175 | |
| III | 2,44 | 0,96 | 0,9511 | 0,9156 | |
| IV, V, VI, VII | 2,72 | | | 0,9128 | 0,9008 |
| | 3 | 0,96 | | 0,91 | 0,87 |
| XIII, XIV | 3,13 | | | 0,9087 | 0,8963 |
| I | 3,41 | 0,9559 | 0,9459 | 0,9059 | |
| | 4 | 0,95 | | 0,90 | 0,85 |
| VIII | 4,71 | 0,9429 | 0,9343 | 0,90 | |
| | 5 | 0,94 | | 0,90 | |
| XII | 5,89 | 0,94 | 0,9302 | 0,8911 | |
| | 6 | 0,94 | | 0,89 | |
| X | 6,30 | 0,937 | 0,9270 | 0,887 | |
| | 7 | 0,93 | | 0,88 | |
| XI | 7,25 | 0,93 | 0,9191 | 0,8775 | |
| | 8 | 0,93 | | 0,87 | 0,81 |
| XV | 8,46 | | | 0,87 | 0,8506 |
| | 9 | 0,93 | | 0,87 | 0,80 |
| | 10 | 0,93 | | 0,86 | 0,79 |
| XVI | 10,1 | | | 0,8588 | 0,8370 |
| IX | 13,5 | 0,8957 | 0,8833 | 0,8339 | |

n) Factor Total de Pérdida (F.T.P.)

| | | |
|----------------|--|--------|
| I | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9459) | 0,5128 |
| II | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9515) | 0,5158 |
| III | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9511) | 0,5156 |
| IV, V, VI, VII | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9008) | 0,4883 |
| VIII | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9343) | 0,5065 |
| IX | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,8833) | 0,4788 |
| X | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9220) | 0,4998 |
| XI | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9191) | 0,4982 |
| XII | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,88)(0,77)(0,80)(0,9302) | 0,5042 |
| XIII | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,84)(0,77)(0,80)(0,8963) | 0,4638 |
| XIV | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,84)(0,77)(0,80)(0,8963) | 0,4638 |
| XV | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,84)(0,77)(0,80)(0,8506) | 0,4401 |
| XVI | (1,0)(1,0)(1,0)(1,0)(0,84)(0,77)(0,80)(0,8370) | 0,4331 |

o) Número de luminarias

De la fórmula (1), número de luminarias:

$$N_I = \frac{700 \times 5,20 \times 3,60}{13\,800 \times 0,4957 \times 0,5128} = 3,74 \implies 4 \text{ luminarias}$$

$$N_{II} = \frac{700 \times 8,00 \times 5,40}{13\,800 \times 0,86039 \times 0,5158} = 7,03 > 6 \text{ luminarias}$$

$$N_{III} = \frac{700 \times 7,30 \times 5,00}{13\,800 \times 0,5888 \times 0,5156} = 6,10 \implies 6 \text{ luminarias}$$

$$N_{IV} = \frac{100 \times 8,00 \times 4,00}{6\,900 \times 0,6943 \times 0,4883} = 1,37 > 2 \text{ luminarias}$$

$$N_{VIII} = \frac{100 \times 4,00 \times 2,50}{6\,900 \times 0,4498 \times 0,5065} = 0,64 \implies 1 \text{ luminaria}$$

$$N_{IX} = \frac{50 \times 5,00 \times 1,00}{3\,450 \times 0,1585 \times 0,4788} = 0,95 > 1 \text{ luminaria}$$

$$N_X = \frac{50 \times 8,00 \times 2,30}{6\,900 \times 0,3969 \times 0,4998} = 0,67 > 1 \text{ luminaria}$$

$$N_{XI} = \frac{100 \times 2,00 \times 1,00}{3\,450 \times 0,34175 \times 0,4982} = 0,34 \implies 1 \text{ luminaria}$$

$$N_{XII} = \frac{100 \times 3,20 \times 2,00}{3\,450 \times 0,3962 \times 0,5048} = 0,93 \implies 1 \text{ luminaria}$$

$$N_{XIII} = \frac{150 \times 6 \times 4}{(3\,450 \times 2) (0,5813)(0,4638)} = 1,94 \implies 2 \text{ luminarias} \quad \text{S.E.}$$

$$N_{XIV} = \frac{150 \times 6 \times 4}{(3\,450 \times 2) (0,5813)(0,4638)} = 1,94 \implies 2 \text{ luminarias} \quad \text{S.E.}$$

$$N_{XV} = \frac{150 \times 2 \times 1,50}{(3\,450) (0,3244) (0,4401)} = 0,91 \implies 1 \text{ luminaria} \\ \text{Guardianía}$$

$$N_{XVI} = \frac{50 \times 1,50 \times 1,40}{(960) (0,2761) (0,4331)} = 0,91 \implies 1 \text{ luminaria} \\ \text{SS.HH. Guardianía}$$

4.3.3. Cálculo de reflectores

A = Area a iluminar

$$A = 37,39 \times 45 = 1\,682,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Número de proyectores} = \frac{E \times A}{\phi_{\text{haz}} \times \text{FPL}}$$

E = Iluminación media (lux)

A = Área que va a iluminarse (m²)

ϕ_{haz} = flujo luminoso (lúmenes)

FPL = Factor de pérdida luminosa : 0,75

Reflector HNF003 - W haz ancho 1 x SON-T 400 W

Vertical : 2 x 29°

Horizontal : 2 x 30°

Lámpara : SON-T 400 W

Flujo luminoso : $\phi = 47\,000\text{ lm}$

Véase los datos lumínicos del reflector en el Apéndice N.

$$\phi_{\text{haz}} = 47\,000 \cdot 0,67 = 31\,490\text{ lm} = \text{Rendimiento total del haz}$$

$$\text{Número de unidades} = \frac{25 \times 1\,682,55}{31\,490 \times 0,7} = 1,91$$

Revisión de cobertura adecuada:

$$\text{N}^\circ \text{ de proyectores para cobertura} = \frac{\text{Área de la superficie iluminada}}{\text{Área promedio iluminada efectivamente por cada proyector}}$$

Para calcular el área promedio iluminada efectivamente por cada proyector tenemos que interpolar (Apéndice O), para un proyector de haz de 60° .

La altura de montaje (D) será de 11,5 m.

$$Z = 0,5 D \operatorname{tg} \theta \quad \theta = 60^\circ \quad Z = 9,96\text{ m}$$

| D (m) | Z (m) | A (m) | L (m) | W (m) |
|-------|--------|-------|-------|-------|
| 11,5 | 9,144 | 476 | 28,35 | 21,34 |
| | 9,96 | 719 | 34,22 | 25,13 |
| | 12,192 | 1 384 | 50,29 | 35,05 |

Luego:

$$\text{N}^\circ \text{ proyectores para cobertura} = \frac{1\,682,55}{719} = 2,34 \text{ (útese 2)}$$

Iluminación sostenida promedio:

$$E_m = \frac{\text{Total de lúmenes de haz}}{\text{Área}} \times \text{factor de pérdida luminosa}$$

$$E_m = \frac{2 \times 31\,490}{1\,735,5} \times 0,75 = 27,21\text{ lux}$$

4.3.4. Cálculo de la caída de tensión en las naves

El cálculo de la caída de tensión y en la evaluación del calibre del conductor en el sistema de iluminación de las naves ha sido realizado solamente para la Alternativa N° 2 (lámparas de vapor de Hg), debido a consideraciones de carácter económico y técnico cuya justificación se presenta en el Apéndice LL. Las expresiones utilizadas se presentan a continuación.

Alternativa N° 2

Red monofásica alimentando cargas monofásicas cuantificadas desigualmente distanciadas y con varios calibres de conductor.

$$V\% = \frac{S l z}{5 V^2}$$

donde: l en m y z en Ω/km

$$r = \frac{5 V^2 \Delta V\%}{S \times \sum kl}$$

para nuestro caso: $V = 220$ Voltios y $S = 267,29$ VA

$$\frac{5 V^2}{S} = \frac{5 \times 220^2}{267,29} = 905,38$$

Luego:

$$r = 905,38 \frac{\Delta V\%}{\sum kl}$$

$$\Delta V\% = \frac{r \sum kl}{905,38} \quad (3)$$

Los resultados por cada circuito, aplicando la relación (3) son presentados en las páginas siguientes.

La distribución de luminarias para las naves y la zona administrativa, así como los detalles correspondientes, son mostrados en los Planos AR-1 e IE-1 del Apéndice Q.

Circuito N° 1

| Punto | P ₄ | P ₃ | P ₂ | P ₁ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | a ₆ | a ₇ | a ₈ | a ₉ | a ₁₀ | a ₁₁ | a ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| N° de lámparas | 12 | 9 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 46,365 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 15 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 |
| k l | 556,38 | 62,73 | 41,82 | 20,91 | 15 | 40 | 20 | 45 | 20 | 20 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 |
| Σ k l | 556,38 | 619,11 | 660,93 | 681,84 | 15 | 55 | 75 | 45 | 85 | 105 | 15 | 55 | 75 | 726,84 | 40 | 60 |
| R ₁ (4 mm ²): Ω/Km | | | | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | | 4,9875 | 4,9875 |
| R ₂ (6 mm ²): Ω/Km | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | | | | | | | | | | 3,3250 | | |
| ΔV% | 2,0433 | 0,2304 | 0,1536 | 0,0768 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,1653 | 0,2203 | 0,1102 |
| ΣΔV% | 2,0433 | 2,2737 | 2,4273 | 2,5041 | 2,1259 | 2,3462 | 2,5464 | 2,5216 | 2,7419 | 2,8521 | 2,0599 | 2,7302 | 2,8404 | 2,6694 | 2,8897 | 2,9999 |

Circuito N° 2

| Punto | P ₄ | P ₃ | P ₂ | P ₁ | b ₁ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | b ₅ | b ₆ | b ₇ | b ₈ | b ₉ | b ₁₀ | b ₁₁ | b ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| N° de lámparas | 12 | 9 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 46,365 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 |
| k l | 556,38 | 62,73 | 41,82 | 20,91 | 45 | 40 | 20 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 | 15 | 20 | 20 |
| Σ k l | 556,38 | 619,11 | 660,93 | 20,91 | 45 | 85 | 105 | 15 | 55 | 75 | 45 | 85 | 105 | 35,91 | 75,91 | 95,91 |
| R ₁ (4 mm ²): Ω/Km | | | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 |
| R ₂ (6 mm ²): Ω/Km | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | | | | | | | | 3,3250 | | | | | |
| ΔV% | 2,0433 | 0,2304 | 0,1536 | 0,1152 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,1653 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 |
| ΣΔV% | 2,0433 | 2,2737 | 2,4273 | 2,5425 | 2,2912 | 2,5115 | 2,6217 | 2,3560 | 2,5763 | 2,6865 | 2,5926 | 2,8129 | 2,9231 | 2,6251 | 2,8454 | 2,9556 |

Circuito N° 3

| Punto | P ₈ | P ₇ | P ₆ | P ₅ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | C ₈ | C ₉ | C ₁₀ | C ₁₁ | C ₁₂ | C ₁₃ |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| N° de lámparas | 13 | 10 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 18,49 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 11 | 14 | 20 | 3 | 16 | 16 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 |
| k l | 240,37 | 69,7 | 41,82 | 20,91 | 33 | 28 | 20 | 12 | 48 | 32 | 40 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 |
| Σ k l | 240,37 | 310,07 | 351,89 | 372,8 | 273,37 | 301,37 | 321,37 | 322,07 | 370,07 | 402,07 | 441,07 | 366,89 | 406,89 | 426,89 | 417,8 | 457,8 | 477,8 |
| R (4 mm ²): Ω/Km | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 |
| ΔV% | 1,3241 | 0,3840 | 0,2304 | 0,1152 | 0,1818 | 0,1542 | 0,1102 | 0,0661 | 0,2644 | 0,1763 | 0,2203 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 |
| ΣΔV% | 1,3241 | 1,7081 | 1,9385 | 2,0537 | 1,5059 | 1,6601 | 1,7703 | 1,7742 | 2,0386 | 2,2149 | 2,4352 | 2,0211 | 2,2414 | 2,3516 | 2,3016 | 2,5219 | 2,6321 |

Circuito N° 5

| Punto | P ₉ | P ₁₀ | P ₁₁ | P ₁₂ | c ₁ | c ₂ | c ₃ | c ₄ | c ₅ | c ₆ | c ₇ | c ₈ | c ₉ | c ₁₀ | c ₁₁ | c ₁₂ | c ₁₃ | c ₁₄ |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| N° de lámparas | 14 | 11 | 8 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 18,49 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 12,5 | 10 | 17,5 | 5 | 17,5 | 10 | 12,5 |
| k l | 258,86 | 76,67 | 55,76 | 27,88 | 45 | 40 | 20 | 15 | 40 | 20 | 60 | 37,5 | 20 | 17,5 | 20 | 52,5 | 20 | 12,5 |
| Σ k l | 258,86 | 335,53 | 391,29 | 419,17 | 303,86 | 343,86 | 363,86 | 350,53 | 390,53 | 410,53 | 451,29 | 488,79 | 508,79 | 526,29 | 439,17 | 491,67 | 511,67 | 524,17 |
| R (4 mm ²): Ω/km | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 |
| ΔV% | 1,4260 | 0,4224 | 0,3072 | 0,1536 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,3305 | 0,2066 | 0,1102 | 0,0964 | 0,1102 | 0,2892 | 0,1102 | 0,0689 |
| ΣΔV% | 1,4260 | 1,8484 | 2,1556 | 2,3092 | 1,6739 | 1,8942 | 2,0044 | 1,9310 | 2,1513 | 2,2615 | 2,4861 | 2,6927 | 2,8029 | 2,8993 | 2,4194 | 2,7086 | 2,8188 | 2,8877 |

Circuito N° 7

| | P ₁₃ | P ₁₄ | P ₁₅ | P ₁₆ | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ | B ₅ | B ₆ | B ₇ | B ₈ | B ₉ | B ₁₀ | B ₁₁ | B ₁₂ |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Punto | P ₁₃ | P ₁₄ | P ₁₅ | P ₁₆ | P _{13.1} | P _{13.2} | P _{13.3} | P _{14.1} | P _{14.2} | P _{14.3} | P _{15.1} | P _{15.2} | P _{15.3} | P _{16.1} | P _{16.2} | P _{16.3} |
| Nº de lámparas | 12 | 9 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 46,365 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 |
| k l | 556,38 | 62,73 | 41,82 | 20,91 | 45 | 40 | 20 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 | 15 | 40 | 20 |
| Σ k l | 556,38 | 619,11 | 660,93 | 20,91 | 45 | 85 | 105 | 15 | 55 | 75 | 45 | 85 | 105 | 35,91 | 75,91 | 95,91 |
| R ₁ (4 mm ²): Ω/Km | | | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 |
| R ₂ (6 mm ²): Ω/Km | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | | | | | | | | 3,3250 | | | | | |
| ΔV% | 2,0433 | 0,2304 | 0,1536 | 0,1152 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,1653 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 |
| ΣΔV% | 2,0433 | 2,2737 | 2,4273 | 2,5425 | 2,2912 | 2,5115 | 2,6217 | 2,3560 | 2,5763 | 2,6865 | 2,5926 | 2,8129 | 2,9231 | 2,6251 | 2,8454 | 2,9556 |

Circuito N° 8

| Punto | P ₁₃ | P ₁₄ | P ₁₅ | P ₁₆ | h ₁ | h ₂ | h ₃ | h ₄ | h ₅ | h ₆ | h ₇ | h ₈ | h ₉ | h ₁₀ | h ₁₁ | h ₁₂ |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| N° de lámparas | 12 | 9 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Longitud : l | 46,365 | 6,97 | 6,97 | 6,97 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 20 | 15 | 20 | 20 |
| k l | 556,38 | 62,73 | 41,82 | 20,91 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 | 15 | 40 | 20 | 45 | 40 | 20 |
| Σ k l | 556,38 | 619,11 | 660,93 | 681,84 | 15 | 55 | 75 | 45 | 85 | 105 | 15 | 55 | 75 | 726,84 | 40 | 60 |
| R ₁ (4 mm ²): Ω/Km | | | | | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | 4,9875 | | 4,9875 | 4,9875 |
| R ₂ (6 mm ²): Ω/Km | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | 3,3250 | | | | | | | | | | 3,3250 | | |
| ΔV% | 2,0433 | 0,2304 | 0,1536 | 0,0768 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,2479 | 0,2203 | 0,1102 | 0,0826 | 0,2203 | 0,1102 | 0,1653 | 0,2203 | 0,1102 |
| ΣΔV% | 2,0433 | 2,2737 | 2,4273 | 2,5041 | 2,1259 | 2,3462 | 2,4564 | 2,5216 | 2,7419 | 2,8521 | 2,0599 | 2,7302 | 2,8404 | 2,6694 | 2,8897 | 2,9999 |

CAPÍTULO V DISEÑO DE LA RED EN 10 KV Y SUBESTACIÓN DE 10KV/0,22 KV

5.1. Diseño de la red en 10 KV - 3 φ

5.1.1. Cálculo de la Corriente Nominal (I_n)

Cálculo de la corriente nominal:

$$I_n = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3} \text{ KV}} \text{ A} \quad (4)$$

Datos del transformador:

$$\text{Potencia Nominal} \quad : \quad S_N = 630 \text{ KVA}$$

$$\text{Tensión Nominal} \quad : \quad V_N = 10 \text{ KV}$$

En la expresión (4), se tiene:

$$I_n = \frac{630 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ KV}} = 36,37 \text{ A}$$

5.1.2. Cálculo del cable subterráneo

5.1.2.1. Coefficiente de trabajo (según recomendación CEI)

Temperatura ambiente de diseño:

$$T_a = 25^\circ\text{C}$$

Temperatura ambiente real:

$$T_{ar} = 28^\circ\text{C} \text{ --->} 30^\circ\text{C}$$

Temperatura del conductor:

$$T_c = 70^\circ\text{C} \text{ (10 KV)}$$

Profundidad de instalación nominal:

0,70 m

La profundidad mínima de instalación de los cables directamente enterrados será de 0,70 m, salvo lo dispuesto para los cruzamientos (cables en ductos) en el Código Nacional de Electricidad - C.N.E.

Profundidad real de instalación: 1,10 m

5.1.2.2. Corrección

a) Por temperatura (K_t)

$K_t = 0,89$ (según Tabla N° 21 - C.N.E.)

($T_{ar} = 30^\circ\text{C}$)

Tabla N° 21

Factore de corrección relativos a la temperatura del suelo

| Máxima temperatura admisible de los conductores del cable ($^\circ\text{C}$) | Temperatura del suelo ($^\circ\text{C}$) | | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 80 | 1,12 | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,91 | 0,87 | 0,82 | 0,76 | 0,71 |
| 75 | 1,13 | 1,09 | 1,05 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,79 | 0,73 | 0,67 |
| 70 | 1,14 | 1,09 | 1,05 | 1,00 | 0,95 | 0,89 | 0,84 | 0,77 | 0,71 | 0,63 |
| 65 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,75 | 0,67 | 0,58 |
| 60 | 1,16 | 1,11 | 1,06 | 1,00 | 0,93 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,50 |

b) Por agrupamiento (K_a):

$K_a = 1,00$

c) Por profundidad de tendido (K_p):

$K_p = 0,95$ (según Tabla N° 22 - C.N.E.)

Tabla N° 22
Factores de corrección de la capacidad de corriente
relativo a la profundidad de tendido

| Profundidad de tendido (m) | Sección (mm ²) | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------|
| | Hasta 300 | Mayor 300 |
| 0,50 | 1,02 | 1,03 |
| 0,60 | 1,01 | 1,02 |
| 0,70 | 1,00 | 1,00 |
| 0,80 | 0,98 | 0,97 |
| 1,00 | 0,96 | 0,95 |
| 1,20 | 0,95 | 0,94 |
| 1,50 | 0,94 | 0,92 |

5.1.2.3. Cálculo de la corriente aparente: I_n'

$$I_n' = \frac{I_n}{K_t \times K_a \times K_p}$$

$$I_n' = \frac{36,37}{0,89 \times 1,00 \times 0,95} = 43,02 \text{ A}$$

Calibre:

Según Tabla N° 23, de corriente admisible para cables NKY, 10 KV,
 seleccionamos el cable de las siguientes características:

Material del conductor:

Cable temple suave

Material de aislamiento:

Papel de celulosa impregnado en aceite no migrante.

Material de la cubierta:

Chaqueta interior de la aleación de plomo y protección exterior con una
 chaqueta de cloruro de polivinilo (PVC) de color rojo.

Tipo : NKY

Sección: 16 mm²

Tabla N° 23
Capacidad de corriente para un cable multipolar
con aislamiento de papel y directamente enterrado

| Sección Nominal mm ² | 3,6/6 KV | 6/10 KV | 8,7/10 KV | 8,7/15 KV | 12/20 KV | 18/30 KV |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 3 conductores | 3 conductores | 3 conductores | 3 conductores | 3 conductores | 3 conductores |
| 6 | 56 | - | - | - | - | - |
| 10 | 74 | 69 | 68 | - | - | - |
| 16 | 97 | 90 | 87 | 87 | - | - |
| 25 | 133 | 117 | 119 | 119 | - | - |
| 35 | 161 | 143 | 144 | 144 | 110 | - |
| 50 | 190 | 171 | 170 | 170 | 130 | 155 |
| 70 | 234 | 212 | 210 | 210 | 160 | 190 |
| 95 | 281 | 257 | 250 | 250 | 200 | 225 |
| 120 | 321 | 293 | 285 | 285 | 235 | 255 |
| 150 | 362 | 332 | 325 | 325 | 270 | 295 |
| 185 | 409 | 377 | 365 | 365 | 310 | 330 |
| 240 | 474 | 437 | 425 | 425 | 350 | 380 |
| 300 | 532 | 493 | 485 | 485 | 405 | - |
| 400 | 601 | 561 | 550 | 550 | - | - |

5.1.3. Cálculo de la impedancia del cable NKY proyectado

L = 0,200 Km (desde la S.E. de EDELSUR hasta el transformador)

Cálculo de la Resistencia a 20°C:

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{\rho K_1 K_2 K_3}{S}$$

donde:

K₁ = factor que depende del diámetro de los hilos del alma y de la naturaleza del metal; para alma sólida = 1,03

K₂ = factor que depende del cableado del alma;
para alma sólida = 1,00

K₃ = factor que depende de la reunión de los conductores constitutivos; para varios conductores = 1,02

ρ = resistividad del Cobre = $17,24 \Omega \text{ mm}^2/\text{Km}$ (a 20°C)

(según Tabla N° 24 - C.N.E.)

S = sección total del conductor = 16 mm^2

La resistividad del cobre la obtenemos a partir de la Tabla N° 24 -C.N.E.:

$$R_{20^\circ\text{C}} = 17,24 \times \frac{1,03 \times 1,00 \times 1,02}{16} = 1,132 \Omega/\text{Km}$$

Considerando que la temperatura más probable en el conductor será de 50°C , calculamos la resistencia a dicha temperatura, luego:

$$R_{50^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} [1 + \alpha_{20^\circ\text{C}} (T - 20)]$$

donde:

$\alpha_{20^\circ\text{C}}$ = coeficiente de dilatación lineal a 20°C igual a $0,00392^\circ\text{C}^{-1}$

T = temperatura de operación del conductor

Tabla N° 24

Características técnicas de conductores eléctricos

| Material | Densidad a 20°C gr/cm^3 | Resistividad a 20°C $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ | Conducti- bilidad % IACS | Coeficien- te térmico de resisten- cia a 20°C por $^\circ\text{C}$ | Módulo de Elasticidad kg/mm^2 | Esfuerzo mínimo de rotura kg/mm^2 | Coeficiente de dilata- ción lineal a 20°C por $^\circ\text{C}$ |
|------------------------------|--|--|--------------------------------|---|---|--|--|
| Cobre Blando | 8,89 | 0,01724 | 100 | 0,00393 | 10 000 | 25 | $1,7 \times 10^{-5}$ |
| Cobre Semi- duro | 8,89 | 0,01783 | 96,66 | 0,00384 | 11 500 | 35 | $1,7 \times 10^{-5}$ |
| Cobre Duro | 8,89 | 0,01790 | 96,16 | 0,00382 | 12 650 | 42 | $1,7 \times 10^{-5}$ |
| Aleación de Alu- minio | 2,7 | 0,03280 | 52,50 | 0,00360 | 5 700 | 28 | $2,3 \times 10^{-5}$ |

Finalmente:

$$R_{50^{\circ}\text{C}} = 1,132 [1 + 0,00392 (50 - 20)]$$

$$R_{50^{\circ}\text{C}} = R_L = 1,2651 \Omega/\text{Km}$$

Cálculo de X_L :

Sabemos que $X_L = \omega L$

y:

$$L = 3,28 [0,14041 \log (D/r) + k] \times 10^{-3} \text{ H/Km}$$

donde:

L = inductancia en Henrios/Km

D = distancia interaxial entre conductores = 10,7 mm

r = radio del conductor = 2,56 mm

k = constante dependiente del número de hilos del conductor desnudo, en nuestro caso = 0,0195

Así:

$$L = 3,28 [0,14041 \log (10,7/2,56) + 0,0195] \times 10^{-3}$$

$$L = 3,500 \times 10^{-4} \text{ H/Km}$$

finalmente:

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = 377 \times 3,500 \times 10^{-4}$$

$$X_L = 0,13195 \Omega/\text{Km}$$

5.1.4. Cálculo de la caída de tensión

$$\Delta V = \sqrt{3} I_n L (R \cos \vartheta + X_L \text{sen } \vartheta)$$

Reemplazando en esta ecuación tendremos:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 36,37 \times 0,200 \times (1,2651 \times 0,90 + 0,13195 \times 0,44)$$

$$V = 15,076 \text{ Voltios}$$

Luego:

$$\% \Delta V = 15,076 \times \frac{100}{10\,000}$$

$$\% V = 0,15076 \%$$

En cuanto a la caída de tensión permisible, la sección de los conductores deberá calcularse en tal forma que la caída de tensión desde los terminales de salida del sistema alimentador hasta el primario de la Subestación de Distribución más lejana eléctricamente, no exceda de 3,5% para un alimentador urbano, según el C.N.E.

5.1.5. Pérdida de potencia y eficiencia

$$P = \frac{3 R I_n^2 L}{1\,000} \quad (5)$$

donde:

P = pérdidas de potencia en el conductor (KW)

R = resistencia a la temperatura del conductor (Ω/Km)

I_n = corriente nominal del transformador (A)

L = distancia de la S.E. de EDELSUR a la S.E. de la planta

En la expresión (5):

$$P = \frac{3 \times 1,2651 \times (36,37)^2 \times 0,200}{1000}$$

$$P = 1,0041 \text{ KW}$$

el porcentaje de pérdidas lo calculamos haciendo uso de la relación siguiente:

$$\%P = \frac{P}{\text{KVA} \cos \phi} \times 100$$

donde: $\phi = 26,35^\circ$

$$\%P = \frac{1,0041}{630 \times 0,90} \times 100$$

$$\%P = 0,1771$$

El porcentaje de eficiencia será:

$$\%\epsilon = 100 - \%P$$

$$\%\epsilon = 100 - 0,1771$$

$$\%\epsilon = 99,8229$$

5.1.6. álculo de la corriente de cortocircuito permanente (I_{ccp}), en barras de

EDELSUR

Potencia de cortocircuito: $N_{cc} = 170 \text{ MVA}$ (dato DELSUR)

$$I_{ccp} = \frac{170 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ KV}}$$

$$I_{ccp} = 9,81 \text{ KA}$$

5.1.7. Verificación del cable por corriente de cortocircuito

$$I'_{ccp} = 0,113 \times \text{-----} \text{ KA}$$

donde: $t = \text{tiempo} = 0,02 \text{ seg}$ (dato D ·L UR)

$S = \text{sección del conductor} = 16 \text{ mm}^2$

$$I'_{ccp} = 0,113 \times \frac{16}{\sqrt{0,02}} \text{ KA}$$

$$I'_{ccp} = 12,78 \text{ KA}$$

$$I'_{ccp} > I_{ccp}$$

$$12,78 \text{ KA} > 9,81 \text{ KA}$$

También:

$$I_{ccp} = 0,113 \times \frac{\text{-----}}{\sqrt{t}} \text{ KA}$$

$$S = \frac{9,81 \times \sqrt{t}}{0,113}$$

$$S = \frac{9,81 \times \sqrt{0,02}}{0,113} = 12,27 \text{ mm}^2$$

$$12,27 \text{ mm}^2 < 16 \text{ mm}^2$$

De ambas pruebas se concluye que el cable seleccionado es el correcto.

5.2. Diseño de la subestación de 10 KV/0.22 KV

5.2.1. Cálculo de la corriente de cortocircuito permanente en barras de la subestación proyectada

$$I_{ccp} = \frac{KV}{\sqrt{3} Z_{Total}} \quad (6)$$

Cálculo de Z_{Total} :

$$X_{Red} = \frac{(V_N)^2}{N_{cc}} = \frac{(10 \text{ KV})^2}{170 \text{ MVA}} = \frac{100}{170} = 0,5882 \Omega$$

De los datos anteriores ($T = 50^\circ\text{C}$):

$$r_{cable} = 1,2651 \Omega/\text{Km} \quad X_{cable} = 0,13195 \Omega/\text{Km}$$

$$R_{TOTAL} = r_{cable} \times L$$

$$R_{TOTAL} = 1,2651 \times 0,200 = 0,25302 \Omega$$

$$X_{TOTAL} = X_{red} + (X_{cable} \times L)$$

$$X_{TOTAL} = 0,5882 + 0,13195 \times 0,200 = 0,61459 \Omega$$

$$Z_{Total} = \sqrt{(R_{TOTAL})^2 + (X_{TOTAL})^2}^1$$

$$Z_{Total} = \sqrt{(0,25302)^2 + (0,61459)^2} = 0,6646 \Omega$$

Corriente de corto circuito: n (5):

$$I_{ccp} = \frac{P_{ccp}}{\sqrt{3} Z_{Total}} \quad (\text{KA})$$

$$I_{ccp} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0,6646} = 8,6872 \text{ KA}$$

5.2.2. cálculo de la corriente de choque

$$I_{ch} I_{ch} = \gamma \sqrt{2} I_{ccp} \text{ (KA máx)} \quad (7)$$

donde

γ = es una constante y depende de la relación R/X.

R = resistencia de la red desde el neutro del generador hasta el punto de cortocircuito.

X = reactancia de la red desde el neutro del generador hasta el punto de cortocircuito.

De los datos anteriormente calculados:

$$\frac{R}{X} = \frac{0,25302}{0,61459} = 0,41169$$

Haciendo uso de la Tabla N° 25 e interpolando, hallamos el valor de $\gamma = 1,2442$.

Tabla N° 25

Relación R/X para el cálculo de γ

| R/X | γ |
|-----|----------|
| 0,0 | 1,80 |
| 0,1 | 1,60 |
| 0,2 | 1,45 |
| 0,3 | 1,33 |
| 0,4 | 1,25 |
| 0,5 | 1,20 |
| 0,6 | 1,14 |
| 0,7 | 1,12 |
| 0,8 | 1,10 |
| 0,9 | 1,07 |
| 1,0 | 1,06 |
| 1,2 | 1,05 |

En la expresión (7):

$$I_{ch} = 1,2442 \times \sqrt{2} \times 8,6872 = 15,2857 \text{ kA}$$

5.2.3. Cálculo de la barra de 10 KV en la subestación proyectada

Para la corriente nominal hallada elegimos platinas de cobre desnudo de 40 mm x 5 mm, en sistema de 3 barras, uno por fase y en disposición horizontal.



Figura N° 26.

También cabe señalar que:

la longitud entre apoyos será: $L = 120 \text{ cm}$

Los puntos de apoyo de las varillas entre sí y las conexiones en tensión primaria estarán a una distancia tal, que no sea de temer deformaciones permanentes al producirse un cortocircuito en una zona próxima al lugar de su establecimiento. En alineaciones rectas y salvo casos especialmente justificados, la distancia existente entre dos puntos de apoyo consecutivos no será superior a 1,50 m y el diámetro mínimo para las varillas de cobre será de 8 mm, según C.N.E.

La distancia entre fases es: $d = 30 \text{ cm}$

5.2.3.1. Esfuerzo electrodinámico por unidad de longitud (P)

Para "l m" de barra, I_{ch} en kA y "d" en cm, el esfuerzo electrodinámico se define como:

$$P = 2,04 \times \frac{(I_{ch})^2}{d} \text{ kg/m}$$

$$P = 2,04 \times \frac{(15,3017)^2}{30}$$

$$P = 15,92 \text{ kg/m}$$

La fuerza entre dos puntos de apoyo consecutivos (para la condición de corto circuito) será:

$$F = P L$$

donde:

F : fuerza entre dos barras

P : esfuerzo electrodinámico por unidad de longitud.

L : longitud

Luego:

$$F = 15,92 \text{ kg/m} \times 1,20 \text{ m}$$

$$F = 19,104 \text{ kg.}$$

Momento de flexión debido a la fuerza F para la barra: (M_b)

se define como:

$$M_b = \frac{F \times L}{12} \text{ (Kg-cm)}$$

donde :

F : la fuerza entre dos barras

L : longitud

$$M_b = \frac{19,104 \times 120}{12}$$

$$M_b = 191,04 \text{ kg-cm.}$$

Para el caso de Cobre, la carga admisible $K_b = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$ por lo tanto el momento resistente será:

$$W_b = \frac{M_b}{k_b}$$

donde:

W_b = momento resistente

M_b = momento de flexión

k_b = carga admisible

$$W_b = \frac{191,04 \text{ kg-cm}}{1\,200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$W_b = 0,1592 \text{ cm}^3$$

Este momento resistente calculado tiene que ser comparado con el momento resistente que puede soportar la barra (W_r), de tal manera que W_b no debe ser mayor que W_r . En una barra rectangular instalada de canto el Momento Resistente W_r es:

$$W_r = \frac{h b^2}{6} \text{ cm}^3$$

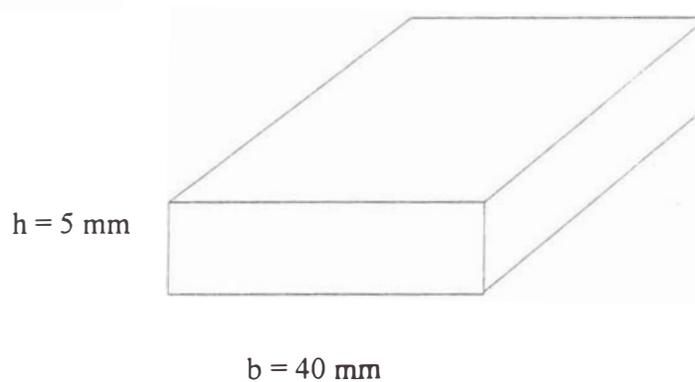


Figura N° 27.

$$W_r = \frac{0,5 \text{ cm} \times 4^2 \text{ cm}^2}{6}$$

$$W_r = 1,333 \text{ cm}^3$$

En nuestro caso la condición se cumple:

$$W_b \leq W_r$$

$$0,1592 < 1,333$$

También:

$$\frac{W_r}{W_b} = \frac{1,3333}{0,1592} = 8,38$$

5.2.3.2. Efectos térmicos

La sobreelevación de temperatura en una barra debido a una corriente de corto circuito permanente durante un tiempo t , se calcula usando la relación matemática siguiente:

$$\Delta\theta = \frac{K}{A^2} (I_{ccp})^2 (t + \Delta t) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

donde :

$\Delta\theta$: es la sobreelevación de temperatura en $^\circ\text{C}$

K : constante del material $K_{Cu} = 0,0058$

A : sección de la barra en mm^2 , $40 \times 5 = 200 \text{ mm}^2$

I_{ccp} corriente de cortocircuito permanente en Amperios.

t : es el tiempo del relé más el tiempo del interruptor, es decir el tiempo total de apertura del dispositivo de protección = 0,02 seg.

Δt : es el tiempo que se incluye con el objeto de tener en cuenta el mayor valor de la corriente de corto circuito inicial. Es el parámetro para considerar la sobre temperatura por la corriente de choque.

Además:

$$\Delta t = \left[\frac{I_{ch}}{I_{ccp}} \right] \times T$$

Donde:

T es una constante y los valores que adquiere son de 0,3 a 0,15 para un cortocircuito tripolar y, de 0,6 a 0,25 para un cortocircuito bipolar.

En nuestro caso:

$$\Delta t = \left[\frac{15,3017 \text{ kA}}{8,6872 \text{ kA}} \right]^2 \times 0,6$$

$$\Delta t = 1,86 \text{ seg.}$$

Reemplazando valores en la expresión (8), tendremos finalmente:

$$\theta = \frac{0,0058}{(200 \text{ mm})^2} \times (8,6872 \text{ KA})^2 \times (0,02 + 1,86) \text{ seg}$$

$$\Delta\theta = 20,57^\circ\text{C}$$

La temperatura T_r que alcanzarán las barras en eventos de corto circuito será:

$$T_r = 50 + 20,57 = 70,57^\circ\text{C}$$

Siendo la elevación de temperatura hasta:

200°C para el Cobre desnudo.

Admitiendo, además, que estamos trabajando con el Cobre y que el valor calculado $\Delta\theta$ es mucho menor que el valor admisible, entonces el cálculo es correcto.

5.2.3.3. Resonancia

Cuando la frecuencia natural (f_n) con la que vibran las barras se encuentran muy cerca ($\pm 10\%$) a la frecuencia eléctrica (f_e) ó a su doble, se produce el fenómeno de resonancia.

Se debe cumplir:

$$0,9 f_e > f_n > 1,1 f_e$$

$$0,9 (2 f_e) > f_n > 1,1 (2 f_e)$$

ó lo que es lo mismo:

$$54 \text{ Hz} > f_n > 66 \text{ Hz}$$

$$108 \text{ Hz} > f_n > 132 \text{ Hz}$$

La frecuencia natural estará dada por:

$$f_n = \frac{112}{L^2} \times \sqrt{\frac{E J}{G}} \quad \text{Hz} \quad (9)$$

donde:

f_n : es la frecuencia de oscilación mecánica

E : es el módulo de elasticidad

$$E_{Cu} = 1,265 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (según C.N.E.)}$$

J : momento de inercia de la sección de la barra y en cm^4

L : distancia entre dos puntos de apoyo consecutivos.

Además:

$$J = \frac{h b^3}{12} \text{ cm}^4$$

h y b en cm.

(h : espesor de barra y, b : ancho de barra)

$$J = \frac{0,5 \times (4)^3}{12} \text{ cm}^4 = 2,66 \text{ cm}^4$$

V = El volumen de 1 cm de barra será: $V = 0,5 \times 4 \times 1 = 2 \text{ cm}^3$

Según el C.N.E. la densidad del Cu es $8,89 \text{ gr/cm}^3$, luego 1 cm de longitud

G = peso de la barra en $\text{Kg/cm} = 0,0178 \text{ Kg/cm}$

L = longitud de la barra entre apoyos = 120 cm

Reemplazando datos en la ecuación (9), obtendremos:

$$f_n = \frac{112}{120^2} \times \sqrt{\frac{1,265 \times 10^6 \times 2,66}{0,0178}} \text{ Hz}$$

$$f_n = 107,13 \text{ Hz}$$

El valor de f_n no se encuentra comprendido entre $\pm 10\%$ de la frecuencia eléctrica (60 Hertz) ó un múltiplo de ésta, por lo tanto no podrá producirse el fenómeno de la resonancia.

5.2.4. Dimensionamiento de aisladores portabarras de media tensión

A partir de la máxima fuerza entre apoyos el esfuerzo de ruptura estará dado por dicha fuerza dividida entre un coeficiente de seguridad.

$$P = \frac{F}{\text{c.s.}}$$

donde:

P : es el esfuerzo de ruptura que debe soportar el aislador, Kg.

F : fuerza entre apoyos al presentarse un cortocircuito, Kg-f.

c.s. : coeficiente de seguridad asumido e igual a 0,5

De los cálculos anteriores F, la fuerza entre dos punto de apoyo consecutivos de dos barras tomando el valor de 19,104 Kg-f

Luego, reemplazando datos en la expresión de P, tendremos:

$$P = \frac{19,104 \text{ Kg-f}}{0,5} = 38,208 \text{ Kg-f}$$

El factor de seguridad:

$$f.s. = \frac{\text{esfuerzo de rotura}}{P} = \frac{750}{38,208} = 19,629$$

Donde: esfuerzo de rotura del cobre = 750 Kg-f.

5.2.5. Cálculo de la ventilación

5.2.5.1. Determinación del caudal del aire

Cantidad de aire necesario para la ventilación:

Para el caso de la ventilación se debe asumir que en las peores condiciones el aire seco es el que tiene menos cualidades de ventilación, por lo tanto como medida de seguridad podemos asumir que la subestación se ventilará con aire seco, por lo que el peso del aire seco se puede expresar por:

$$G = \frac{342}{T} \times P \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Algunas consideraciones:

El calor específico del aire seco tiene un valor de: 0,238 KCal/ Kg °C;

es decir que para elevar la temperatura de 1 Kg de aire seco en 1°C se necesita 0,238 KCal.

La cantidad de aire necesario para el transporte de 1 KCal y una diferencia de temperatura ($t_1 - t$) = 1°C será:

$$\frac{1}{0,238 (t_1 - t)} = \frac{1}{0,238} = 4,21 \frac{\text{Kg } ^\circ\text{C}}{\text{KCal}}$$

El volumen de aire para transportar 1 KiloCaloría a una diferencia de temperatura

($T_1 - t$) será:

$$Q = \frac{1}{0,238 (t_1 - t)} \times \frac{T}{342 P}$$

como 1 KiloCaloría = 427 Kgm = 4186 Watts-seg, luego 1 KW-hora = 860 Kcalorías.

El volumen de aire seco para evacuar el calor correspondiente a 1KW-h, será:

$$Q = \frac{860}{0,238 (t_1 - t)} \times \frac{T}{342 P} \frac{\text{m}^3}{\text{KW-h}} \quad (10)$$

Para calcular el caudal del aire, para la ventilación de la subestación, necesitamos saber las pérdidas totales en el transformador; luego:

| | | |
|-----------------------|---|-------------|
| Potencia | : | 630 KVA |
| Pérdidas en el Cobre | : | 9 000 Watts |
| Pérdidas en el Fierro | : | 2 000 Watts |
| Pérdidas totales | : | 11,0 KW |

Además:

$$t_1 = 50^{\circ}\text{C} \text{ (Temperatura del aire a la salida de la cabina)}$$

$$t = 35^{\circ}\text{C} \text{ (Temperatura del aire a la entrada de la cabina)}$$

$$T = ^{\circ}\text{C} + 273 \implies 35 + 273 = 308 \text{ K}$$

(temperatura absoluta)

$$P = 1 \text{ Atmósfera (a nivel del mar)}$$

$$t_1 - t = 50 - 35 = 15 \text{ K}$$

Luego, reemplazando en (10), tendremos:

$$Q = \frac{860}{0,238 (15)} \times \frac{308}{342 \times 1} \frac{\text{m}^3}{\text{KW-h}}$$

$$Q = 217 \frac{\text{m}^3}{\text{KW-h}}$$

Como en nuestro caso tendremos 11,0 KW de pérdidas totales, el volumen de aire

por segundo será:

$$Q_e = \frac{Q P_t}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_e = \frac{217 \times 11}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 0,6629 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

la salida de la cabina el volumen sera:

$$T = 50 + 273 = 323 \text{ K}$$

$$(t_1 - t) = 50 - 35 = 15 \text{ K}$$

Luego reemplazando en (10), tendremos:

$$Q = \frac{860}{0,238 (15)} \times \frac{323}{342 \times 1} \frac{\text{m}^3}{\text{KW-h}}$$

$$Q = 227,5 \frac{\text{m}^3}{\text{KW-h}}$$

Para 11,0 KW de pérdidas totales:

$$Q_s = \frac{Q \times P_t}{3,600} \times \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 0,6951 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

También, el gasto de aire puede ser calculado a partir de:

$$Q = \frac{860 \times T \times P_t \times N}{0,238 (t_1 - t) \times 342 \times S \times P} \quad (11)$$

donde:

- Q – caudal del aire en m³/seg
- T – temperatura absoluta en Kelvin
- P = presión atmosférica en atmósferas
- (t₁ - t) = diferencia de temperaturas
- S – tiempo, segundos (1 hora)
- P_t – pérdidas totales en el transformador, KW
- N número de transformadores

Usando (11) hallamos:

$$Q_e = \frac{860 \times 308 \times 11 \times 1}{0,238 (15) \times 342 \times 3600 \times 1} = 0,6629 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_s = \frac{860 \times 323 \times 11 \times 1}{0,238 (15) \times 342 \times 3 \ 600 \times 1} = 0,6952 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Entonces:

$$Q_s > Q_e$$

$$0,6952 > 0,6629$$

Como puede apreciarse el volumen de aire a la salida de la cabina es mayor que el volumen de aire a la entrada; luego los cálculos son correctos.

5.2.5.2. Cálculo de la fuerza ascensional del aire

La fuerza ascensional para una cierta altura de aire se obtiene sumando las fuerzas ascensionales de las alturas parciales.

Así la fuerza ascensional se calcula de acuerdo a la expresión:

$$F_{asc} = h_1 \times \left[\frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right]$$

donde:

h_1 = altura parcial de aire en m.

F_{asc} = fuerza ascensional de aire en m.

t = temperatura de ingreso a la S.E. en °C

t_1 = temperatura media de la S.E. ó temperatura de salida de la S.E., en °C

$$= 1/273 = 0,00366$$

$$h_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$h_2 = 2,20 \text{ m}$$

$$F_{asc1} = 1,20 \left[\frac{1}{1 + (0,00366 \times 35)} - \frac{1}{1 + (0,00366 \times 42,5)} \right]$$

$$F_{asc1} = 0,0253 \text{ m}$$

$$F_{asc2} = 2,20 \left[\frac{l}{1 + (0,00366 \times 35)} - \frac{l}{1 + (0,00366 \times 50)} \right]$$

$$F_{asc2} = 0,0905 \text{ m}$$

También, se puede obtener el mismo resultado usando tablas como se muestra a continuación.

El aire refrigerante se calienta en contacto con el transformador y en el recorrido de longitud h_1 se eleva la temperatura pudiendo admitirse que la temperatura media es de:

$$t_m = \frac{t + t_1}{2}$$

$$t = 35^\circ\text{C} \quad \text{y} \quad t_1 = 50^\circ\text{C}$$

luego:

$$t_m = \frac{35 + 50}{2} = 42,5^\circ\text{C}$$

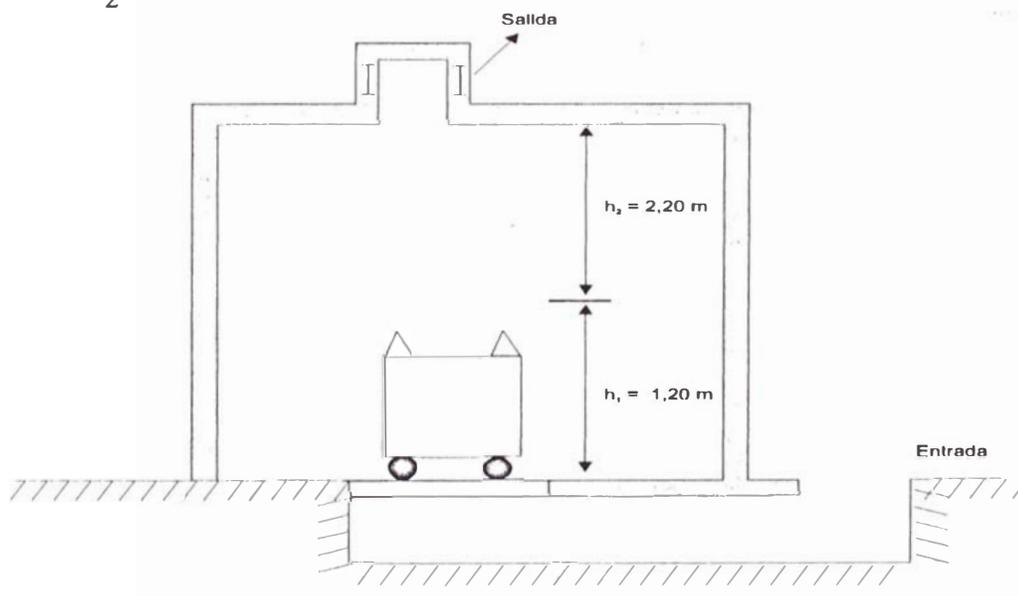


Figura N° 28. Croquis s/n escala.

Según valores de la Tabla N° 26:

| Tabla N° 26 | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Fuerza Ascensional del aire | | | | | | | | | |
| Temperatura (t ₁) | 10°C | 20°C | 30°C | 36°C | 40°C | 42,5°C | 50°C | 60°C | 70°C |
| $1/(1+0,0036t_1)$ | 0,965 | 0,932 | 0,901 | 0,886 | 0,872 | 0,865 | 0,845 | 0,820 | 0,796 |
| Temperatura t | Valor de $\frac{1}{1 + 0,0036 t}$ - $\frac{1}{1 + 0,00366 t_1}$ medido en metros de aire | | | | | | | | |
| 10°C | 0,000 | 0,033 | 0,064 | 0,079 | 0,093 | 0,099 | 0,120 | 0,145 | 0,169 |
| 20°C | | 0,000 | 0,031 | 0,046 | 0,060 | 0,066 | 0,087 | 0,112 | 0,136 |
| 30°C | | | 0,000 | 0,015 | 0,029 | 0,035 | 0,056 | 0,081 | 0,105 |
| 35°C | | | | 0,000 | 0,014 | 0,021 | 0,041 | 0,066 | 0,090 |

La fuerza ascensional de la columna h₁ es :

$$F_{asc1} = f_1 \times h_1$$

$$F_{asc1} = 0,021 \times 1,20 = 0,0252 \text{ m. de aire}$$

donde, 0,021 corresponde a t = 35°C (temperatura ambiente) y t₁ = 42,5°C.

$$F_{asc2} = f_2 \times h_2$$

$$F_{asc2} = 0,041 \times 2,20 = 0,0902 \text{ m. de aire}$$

donde 0,041 corresponde a t = 35°C (temperatura ambiente) y t₁ = 50°C.

Por lo tanto la fuerza ascensional del aire total será:

$$F_{asc \text{ total}} = F_{asc1} + F_{asc2}$$

$$F_{asc \text{ total}} = 0,0252 + 0,0902$$

$$F_{asc \text{ total}} = 0,1154 \text{ m. de columna de aire.}$$

En general la fuerza ascensional que adquiere el aire por el calentamiento debe ser mayor que la resistencia que oponen todos los canales de flujo de aire.

Las resistencias que debe vencer la fuerza ascensional del aire son las siguientes:

a) frotamiento del aire contra las paredes de los canales,

- b) pérdidas ocasionadas por los cambios de dirección,
- c) la fuerza ascensional debe ser suficiente para producir las alturas dinámicas necesarias para la circulación, y
- d) altura para vencer la presión eventual de viento exteriores.

5.2.5.3. Cálculo de las secciones de los canales

Sea el canal de entrada cuyas dimensiones se muestran:

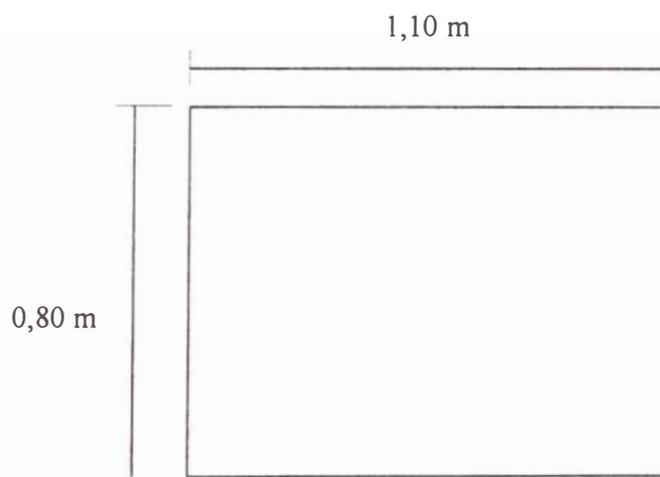


Figura N° 29.

Luego el canal de entrada será:

$$F = 1,10 \times 0,80 \text{ m}^2 = 0,88 \text{ m}^2$$

La velocidad del aire V es:

$$V = \frac{Q_e}{F}$$

donde:

V = velocidad de aire en m/seg

Q_e = caudal de aire en m^3/seg (a la entrada)

F = sección del canal en m^2

$$V = \frac{0,6629}{0,88} = 0,75 \text{ m/seg}$$

La sección de los canales de ventilación debe preverse de tal manera que la fuerza accional del aire sea algo mayor que la suma de las pérdidas de presión, es decir:

$$P_o = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)} \times (1 + R + \Sigma \varnothing) \quad (12)$$

donde:

$$\alpha = 1/273 = 0.00366 \quad \text{y} \quad g = 9,8 \text{ m/seg}^2$$

Suponiendo que el canal de entrada está cubierto con una malla con cocada de 15 mm de ancho e hilos de 1,2 mm de diámetro, $\varnothing = 1$, $R = 0$ (no hay frotamiento contra las paredes en la entrada). Las pérdidas de presión de entrada serán, según (12):

$$h_a = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)} \times (1 + \varnothing)$$

$$h_a = \frac{(0,75)^2}{2 \times 9,8 \times (1 + 0,00366 \times 35)} \times (1 + 1)$$

$$h_a = 0,0513 \text{ m de aire (pérdidas de presión de entrada)}$$

Supondremos además que en el codo del canal de entrada se pierde toda la velocidad porque preveemos la presión necesaria para engendrarla de nuevo. En este canal fijaremos una sección de 1,00 x 0,75 m. Luego:

$$F = 1,00 \times 0,75 = 0,75 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q_e}{F}$$

$$V = \frac{0,6629 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,75 \text{ m}^2} = 0,88 \text{ m/seg}$$

Luego:

$$R = 0,032 \quad L = 0,032 \times 4,5$$

$$R = 0,144$$

La presión necesaria para obtener la circulación del aire y para compensar las pérdidas por frotamiento, de (12) resulta:

$$h_b = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)} \times (1 + R)$$

$\phi = 0$, no hay cambio.

$$h_b = \frac{(0,88)^2}{2 \times 9,8 \times (1 + 0,00366 \times 35)} \times (1 + 0,144)$$

$$h_b = 0,0404 \text{ m de aire}$$

En el segundo codo tenemos un ángulo recto, lo que implica que la velocidad del aire se anula por completo, haciéndose necesario volver a producir la presión correspondiente al pasar por el transformador:

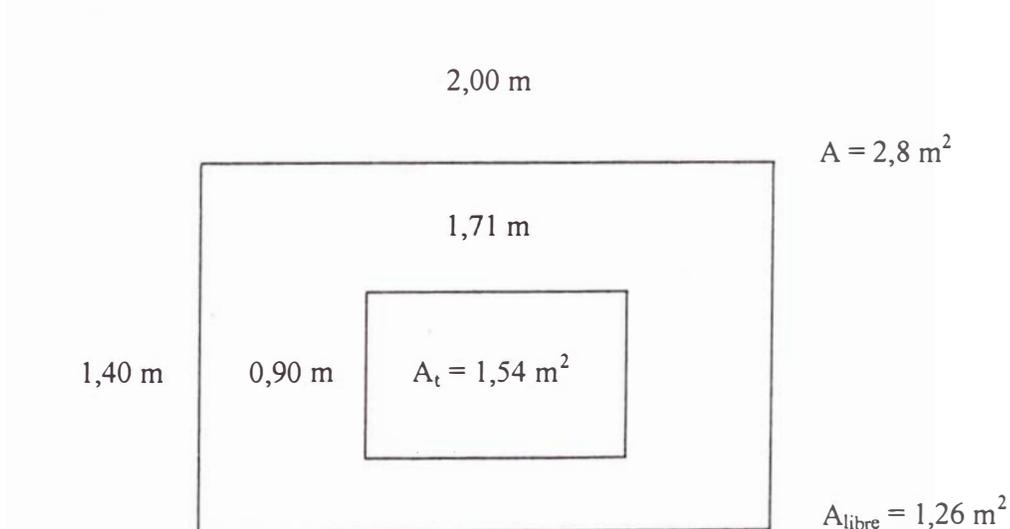


Figura N° 31.

Luego el área libre es:

$$A_{\text{libre}} = 1,26 \text{ m}^2$$

La velocidad del aire es.

$$V = \frac{Q \text{ (caudal de entrada)}}{F_{\text{area libre}}}$$

$$V = \frac{0,6629 \text{ m}^3/\text{seg}}{1,26 \text{ m}^2} = 0,5257 \text{ m/seg}$$

La altura dinámica para obtener esta velocidad es:

$$h_c = \frac{(0,5257)^2}{2g(1 + \alpha \times 35)} = 0,0125$$

$$\alpha = 0,00366$$

$$h_c = 0,0125 \text{ m de aire}$$

En la celda de transformación se desprecian las pérdidas por fricción.

En la superficie de salida:

$$F = 2 \times 2 + 1,4 \times 1$$

$$F = 5,4 \text{ m}^2$$

El aire sale por tres caras.

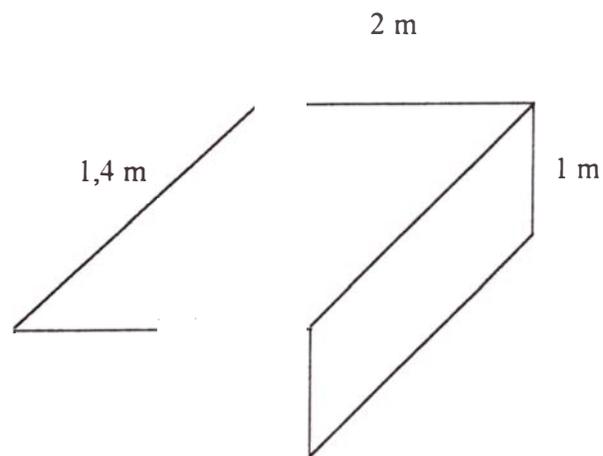


Figura N° 32.

Velocidad de salida del aire:

$$\frac{Q_s}{F} = \frac{0,6952}{5,4} = 0,1287 \text{ m/seg}$$

La presión manométrica para la salida del aire será:

$$h_d = \frac{(0,1287)^2}{2g(1 + \alpha \times 50)} \times (1 + 1)$$

$$h_d = 0,0014 \text{ m de aire}$$

El conjunto de pérdidas debe ser compensada por la fuerza ascensionales del aire:

$$h_{total} = h_a + h_b + h_c + h_d$$

$$h_{total} = 0,0513 + 0,0404 + 0,0125 + 0,0014$$

$$h_{total} = 0,1056 \text{ m de columna de aire}$$

En conclusión la fuerza ascensional 0,1154 m de columna de aire es superior a las pérdidas del sistema de ventilación $h_{total} = 0,1056$ m de aire. Luego la subestación estará bien ventilada con circulación natural de aire.

5.2.6. Cálculo de la puesta a tierra

Para el cálculo de la resistencia a tierra consideremos la expresión:

$$R_t = \frac{R_e}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \text{ Ohms} \quad (13)$$

En la que:

R_e : Es la resistividad específica del terreno y consideraremos que tiene el valor aproximado de 30 Ohm-metro, correspondiente a un terreno tipo jardín.

L : Es la longitud de la varilla de cobre en metros (para nuestro caso será de 2,40 m)

r : Es el radio de la varilla que hemos considerado y tiene como valor 0,010 m.

En (13):

$$R_t = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 2,4} \left[L_n \frac{4 \times 2,4}{0,010} - 1 \right] \Omega$$

$$R_t = 11,66 \Omega$$

Que es valor teóricamente inferior a los 15 Ω recomendados por el C.N.E.

Nota.- El valor de la resistencia a tierra calculado es un valor referencial, siendo necesario comprobarse durante la ejecución de la obra.

En caso de no ajustarse dentro del valor recomendado por el C.N.E. se harán tratamientos químicos pertinentes.

5.3. Especificaciones técnicas de equipos y materiales

5.3.1. Cable eléctrico de media tensión

El cable de alimentación de media tensión será del tipo subterráneo cableados de cobre electrolítico blando, con aislamiento de cinta de papel celulosa impregnado con aceite no migrante, chaqueta interior de aleación de plomo y protegido exteriormente con una chaqueta de material termoplástico de cloruro de polivinilo color rojo y fabricado de acuerdo a normas vigentes tanto para los conductores como para el aislamiento.

5.3.1.1. Características técnicas

Tipo:

NKY

Tensión Nominal de Servicio:

10 KV

Tensión Máxima de servicio:

12 KV

Calibre:

16 mm²

Capacidad de Corriente:

87 A

Temperatura de Operación:

En Servicio Normal : 70°C

En Cortocircuito : 150°C

5.3.2. isladores portabarra

Los aisladores portabarras en las celdas de la subestación serán de material aislante de porcelana, de forma cónica truncada y pernos de fijación interior para soporte de barras, para uso interior para una tensión de 15 KV con 750 Kg de resistencia en la punta.

5.3.3. Elementos de protección

5.3.3.1. Interruptor automático de potencia - disyuntor

Será tripolar para servicio interior, del tipo en volumen reducido de aceite, de ejecución fija, igual o similar al tipo RM-12-35 fabricado por BROWN BOVERI, de las siguientes características:

- Tipo : En volumen reducido de aceite
- Corriente nominal : 630 A
- Tensión nominal : 10 KV
- Potencia de cortocircuito : 350 MVA a 10 KV
- Frecuencia Nominal : 60 Hz

- Corriente de apertura : 20,21 KA
- Corriente de choque : 51,44 KA (mínimo)
- Operación : automático
- Señalización de conectado y desconectado. : Sí

Cada fase se suministrará con indicador de nivel de aceite y con válvulas de llenado y drenaje del aceite.

El disyuntor estará provisto de dos relés primarios, de sobrecorriente montados directamente en los polos del disyuntor.

Los relés de sobrecorriente serán de las siguientes características:

- Ajuste de intensidad : 1,2 a 2 I_n
- Ajuste del disparo instantáneo : 3 a 6 I_n
- Temporización de disparo : 0,3 a 2 seg

Los relés serán de gran resistencia mecánica a los cortocircuitos y de gran precisión de temporización, con tiempo regulable de funcionamiento e independientes de la corriente, desconexión instantánea para el caso de elevadas sobre-intensidades.

Serán de mando mecánico del mecanismo de desconexión del interruptor por medio de barra aislante y serán para:

- Corriente permanente admisible : 1,7 I_n
- Corriente nominal : 40 A
- Frecuencia : 60 Hz
- Corriente admisible durante un segundo (térmico) : 125 I_n
- Corriente admisible instantánea (dinámica) : 500 I_n
- Tiempo de desconexión : Regulable entre 0 y 0,3 a 6 seg.

- Tolerancia sobre el tiempo de desconexión $\pm 0,1$ seg.
- Desconexión instantánea (intensidad límite) Regulable de 3-6 veces la corriente nominal debiendo ser bloqueada.

5.3.3.2. Bases portafusibles y fusibles

En las celdas de transformación se instalarán tres bases portafusibles unipolares de 12 KV - 400 A; éstas bases se equiparán con cartuchos fusibles para 12 KV, 63 A y 1 000 MVA de poder de ruptura.

5.3.3.3. Seccionadores unipolares de cuchilla

Serán del tipo para instalación interior que comprenden la base metálica de soporte con huecos a emperrar y borne para tierra; soportes aisladores con terminales para barras y contactos. Barras de seccionamiento con oreja para accionamiento manual sin carga mediante una pértiga.

Estos seccionadores unipolares tienen las siguientes características:

- Tensión nominal : 10 KV
- Nivel de Aislamiento : 15 KV
- Corriente nominal : 600 A
- Corriente de choque : 20 KA

5.3.4. Sistema de puesta a tierra

El proyecto comprende dos sistemas de pozos para puesta a tierra de alta y baja tensión y en cada uno se colocará por electrodo una varilla Copperweld de bronce 20 mm \varnothing x 2,40 m. La interconexión del pozo de tierra con las partes metálicas de las celdas de llegada y de transformación que no conducen corriente eléctrica se realizará con conductores desnudos de 70 mm² (según C.N.E.).

La resistencia óhmica de los pozos de tierra será:

- Inferior a 15 Ω para el pozo de B.T.
- Inferior a 25 Ω para el pozo de M.T.

En caso contrario serán sometidos a tratamiento químico.

5.3.4.1. Sales para pozo de tierra

Las sales requeridas serán adecuadas para la preparación fácil de una solución para el tratamiento electrolítico de un pozo de tierra.

Este tratamiento permite lograr:

- Mejoramiento de la conductividad eléctrica de la tierra.
- Buena absorción de humedad.
- Ausencia de fenómenos corrosivos dañinos de los materiales metálicos integrantes del pozo de tierra.

La tierra a utilizarse será de terreno agrícola.

Las sales poseerán la propiedad que al mezclarse con agua normal forme un material gelatinoso (hidrófilo).

5.3.5. Elementos accesorios de protección y maniobra

- Pértiga para maniobra de los seccionadores, será del tipo tropicalizada de alta resistencia mecánica a la flexión y tracción con un aislamiento no menor de 30 KV con una longitud de aproximadamente 2,5 m. Tendrá un disco central con el fin de aumentar la distancia de la superficie de contorno e indicador luminoso de existencia de tensión.
- Banco de maniobra consistente en una plataforma de 0,80 x 0,80 m, de madera seca de 1" de espesor y para soporte de un peso de 200 Kg.

La plataforma estará apoyada sobre cuatro aisladores de resina sintética epóxica o

porcelana de alta resistencia mecánica a la compresión y al impacto y de gran dureza; con pieza de fijación a plataforma; para tensión nominal de 24 KV.

- Un par de guantes de jebe tamaño grande con aislamiento para 30 KV
- Cartilla escrita en idioma español con las instrucciones de primeros auxilios para los casos de accidente por contacto eléctrico. Las dimensiones serán no menores que 0,60 m de ancho x 0,80 m de alto.
- Placas de señalización "Alta Tensión" "PELIGRO DE MUERTE" en letras color negro con fondo amarillo de material acrílico que se colocará en cada una de las celdas.
- Un balde con arena de río.
- Manija sacafusibles (tenaza extractora de fusibles de alta tensión).
- Un casco.
- Cables y accesorios para puesta a tierra.

5.3.6. Equipamiento electromecánico

La subestación de transformación estará constituida por:

5.3.6.1. Celda de llegada en media tensión (10 KV)

Será del tipo soportada en obra civil, construcción sólida, provista de puerta frontal abisagrada de una hoja capaz de rebatirse hasta 90 grados con un dobléz de 1" de profundidad en todo su perímetro, además llevará chapa y llave. Será de 1,24 x 1,40 x 3,50 m, tal como se indica en el Plano A-IE-2 del Apéndice Q, y contendrá los siguientes elementos:

5.3.6.1.1. Caja terminal

Será tipo interior, de hierro o aluminio, tripolar para 12 KV y cable de 3 x 16 mm², totalmente hermética y a prueba de humedad y filtraciones.

Se le rellenará con masilla aislante o resina compound, previa protección de los conductores eléctricos mediante cintas especiales de aislamiento. Deberá contar con un borne especial para su conexión a tierra.

5.3.6.1.2. Barras colectora

Serán de cobre electrolítico con una pureza de 99,9% de alta conductibilidad eléctrica, alta resistencia a la corrosión, adecuada maquinabilidad, excelentes propiedades para ser trabajadas en frío o caliente.

Serán de 40 x 5 mm, capaces de soportar 600 A. Cada fase estará pintada en los colores característicos verde, blanco y rojo para R, S y T, respectivamente.

5.3.6.2. Celda de transformación

Será del tipo soportada en obra civil, construcción sólida, provista de puerta frontal abisagrada de 2 hojas, capaz de rebatirse hasta 90 grados con un dobléz de 1" de profundidad en todo su perímetro, además llevará chapa y llave. La celda será de 2,00 x 1,40 x 3,50 m, como se indica en el Plano A-IE-2 (Apéndice Q), y contendrá los siguientes elementos: Bases portafusibles, Fusibles, Barras colectoras, Aisladores.

5.3.7. Transformador de potencia

Será construido de acuerdo a normas ITINTEC código 370.002-68 y lo que no se halle estipulado en estas será cubierto por las recomendaciones del Comité Electrotécnico Internacional (CEI) y tendrá las siguientes características:

Será en baño de aceite con arrollamiento de cobre y núcleo de hierro laminado en frío, para montaje interior, enfriamiento natural (ONAN), con termómetro y hombrilla para el transporte.

5.3.7.1. Características de servicio

Normas de fabricación : ITINTEC 370-002

Potencia nominal continua : 630 KVA
 Número de fases : 3
 Frecuencia : 60 Hz
 Altura de trabajo : 1 000 m.s.n.m.
 Relación de transformación en vacío: $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,23 \text{ KV}$

Esquema de conexiones:

Lado de media tensión : Δ con 4 tomas suplementarias conmutables en vacío

Lado de baja tensión : Y con neutro accesible

Grupo de conexión : Dyn5

Capacidad de sobrecarga : 10% continuamente y 20 durante dos horas

Tensión de cortocircuito : 4,24% tolerancia $\pm 1/10$ de acuerdo a normas

Pérdidas totales en Cu y en el Fe : 2,18% (11.0 KW)

Temperaturas máximas de sobrecarga continua:

Aceite = +60°C

Arrollamientos = +65°C

Ambiente = 40°C

Niveles de aislamiento : Primario = 17,5 KV

Secundario = 1 KV

Nivel de ruido permisible : 54 db a 1 m de distancia

Para el soporte del transformador se empleará perfiles de fierro tipo I de 8" x 4" x 3/8". Toda la pernería a utilizarse será previamente sometida a un tratamiento de niquelado para evitar corrosión.

5.3.7.2. Accesorios complementarios para el transformador

El transformador incluirá lo siguiente: Tanque conservador de aceite con indicador visual de nivel de aceite, Conmutador de tomas en vacío, con mando sobre la tapa, Orejas de suspensión en la tapa del transformador, Grifo de vaciado y toma de muestras de aceite, Desecador de aire Silicagel, Borne de puesta a tierra, Placa de características, Dotación de aceite, Ruedas orientables en planos perpendiculares para su desplazamiento.

5.3.8. Obras civiles

Serán ejecutadas de conformidad a las medidas y refuerzos estructurales como se muestra en los Planos A-IE-2 y U-1 del proyecto (Apéndice Q), el cual contiene los detalles de las obras civiles de la subestación de transformación proyectada.

5.3.8.1. Ductos

En determinados lugares los cables se instalarán en ductos de PVC-P de 2 1/2" \varnothing a una profundidad de 1,10 m de la superficie.

5.3.8.2. Zanjas

Fuera de la subestación el cable de MT se instalará enterrado directamente en zanja de 0,60x1,25 m de profundidad con cama de tierra cernida y estará protegido por una hilera de ladrillos King Kong y cinta señalizadora color rojo para media tensión.

5.3.8.3. Cinta señalizadora

Para ser enterrada directamente en el suelo, será de polietileno de alta calidad y resistente a los ácidos y álcalis.

Tendrá un ancho de 12 cm como mínimo y será de color rojo vivo con la inscripción de "Alta Tensión" y símbolo de muerte en color negro y que será

imborrable. Tendrá una resistencia a la tracción no menor de 120 Kg/cm^2 en el sentido longitudinal y de 100 Kg/cm^2 en el sentido transversal. Tendrá una elongación de 250% como mínimo.

5.3.8.4. Ladrillo de protección de cable 1 KY

Serán de arcilla calcinada y de $24 \times 12 \times 6 \text{ cm}$ con un peso específico de 1,9 Kg y una resistencia a la compresión de 150 Kg/cm^2 , con una absorción de agua del 20% como mínimo.

Finalmente, el metrado de la subestación y nave se encuentran en el Apéndice P.

CONCLUSIONES

- 1.- En el proceso de fabricación de baterías plomo-ácido, el mayor consumo de energía eléctrica se produce en la formación de placas y en el proceso de carga de baterías; por tal motivo se recomienda que estas actividades se efectúen en las noches en las horas de menor costo de la energía para minimizar los gastos de fabricación.
- 2.- Para la iluminación de la nave se ha propuesto el uso de lámparas de vapor de mercurio por la altura de instalación; menores costos que los sistemas de fluorescentes, luz mixta y/o halogenuros metálicos.
- 3.- Los cálculos del proyecto; en nivel de iluminación y costos han sido comprobados mediante el programa Calculux Software Package de la Compañía Philips, con resultados altamente satisfactorios.
- 4.- Siendo el proceso de fabricación altamente consumidor de energía eléctrica, la distribución de planta debe ser tal que la zona de cargadores eléctricos y formación de placas esté lo más cercano a la sub-estación de tal manera que se minimice el costo por conductores eléctricos así como las futuras pérdidas en el cobre de los mismos.
- 5.- La industria de acumuladores eléctricos es de alto impacto ecológico, fundamentalmente por la acción del plomo y el ácido sulfúrico, con tal motivo es importante que estas plantas se ubiquen fuera de la ciudad y a su vez exigir

se cumplan las normas de recuperación de los referidos materiales a fin de no dañar el medio ambiente.

- 6.- Con el desarrollo de la tesis se ha mostrado que a partir de la exigencia de producción, un egresado de la especialidad de ingeniería eléctrica está suficientemente capacitado para determinar los elementos de producción, así como los niveles de energía para los equipos y las necesidades en general de la producción.
- 7.- En el plano de ubicación, las calles no se precisan con nombres, por no contar con la autorización del propietario de las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ACUMULADORES
Monografías CEAC de Electricidad
Ediciones CEAC
Primera Edición, 1974
Barcelona - España
- 2.- ACUMULADORES
George Wood Vinal
Primera Edición, 1960
Madrid - España
- 3.- ACUMULADORES ELECTROQUÍMICOS
Fundamentos, Nuevos Desarrollos y Aplicaciones
José Fullea García
McGraw Hill / Interamericana de España
Primera Edición, 1994
Madrid - España
- 4.- ACUMULADORES, ELEMENTOS GALVÁNICOS, GALVANOTECNIA
Alfred Holzt
Editorial Labor S.A., 1958
Madrid - España

- 5.- CATALOGO LINDNER
Equipos Eléctricos
Edición de 1980
- 6.- CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD - C.N.E.
Ministerio de Energía y Minas
Tomos I y IV
Edición de 1978
Lima - Perú
- 7.- CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD - C.N.E.
Ministerio de Energía y Minas
Tomo V - Partes 1 y 2
Edición de 1986
Lima - Perú
- 8.- CATÁLOGO TÉCNICO COMERCIAL
TRIANON
Lima - Perú
- 9.- CURSO BÁSICO DE ILUMINACIÓN
Comité Nacional Peruano de Alumbrado
Edición de 1983
Lima - Perú
- 10.- ELECTRICISTA DE ACUMULADORES
L. Semionov
Editorial MIR
Segunda Edición, 1969. Moscú - U.R.S.S.

- 11.- FUNDAMENTOS DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL
V. V. Baturin
Editorial Labor S.A.
Primera Edición, 1976
Barcelona - España
- 12.- INDUSTRIAL VENTILATION
Committee on Industrial Ventilation
American Conference of Governmental Industrial Hygienists
21st. Edition, 1992
Cincinnati, Ohio - U.S.A.
- 13.- INSTALACIONES ELÉCTRICAS II
Ing. José Aguirre Rodríguez
Edición de 1979
Lima - Perú
- 14.- LA BATERÍA DE ACUMULADORES
Monografías CEAC sobre Motor y Automóvil
Ediciones CEAC
Segunda Edición, 1967
Barcelona - España
- 15.- LIGHTING HANDBOOK
Illuminating Engineering Society - I.E.S.
New York - U.S.A.

- 16.- MANUAL DE CONDUCTORES DE COBRE DE USO GENERAL
Aleaciones Especiales S.A. - ALEPSA
Lima - Perú
- 17.- MANUAL DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS PERUANOS
CEPER - PIRELLI
Lima - Perú
- 18.- MANUAL DE ILUMINACIÓN JOSFEL
Edición de 1994
Lima - Perú
- 19.- MANUAL PARA LA FABRICACIÓN DE ACUMULADORES
Nels Hehner
Edición de 1970
Madrid - España
- 20.- MANUAL DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO
Remi Benedito Silva
Dpto. de Energía Mecánica
Ecola Politécnica de São Paulo
São Paulo - Brazil, 1970
- 21.- NORMA DE ELABORACIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTOS DE
SUB-SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA EN
INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO Y CONEXIONES - DGE
002-P-4/1983
Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas, 1983
Lima - Perú

22.- MANUAL DE TRANSFORMADORES

Delcrosa

Edición de 1981

Lima - Perú

23.- PHILIPS ALUMBRADO

Catálogo Compacto de Alumbrado Profesional

Edición de 1995

Lima - Perú

24.- TIRISTORES Y TRIACS

H. Lilen

Editorial Marcombo

Madrid - España